



® Portal Tecnológico
de Divulgação Científica
Eventos, Pesquisas e Inovação

Caderno de Ciência, Pesquisa e Inovação v.2, n.1, 2019

Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação
v.2, n.1, 2019

C122	Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação v.2, n.1, 2019/ Organizadores: Francisco et al. — Campina Grande: EPGRAF, 2018. 164 f.: il. color. ISBN: 978-85-60307-44-9 1. Engenharias. 2. Desenvolvimento Tecnológico. 3. Ideias Inovadoras. 4. Difusão. I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II. Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara. III. Xavier, Nilza Martins de Queiroz. IV. Título.	CDU 62
------	--	--------

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores.
As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável.
Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.

Créditos de Imagens

Freepick.com

Editoração, Revisão e Arte da Capa

Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial

Djail Santos (CCA-UEPB)
Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)
Eduardo Rodrigues Viana de Lima (CCEN-UEPB)
George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)
Josivanda Palmeira Gomes (CTRN-UFCG)
João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)
José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)
José Pinheiro Lopes Neto (CCTA-UFCG)
Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)
Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)
Paulo Roberto Megna Francisco (CCT-UEPB)
Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Nilza Martins de Queiroz
(Organizadores)

Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação

v.2, n.1, 2019



Realização



Apoio



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA**
Pará



Universidade Federal
de Campina Grande

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	6
Seção Gestão, Educação e Experiência Profissional	7
Capítulo 1.....	8
AVALIAÇÃO DA SATISFAÇÃO EM RELAÇÃO AO III SIMPÓSIO DE ESTUDOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS NA UTFPR LONDRINA.....	8
Seção Engenharia Química	19
Capítulo 2.....	20
REMOÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS DE EFLUENTE SINTÉTICO COM OS FLOCULANTES EXTRATO BRUTO E CONCENTRADO DE PROTEÍNAS DE <i>Moringa oleífera</i> E COAGULANTE COMERCIAL	20
Seção Engenharia Civil	34
Capítulo 3.....	35
REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA DE INTERESSE SOCIAL: A ETAPA DE REGISTRO DE IMÓVEIS NO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL/RN	35
Seção Geologia e Minas.....	42
Capítulo 4.....	43
VIABILIDADE TÉCNICA DA APLICAÇÃO DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO DE PETRÓLEO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE	43
Seção Agronomia.....	55
Capítulo 5.....	56
AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE LEITES UHT INTEGRAL.....	56
Capítulo 6.....	67
VARIAÇÃO TEMPORAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO SUBMETIDO À OPERAÇÃO DE GRADAGEM NO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ.....	67
Capítulo 7.....	73
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA FARINHA DE BETERRABA EM DIFERENTES TEMPERATURAS.....	73
Capítulo 8.....	82
ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA DO SOLO DO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA, BELÉM, PARÁ	82
Capítulo 9.....	87
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE POLPAS DE CUPUAÇU E GRAVIOLA.....	87
Capítulo 10.....	97
MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA APLICADA NA SECAGEM DO FEIJÃO BRANCO (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	97
Capítulo 11.....	106
AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO ÁCIDO ASCÓRBICO EM SUCOS DE FRUTAS DURANTE ARMAZENAMENTO REFRIGERADO.....	106
Capítulo 12.....	112
DETERMINAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO NA SECAGEM DO SORGO (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench)	112
Seção Geociências.....	121
Capítulo 13.....	122
POTENCIAL DE IRRIGAÇÃO DOS SOLOS DA ÁREA DE TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO NO ESTADO DA PARAÍBA	122
Capítulo 14.....	132
MAPEAMENTO DA COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARAÍBA UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS.....	132
Capítulo 15.....	144
ESTIMATIVA DA BIOMASSA DE VEGETAÇÃO LENHOSA DE CAATINGA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARAÍBA	144
Capítulo 16.....	153
ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARAÍBA	153
Curriculum dos Organizadores.....	160

APRESENTAÇÃO

Estamos com mais um Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação disponibilizado, tendo um papel acolhedor de publicação de pesquisas, sempre com uma característica marcante, reunir assuntos que envolvem um leque abrangente, mas ajuda ao leitor, a ter um material além de sua área de atuação. O fato de existir conteúdo de diversas ciências, sendo aplicadas e em muitos casos transformada em tecnologias, vem atender tendências da multidisciplinaridade ou interdisciplinaridade, onde o leitor terá conteúdo investigativos que poderá ajudar na indústria de processamentos de hortaliças, frutos de arbóreas, grãos e da conservação do leite, tais temas podem ser utilizados nas indústrias ou motivadores para outras pesquisas a partir dos dados descritos nos trabalhos.

Outra parte do conteúdo aqui exposto, está condizente com as relações de convivência do homem e os recursos naturais, tendo questões de ordem social, como a regularização fundiária, e em especial um grupo de ótimos trabalhos voltados para uma caracterização da região do Alto Rio Paraíba (Estado da Paraíba), o que será de grande importância para servir de base às pesquisas, no presente e no futuro, considerando que é o primeiro trecho da transposição Leste na Paraíba, e beneficia diretamente esta região, sendo liberado de forma natural na calha do rio, e as referidas águas, vão atendendo demandas e os excessos acumulando em mananciais importantes do Estado, vindo a ter uma maior segurança hídrica em local que possui regime de chuvas entre 330 a 700mm.

Desta forma, considero um material precioso que em forma digital, poderá ser armazenado e utilizado com o passar dos anos, se bem utilizado, servirá para consulta de gestores e técnicos voltados para nortear políticas públicas, como também dados históricos para um presente e futuro de informações da potencialidade de irrigação, cobertura vegetal, biomassa de vegetação lenhosa e erodibilidade das terras.

O livro digital é facilitado para que o leitor possa tê-lo, e de forma prática possa propagar, isto é, semear o conhecimento, compartilhar a informação.

Soahd Arruda Rached Farias
Dra. Professora da UAEA/CTRN/UFCG
Engenheira Agrícola e Administradora de Empresas



AVALIAÇÃO DA SATISFAÇÃO EM RELAÇÃO AO III SIMPÓSIO DE ESTUDOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS NA UTFPR LONDRINA**¹Sueli Tavares de Melo Souza****²Joseane Debora Peruço Theodoro****³Marcus Vinicius Batista Oliveira****⁴Beatriz Belchor de Lara****⁵Ellen Caroline Lima****⁶Juliana Esposito Mazziero****⁷Pedro Henrique Leonardi Batyras**¹Professora de Ensino Técnico e Tecnológico, UTFPR, Campus Londrina, suelisouza@utfpr.edu.br²Professora de Ensino Superior, UTFPR, Campus Londrina, joseaneph@gmail.com³Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UTFPR, Campus Londrina, marcusvoliveira@outlook.com^{4,5,6,7}Acadêmicos em Engenharia de Ambiental, UTFPR, Campus Londrina, redondoribeirobeatriz@gmail.com; ellenlima@alunos.utfpr.edu.br; jumazziero@gmail.com; pedrobatyras@hotmail.com**Introdução**

De acordo com Sousa (2010), há uma variedade de interpretações a respeito da metodologia e do conceito de extensão universitária. Segundo a Política Nacional de Extensão Universitária (FORPROEX, 2012) o conceito de extensão universitária foi reformulado e divulgado para as universidades públicas e para sociedade definida como, a Extensão Universitária, sob o princípio constitucional da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, é um processo interdisciplinar, educativo, cultural, científico e político que promove a interação transformadora entre Universidade e outros setores da sociedade.

Segundo Silva e Vasconcelos (2006), os projetos de extensão acadêmica são ações de cunho técnico, social e científico, que visam difundir os conhecimentos produzidos na universidade. O desenvolvimento do conhecimento técnico-científico, através de eventos acadêmicos, impulsiona a aprendizagem, que por sua vez, tem uma função transformadora na incorporação de conhecimentos complementares à aprendizagem curricular dos alunos de graduação e pós-graduação.

O acesso ao mercado de trabalho torna-se cada vez mais seletivo devido às exigências de formação acadêmica e nível de experiência esperado de profissionais que possuam algum diferencial. O fenômeno da exclusão social torna-se frequente em diferentes segmentos da classe trabalhadora, uma vez que devido à precarização do trabalho, o crescimento do trabalho temporário e subcontratado, conduz a uma fragilização das condições de vida (MAIA & CESAR, 2008).

Desta forma, o III Simpósio de Estudos e Tecnologias Ambientais (SETA), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Londrina, tem promovido o debate interdisciplinar de temas ambientais atuais, considerando diferentes dimensões física, química, biológica, econômica e social, especialmente aquelas que afetam direta e indiretamente a Região Norte do Estado do Paraná (RNP).

Além disso, a reunião de profissionais atuantes em diversas áreas do conhecimento relacionadas à temática ambiental, ajuda a integrar os cursos de graduação com a pós-graduação em engenharia ambiental da UTFPR Londrina, possibilitando aumento da participação de discentes da graduação nas pesquisas desenvolvidas pela Universidade, por meio de debates e discussões de temas de interesse comum. Isso enquadra o simpósio no Projeto de Desenvolvimento Institucional (PDI) da UTFPR e atinge um dos seus objetivos estratégicos de integrar a Graduação com a Pós-Graduação, possibilitando aumento da participação de discentes da graduação nas pesquisas desenvolvidas pela Universidade.

De acordo com Djouki (2017), a avaliação de resultados é uma ferramenta de gestão que se aplica para o desenvolvimento pessoal e profissional visando o aumento da produtividade para trabalhos em equipe. No caso em questão, uma boa avaliação incentiva o retorno do aluno ao evento e o compartilhamento de uma experiência positiva também estimula a divulgação espontânea para os

próximos eventos. Uma avaliação negativa, entretanto, levanta oportunidades de melhorias que podem ser aplicadas nos próximos eventos.

O SETA foi um evento totalmente gratuito, com serviços voluntário e sem fins lucrativos, que busca promover discussões multi e interdisciplinares de temas relevantes no âmbito da Engenharia Ambiental. O simpósio surgiu em 2016 e contou com 4 mesas redondas, contemplando os temas de licenciamento ambiental, fitorremediação de solos contaminados, cargas perigosas e o diagnóstico e perspectivas do saneamento ambiental no Brasil. No ano de 2017 ocorreu o II SETA, contanto com os temas de técnicas avançadas e sustentáveis de tratamento de efluentes, atribuições do engenheiro ambiental x engenheiro ambiental e sanitarista, sistemas agroflorestais, construções sustentáveis, técnicas e aplicações de reflorestamento e análise e monitoramento de eventos extremos.

A Comissão Organizadora do SETA foi composta por representantes dos docentes do ensino superior, ensino técnico e tecnológico, e estudantes dos cursos de graduação em engenharia ambiental e do PPGEA da UTFPR/Londrina. Além disso, a Coordenação do curso de bacharelado em engenharia ambiental, a coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), o centro acadêmico Allan Nishioka (CAAN), a empresa Gaia Jr. e o CREA Jr. atuaram na organização do evento, que contou ainda com o apoio de outras diretorias do campus, como a Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação (DIRPPG), a Diretoria de Graduação e Educação Profissional (DIRGRAD) e a Diretoria de Relações Empresariais e Comunitárias (DIREC), com reserva de espaço, empréstimo de materiais audiovisuais e impressão de materiais de divulgação do evento. Os eventos do III SETA foram divulgados por meio das redes sociais, *Facebook*, *WhatsApp* e lista de e-mail para alcançar o maior número de participantes.

Desta forma, o objetivo do trabalho é avaliar a satisfação em relação ao III Simpósio de Estudos e Tecnologias Ambientais na UTFPR Londrina.

Material e Métodos

Descrição do evento

O III Simpósio de Estudos e Tecnologias Ambientais (III SETA) ocorreu no período de março de 2018 a novembro de 2018 no auditório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná no Campus Londrina.

Nas cinco mesas os participantes tiveram oportunidades de conhecer: As experiências de três engenheiras ambientais formadas pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina nas áreas da pesquisa (Doutoranda no Programa Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina), indústria (Cativa (Cooperativa Agroindustrial de Londrina) e consultoria (Master Ambiental); Os meios de processamentos de imagens para resolver problemas ambientais com a participação de dois docentes atuantes na engenharia ambiental e uma engenheira ambiental formada pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina; Os problemas de saúde provocados pelo *Black Carbon* na cidade de Londrina (terminal de ônibus) e de forma mais geral; O Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Petróleo pela visão de um geólogo que apresentou um estudo de caso e pelo relato de uma engenheira de Meio Ambiente da Petrobrás (RJ) que atua na gerencia corporativa de resíduos e áreas impactadas; E o tratamento de uma empresa de abate de aves, os diferentes tratamentos e a valorização de resíduos agroindustriais.


Na metodologia deste trabalho os contatos para as frentes de trabalho foram realizados por telefone, e-mail e também pessoalmente através de reuniões quinzenais. A partir da reunião da comissão organizadora foram determinados os temas das palestras e as responsabilidades de cada entidade para cada mesa redonda. A partir dessa etapa, houve a seleção dos palestrantes convidados dos temas pré-selecionados e logo após, ocorreu à divulgação do evento dentro do campus Londrina/UTFPR e nas diferentes mídias. A comissão também ficou responsável pela logística antes, durante e após a realização das mesas redondas.

Processo de avaliação

Por meio do formulário de inscrição, confeccionou-se a lista de presença de modo a coletar a assinatura no início de cada mesa. A lista de presença é de suma importância para confeccionar os certificados dos palestrantes. Após, a assinatura os participantes recebem uma pasta contendo o formulário de avaliação, material de divulgação e material para anotações (bloco e caneta).

Para este evento foi disponibilizado um formulário de modo a avaliar o evento pelos participantes, pois é necessário perceber o impacto do mesmo na comunidade técnica. Buscou-se saber

se o objetivo inicial do evento foi atendido, conforme a divulgação. O modelo do formulário de avaliação encontra-se na Figura 1. Foi estabelecida uma pontuação de 1 a 10 para facilitar a discriminação das respostas e reduzir as dificuldades de interpretação por distorção nas respostas (FORNELL, 1992). O número 1 equivale a fraco e 10 a ótimo. Desta maneira teve-se a seguinte escala: 1 a 3 (fraco), 4 a 6 (regular), 7 a 9 (bom) e 10 (ótimo).



III SETA - Aplicação do Geoprocessamento na Engenharia Ambiental

Obrigado pela sua participação no III SETA. Gostaríamos de ouvir a sua opinião. Por favor, responda às perguntas abaixo para que possamos fazer ainda melhor nas próximas edições.

Curso/Profissão.: _____ Período/Atividade.: _____ RA.: _____

Avaliação da Mesa:

Conteúdo programático

Alcance de objetivos

Carga Horária

Aplicabilidade em sua profissão / atividade

Qualidade do material disponibilizado

Comunicação, informação e divulgação do evento

Avaliação dos membros da mesa:

Domínio do conteúdo

Didática

Auto-Avaliação:

Seu interesse no assunto

Seu nível de Participação

Você pretende participar novamente deste evento na próxima mesa?

☐ Sim ☐ Não ☐ Talvez

Você indicaria esse evento para algum amigo ou conhecido?

☐ Sim ☐ Não ☐ Talvez

Local e Equipamentos:

Recepção

Espaço físico

Sonorização

Equipamentos audio-visuais

Comentários:

Sugestões - temas para as próximas mesas, etc...

Fraco			Regular			Bom		Ótimo	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Fraco			Regular			Bom		Ótimo	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Fraco			Regular			Bom		Ótimo	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Fraco			Regular			Bom		Ótimo	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Obrigada por sua participação!

Figura 1. Formulário de avaliação.

Processamento dos dados

Foram utilizados os dados do formulário de avaliação dos indicadores de satisfação, tais como conteúdo programático exposto, alcance dos objetivos, carga horária, aplicabilidade na vida profissional, qualidade do material disponibilizado (não tem gráficos), meios de atingir o público alvo (comunicação, informação e divulgação do evento), qualidade dos palestrantes (domínio dos conteúdos e didática), auto avaliação (retorno as próximas mesas e indicação para outras pessoas), recursos físicos (local e equipamentos), comentários e sugestões.

A partir dos formulários aplicados aos participantes do evento, as respostas foram compiladas pela comissão organizadora do III SETA, processadas no Excel e foram realizadas análises descritivas, de acordo com os valores percentuais e absolutos de cada indicador. Em função da grande variedade de

temas possíveis de serem abordados dentro do ramo da engenharia ambiental, o questionário buscou questionar quanto à aplicabilidade do tema em relação à profissão dos participantes.

Buscou-se avaliar também a eficiência da equipe de comunicação tanto em forma digital, em contato nas redes sociais e grupos de e-mail, como via mídia impressa, divulgada dentro da UTFPR/Londrina.

A avaliação dos membros da mesa é de suma importância, pois participaram profissionais que atuam diretamente em empresas (consultorias e indústrias) e dentro de universidades (pesquisa). Também foi avaliada se, a partir da mesa que o participante esteve presente, o evento foi o suficientemente bom para que o III SETA fosse indicado para amigos e conhecidos.

Resultados e Discussão

O resultado pode ser explicado em relação aos aspectos técnicos do evento, dos convidados da mesa, o conteúdo considerado relevante e a qualidade do material disponibilizado. Além disso, foi observado que os participantes da mesa apresentaram uma ótima didática e domínio do conteúdo. Segundo Matias (2010), quanto à classificação, os eventos podem apresentar-se de acordo com a área de interesse, o científico trata de assuntos referentes às ciências naturais e biológicas. Para conceituar evento, Allen et al (2008), definem evento como sendo um “ritual, apresentação ou celebração específica, que tenha sido planejada com o intuito de marcar datas especiais ou atingir objetivos e metas de cunho social, cultural ou corporativo”.

Na Figura 2 observa-se a página do SETA onde foram realizadas as divulgações das mesas redondas.

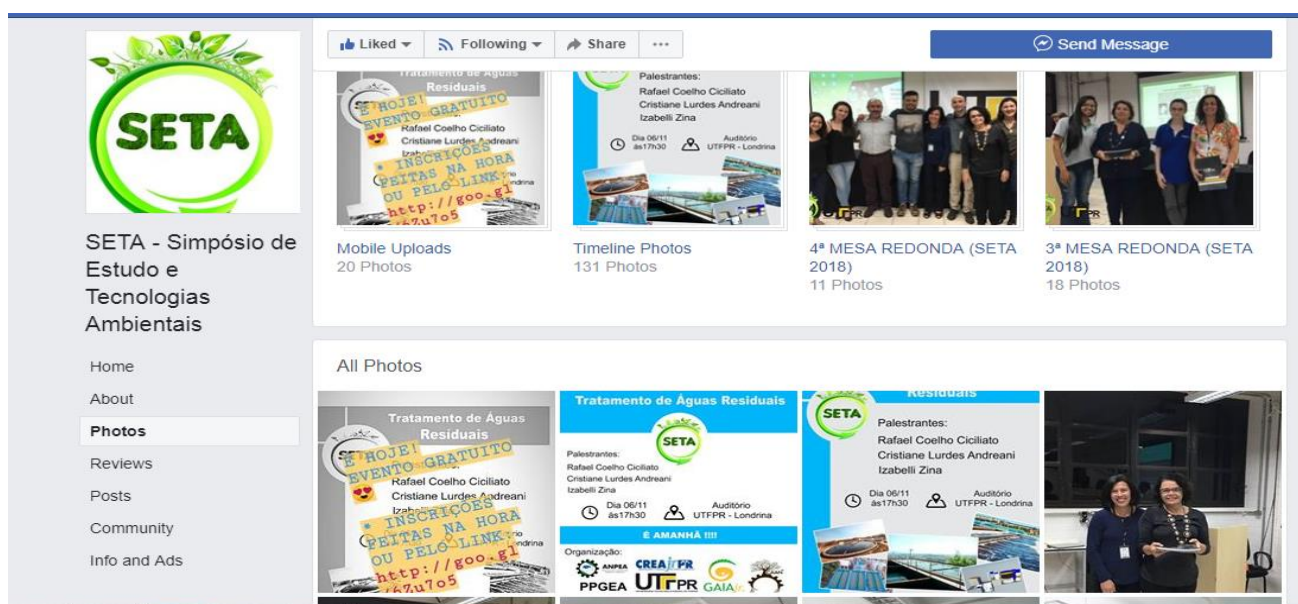


Figura 2. Página do SETA. Fonte: Facebook (2018).

Em todas as mesas percebeu-se certa resistência quanto ao preenchimento do formulário de avaliação. A partir do formulário, foram analisados os campos de avaliação da mesa, avaliação dos membros da mesa e avaliação geral, contendo os aspectos informados na Figura 3.

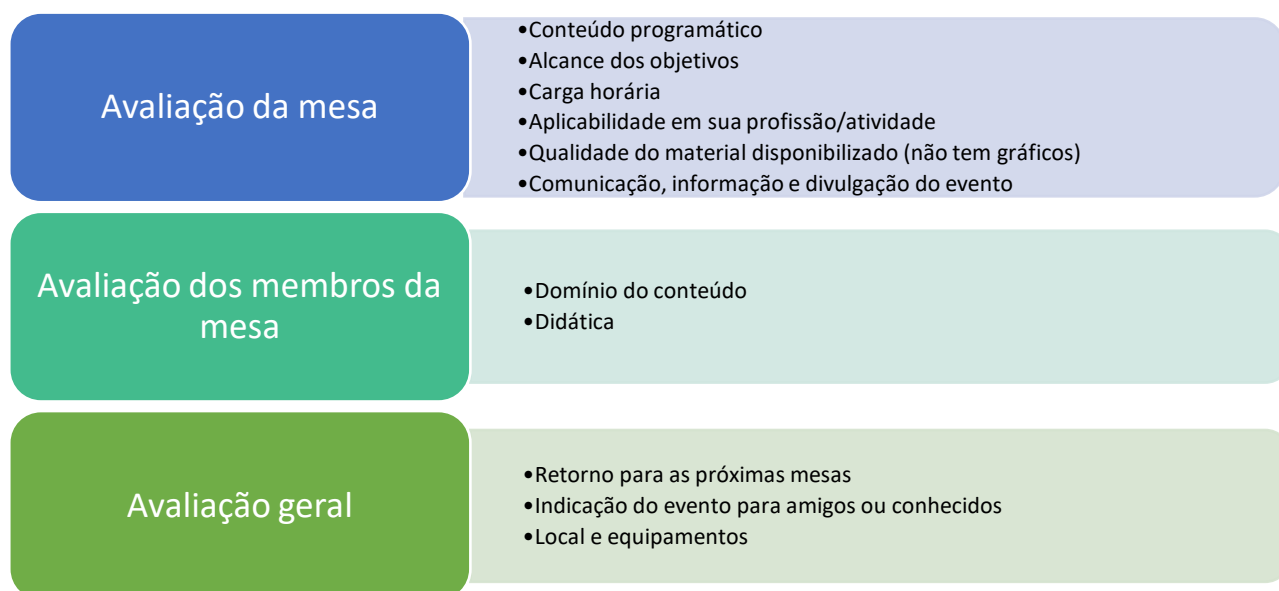


Figura 3. Aspectos observados da avaliação dos participantes do III SETA.

Conteúdo programático

Na Figura 4 observa-se que, 50% dos participantes consideram como ótimo, e 30% como bom o conteúdo programático oferecido no evento durante as cinco mesas. Apenas 3% dos participantes consideram como regular, e somente um participante da quarta mesa considera o conteúdo não satisfatório. Esse resultado evidencia que o III SETA, enquanto um projeto de extensão, mostrou-se eficiente na escolha do conteúdo, de forma a traçar um paralelo entre os temas propostos e os conteúdos adquiridos em sala de aula, através uma relação teórica e prática que permeia os projetos de extensão, como proposto por Silva (2011).

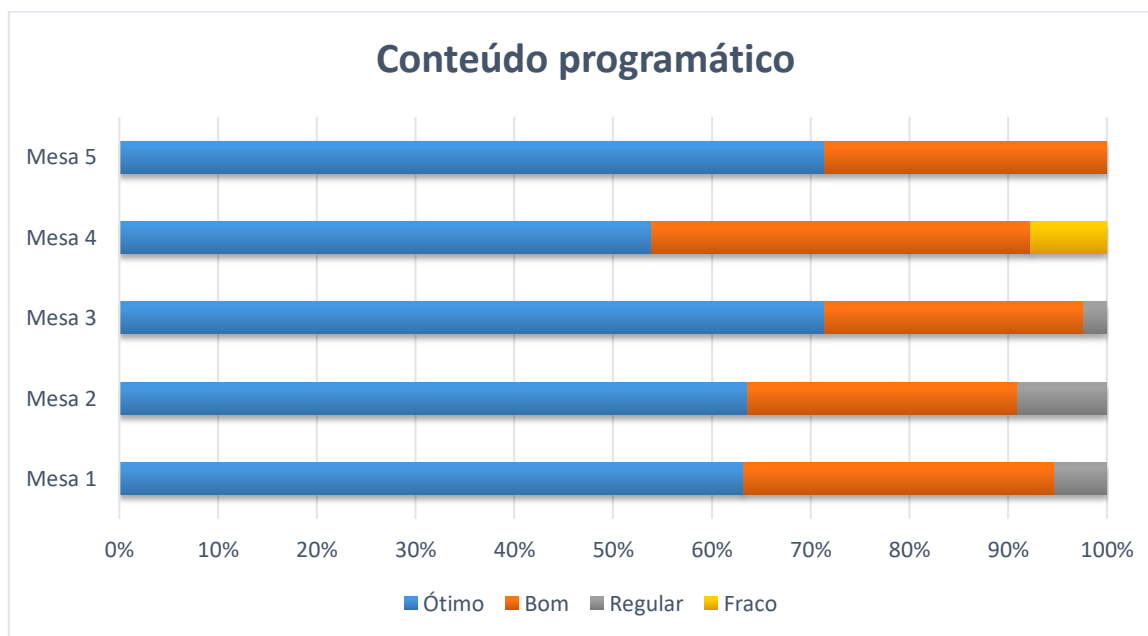


Figura 4. Avaliação do conteúdo programático.

Alcance dos objetivos

Na Figura 5 pode-se notar que, mais de 50% dos participantes consideram que o alcance dos objetivos foi considerado ótimo para as mesas um, dois, três e cinco; exceto na mesa quatro onde 46% dos participantes consideram ótimo, e 54% dos participantes consideram bom. Apenas 2% dos participantes consideram regular nas mesas três e cinco. O alcance dos objetivos só foi possível pelas reuniões de planejamento estratégico estabelecido pela comissão organizadora do III SETA, que,

conforme proposto por Oliveira (2016), consistiu na elaboração dos temas, delimitação do alcance do evento, a programação, o formato e datas do Simpósio. Segundo Barbosa (2013), para que o evento alcance os objetivos propostos, é fundamental a utilização de um planejamento de marketing adequado, considerando-se as peculiaridades e características específicas do evento.

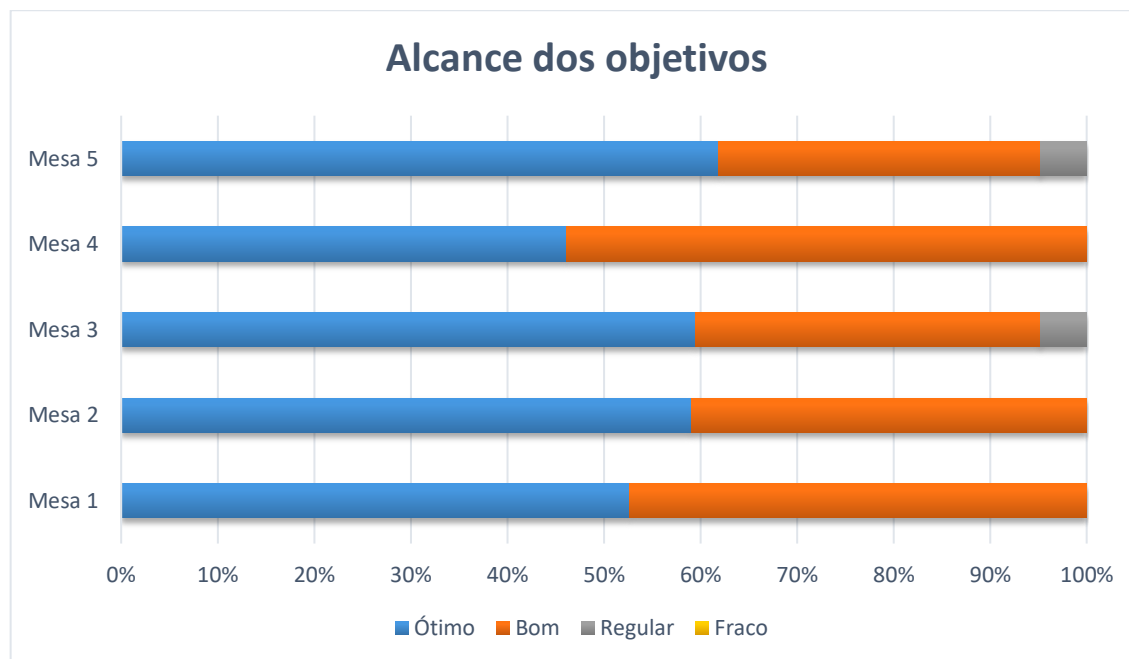


Figura 5. Avaliação do alcance dos objetivos.

Carga horária

Quanto a carga horária dos eventos, mais de 55% dos participantes consideram como ótima e 36% como boa em todas as mesas. Apenas na mesa três, 10% dos participantes apontam como regular nas outras mesas não foi verificada essa observação. Observa-se que não houve nenhuma resposta apontando a carga horária como não satisfatória o evento III SETA (Figura 6).

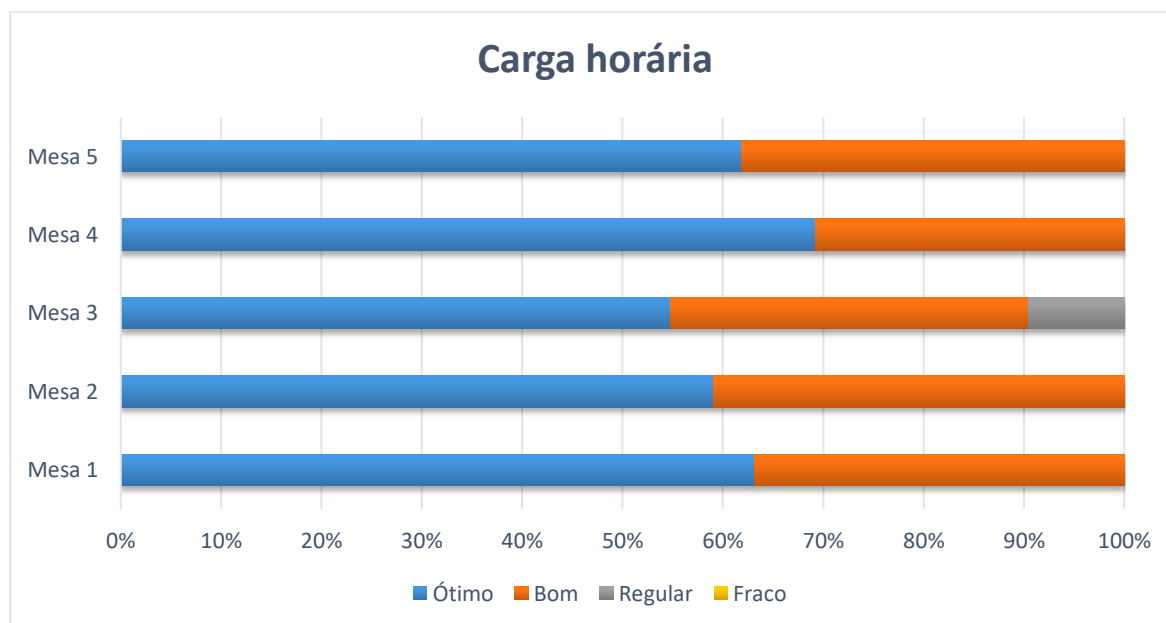


Figura 6. Avaliação da carga horária do evento.

Aplicabilidade na profissão

A partir dos resultados, pode-se perceber que, em resultado médio para as cinco mesas do III SETA, 65% dos participantes consideram a aplicabilidade como ótima, enquanto 27% consideram como

boa e 8% como regular. Não foi identificando nenhum resultado para fraco, como pode ser observado na Figura 7.

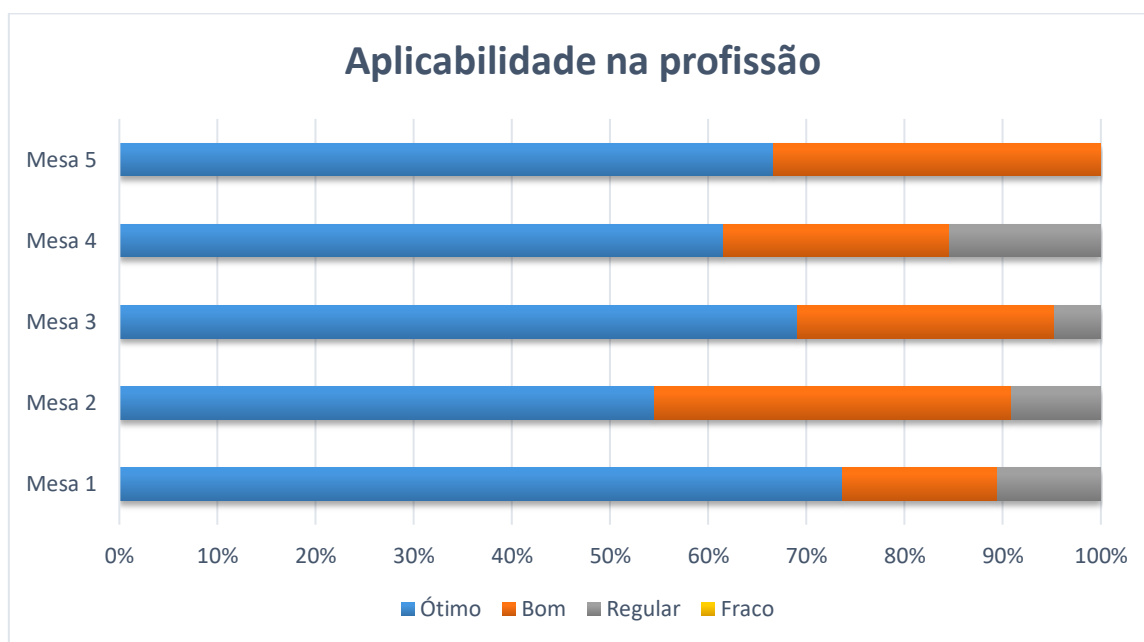


Figura 7. Avaliação da aplicabilidade na profissão.

Comunicação, informação e divulgação do evento

De acordo com a Figura 8, observa-se que a maioria dos participantes (45%) consideram a comunicação, informação e divulgação do III SETA, como ótima, enquanto 42% dos participantes consideram como boa, 12% como regular e 1% como fraco. Segundo Belotto et al. (2016), que através de seminários expor à comunidade acadêmica a organização estrutural da Universidade Estadual do Oeste do Paraná Campus de Toledo, as funcionalidades setoriais, os encaminhamentos e comunicação de trâmites de processos que envolvem as áreas acadêmicas, a satisfação dos acadêmicos referente aos conhecimentos adquiridos após as informações repassadas, apresentaram aos resultados de 1% dos acadêmicos atribuíram nota 2, 12% nota 3, 32% nota 4, e 55% nota 5. As avaliações foram feitas por acadêmicos do primeiro ano dos cursos de Engenharia Química, Ciências Sociais, Secretariado Executivo Bilingue, Filosofia diurno e Engenharia de Pesca. As notas indicativas de satisfação estavam na escala de 1 a 5, sendo 5 a nota de maior peso.

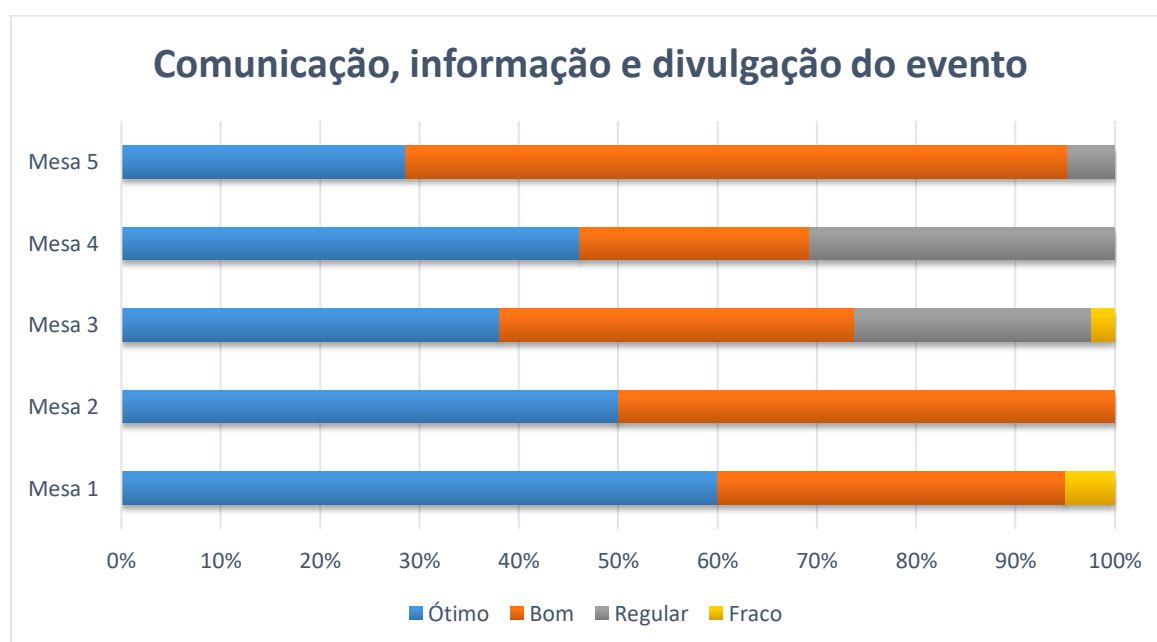


Figura 8. Avaliação da comunicação do III SETA.

Domínio do conteúdo

Em relação ao domínio, pode-se observar na Figura 9 que, os participantes de todas as mesas redondas consideram, em média, que o domínio do conteúdo foi ótimo (77%), 22% dos participantes considera como bom, e somente na mesa um observa-se como regular, equivalente a 5% dos resultados. Não foram reportados valores para a avaliação fraco.

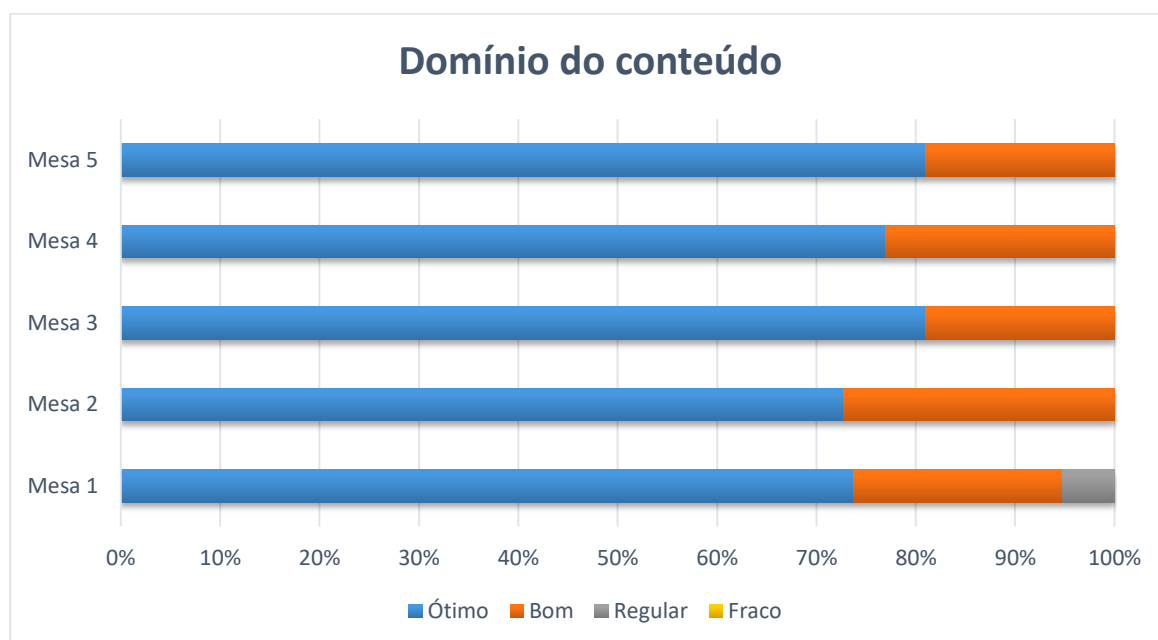


Figura 9. Avaliação do domínio do conteúdo dos membros da mesa redonda.

Pode-se observar na Figura 10 que, a maioria dos participantes (67%) avaliam a didática como ótima, enquanto 23% considera a didática como boa e 19% como regular. Não foram observadas respostas para fraco nesse quesito.

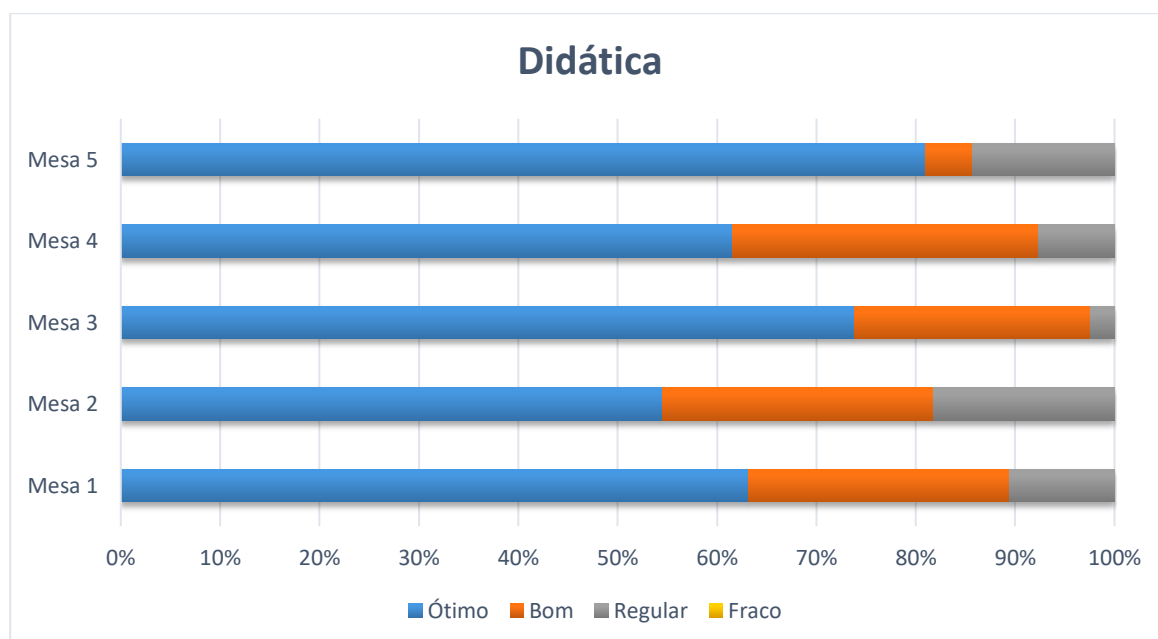


Figura 10. Avaliação da didática do conteúdo dos membros da mesa redonda.

Local e equipamentos

A Tabela 2 mostra os resultados da avaliação dos recursos físicos investidos para a realização do evento, como a qualidade da recepção, espaço físico disponibilizado para o evento, equipamentos, qualidade da sonorização e equipamentos audiovisuais. A maioria dos participantes classifica as

condições de local e equipamentos das mesas redondas do simpósio, como ótimo e bom em todas as cinco mesas do III SETA, com uma média entre 52 e 39%.

Tabela 2. Avaliação média dos participantes em relação ao III SETA

Local e equipamentos	Nível de satisfação (%)			
	Fraco	Regular	Bom	Ótimo
Recepção	0	5	38	57
Espaço físico	3	7	43	47
Sonorização	1	13	37	50
Equipamentos audiovisuais	1	9	37	54

Em relação à avaliação do retorno dos participantes nas próximas mesas, pode-se observar que, em média, 75% dos participantes assinalam sim, e, portanto, afirmam haver interesse em retornar em um próximo evento, enquanto 23% participantes ficam em dúvida e apenas 1% afirmou que não retornaria (Figura 11).

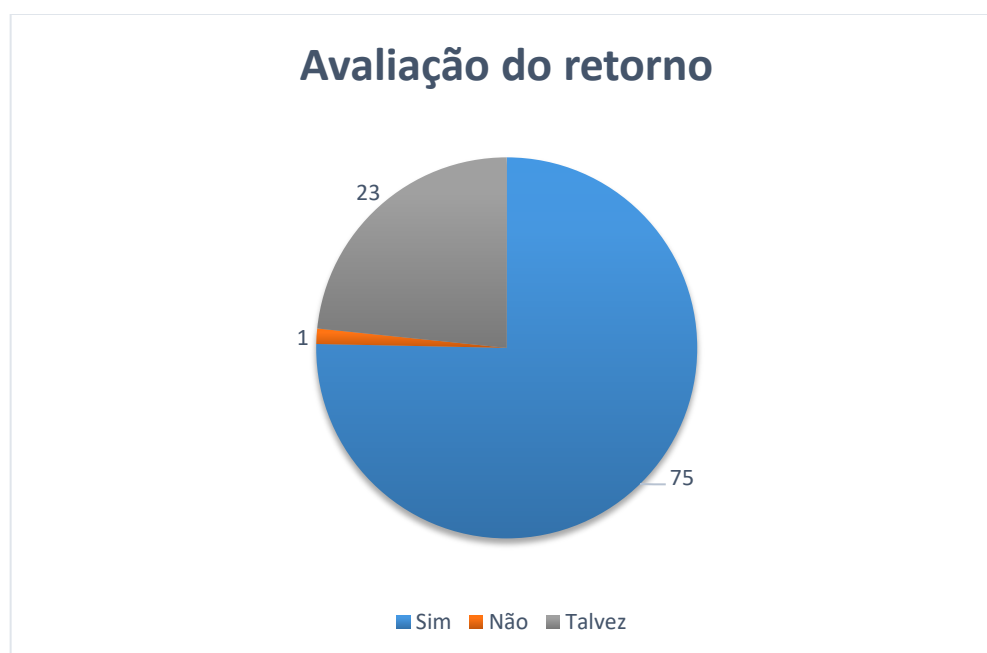


Figura 11. Avaliação do retorno em uma próxima mesa do SETA.

Observa-se que na Figura 12, a grande maioria (95%) dos participantes afirmam que indicariam o SETA e 5% ficaram em dúvida, e nenhum dos participantes marcou a opção não, e não recomendaria o evento para amigos e conhecidos. De acordo com Silva et al. (2017), o Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC) do total dos trabalhos aprovados, 62,7% dos autores foram estudantes de graduação e pós-graduação; 29,3% profissionais registrados nos CREA's; e os demais de outras categorias. Mesmo com a destacada participação dos profissionais do sistema, os números demonstram que os estudantes, foram a maioria dos congressistas.



Figura 12. Avaliação da indicação do evento para amigos e conhecidos.

Conclusão

A partir deste trabalho observou-se que, em média, 80% dos participantes responderam entre ótimo/bom em relação à comunicação e conteúdo programático. Este percentual foi superior a 90% no alcance dos objetivos, carga horária, aplicabilidade do tema na profissão, indicação do evento para outras pessoas, e os recursos de local e equipamentos. Em relação a participar de uma próxima mesa somente 1% disseram que não.

Quanto aos membros das mesas todos se mostraram satisfeitos em relação ao domínio do conteúdo e didática.

Portanto, pode-se considerar que, os resultados foram satisfatórios e a grande maioria se mostraram interessados em participar das próximas mesas em 2019.

Desta forma, este trabalho evidenciou pontos positivos do evento e também incentivou a busca de oportunidades de melhorias que serão discutidas nas próximas reuniões da comissão do evento para aplicá-las nas próximas edições.

Referências

- ALLEN, J.; O'TOOLE, W.; MCDONNEL, I.; HARIS, R. Organização e gestão de eventos. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, p.4, 2008.
- BARBOSA, F. S. Planejamento estratégico para eventos: um estudo de caso das estratégias de marketing utilizadas pela Oktoberfest de Santa Cruz do Sul-RS. *Cultur*, v.7, n.14, p.87-104, 2013.
- BELOTTO, S. R.; BARILLI, D. J.; KREIBICH, E.; NEVES, L. De J.; THEODORO, P. S. Integração e conhecimento entre profissionais da Unioeste de Toledo. In: *Seminário de Extensão da Unioeste*, 2016, Toledo. Anais...Toledo, Campus Francisco Beltrão, 2016.
- DJOUKI, D. O feedback como ferramenta de gestão de pessoas nas empresas. *Revista de Pós-graduação Multidisciplinar*, v.1, n.1, p.45-56, 2017.
- FORNELL, C. A national customer satisfaction barometer: the swedish experience. *Journal of Marketing*, v. 56, p.06-21, 1992.
- FORPROEX. Fórum de Extensão dos Pró-Reitores das Universidades Públicas Brasileiras. Política Nacional de Extensão Universitária. Manaus, AM: FORPROEX, 2012. 15p.
- MAIA, L. V. S.; CESAR, T. F. Projetos de geração de trabalho e renda, uma inserção informal no mercado, sobre possibilidades de inclusão social. *Revista Eletrônica Novo Enfoque*, v.7, n.7, p.1-7, 2008.
- MATIAS, M. Organização de eventos: procedimentos e técnicas. 5. ed. Barueri: Manole, 2010.
- OLIVEIRA. Práticas de planejamento e organização de eventos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília. 1ª ed. Editora IFB. 2016. 78p.

- OLIVEIRA. Práticas de planejamento e organização de eventos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília. Editora IFB, 1ª ed., 2016. 78p.
- SILVA, M. S.; VASCONCELOS, S. D. Extensão universitária e formação profissional: avaliação da experiência das ciências biológicas na Universidade Federal de Pernambuco. Estudos em Avaliação Educacional, v.17, n.33, p.119-136, 2006.
- SILVA, A. R. da et al. A contribuição da extensão na formação do estudante universitário. 2011.
- SILVA, J. T. da; GUIMARÃES, P. R. de Q.; MORAIS, M. G. N. de O. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia: Contribuição à Ciência, Tecnologia, Inovação e Empreendedorismo. 1.a Ed. EPGRAF, 2017. 303p.
- SOUSA, A. L. L. A História da Extensão Universitária. 2ª. ed. Campinas: Alínea, 2010.



Engenharia Química

REMOÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS DE EFLUENTE SINTÉTICO COM OS FLOCULANTES EXTRATO BRUTO E CONCENTRADO DE PROTEÍNAS DE *Moringa oleífera* E COAGULANTE COMERCIAL

José Wagner Alves Garrido¹

Magna Angélica dos Santos Bezerra Sousa²

Eduardo Lins de Barros Neto³

¹Doutorando, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, UFRN/Campus Central, Natal-RN, josewagnerag@gmail.com

²Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Química, UFRN/Campus Central, Natal-RN, magnelica@gmail.com

³Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, UFRN/Campus Central, Natal-RN, eduardolbn@yahoo.com.br

Introdução

Na indústria do petróleo, vários segmentos impactam negativamente o meio ambiente. No segmento representado pela extração do petróleo, o efluente mais relevante é a “água produzida” ou “água de produção”, associada com o petróleo, pela sua complexa composição química de poluentes e quantidade gerada que podem variar consideravelmente (STEWART & ARNOLD, 2011).

De acordo com Fakhru'l-Razia et al. (2009), os componentes básicos constituintes da água produzida podem ser agrupados dentro das seguintes categorias: óleo, sais minerais dissolvidos, compostos químicos residuais da produção, sólidos da produção, gases dissolvidos e microrganismos.

Óleo é um termo comum aplicado a materiais orgânicos que estão dispersos ou dissolvidos na água produzida, formado por uma mistura de vários compostos como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX), naftalenos, fenantrenos e dibenzotiofenos (NFD), hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA) e fenóis (MOTTA et al., 2013). Os hidrocarbonetos são altamente insolúveis na água, de modo que a maior parte do óleo presente na água produzida está sob a forma dispersa (EKINS et al., 2007).

Essas partículas coloidais geralmente possuem carga elétrica negativa, o que se mantém em suspensão devido à repulsão entre si, causada pelos íons de mesma carga. Ao desestabilizar estas cargas, as partículas coloidais se aglomeram progressivamente, possibilitando sua separação. Isto é feito através da adição de produtos químicos ou naturais, que desestabilizam o sistema (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991).

Sabe-se que os floculantes químicos comerciais geralmente são disponíveis para as indústrias sem a apresentação dos mecanismos de fenômenos de formação dos flocos, que quando aplicados, dependendo da dosagem, poderá acarretar sérios problemas à saúde do ser humano e ao meio ambiente por não ser biodegradável (AHMAD et al., 2011; HAMID et al., 2014). Diante disso, estudos realizados com aplicação de coagulantes naturais para o tratamento de água produzida têm sido bastante abordados, por serem biodegradáveis e seguros para a saúde humana (PRITCHARD et al., 2010).

A *Moringa oleífera*, um conhecido floculante natural em ascensão no emprego para tratamento de efluentes (SANTOS et al., 2011), com grande capacidade de desestabilizar partículas, é caracterizada como um polímero orgânico-catiônico, apresentando coloração clara (GASSEN et al., 1990).

Nesse contexto, a flotação tem-se apresentado como uma técnica de grande potencial no tratamento de diversos tipos de efluentes industriais, podendo ser utilizada como uma operação unitária, como pré-tratamento, associado a outros tratamentos como coagulação/floculação, adsorção, tratamento biológico, desinfecção, oxidação e como uma tecnologia para polimento final (TESSELE et al., 2004).

No que se refere ao tratamento de águas produzidas para retirada do óleo finamente disperso, utiliza-se as operações de floculação na etapa de pré-tratamento, aprimorando o rendimento do processo de flotação, tornando essa etapa um ponto importante (SPINELLI et al., 2001).

O objetivo deste estudo é realizar a remoção de óleos e graxas de água produzida sintética com floculantes de extrato bruto e concentrado de proteína obtidos das sementes de *Moringa oleífera* comparando com floculante comercial.

Material e Métodos

Este trabalho foi realizado nos Laboratórios de Engenharia Ambiental e Controle de Qualidade (LEACQ) e Monitoramento e Tratamento de Resíduos da Indústria do Petróleo (LAMTRE), na Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Para avaliar a eficiência de remoção de óleos e graxas, foram comparados dois tipos de flocculantes obtidos a partir da torta das sementes de *Moringa oleífera* e um flocculante comercial, com uso da técnica combinada floculação/flotação por ar dissolvido (metodologia adaptada de Lacerda et al., 1997).

Preparo da água produzida sintética

A água produzida sintética foi obtida da metodologia adaptada de Younker e Walsh (2014) utilizando-se 0,2 g de óleo (petróleo) e 32 gramas de cloreto de sódio para cada litro de água destilada, resultando numa concentração média de $130 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, correspondente ao teor de óleos e graxas inicial. Esta emulsão foi gerada sob agitação de 500 rpm por 36 horas para a devida homogeneização, com um agitador mecânico digital TE-039 da TECNAL.

Floculantes

Neste trabalho foram comparados três tipos de flocculantes, sendo, dois flocculantes preparados das sementes de *Moringa oleífera* e o terceiro flocculante, trata-se de um flocculante já utilizado pela PETROBRAS, fornecido pelo CEMPES, caracterizado neste estudo como sendo comercial, o qual não foi identificado por exigência de confidencialidade. Os flocculantes de *Moringa oleífera* foram preparados a partir do extrato bruto das sementes dessa planta, por meio do fracionamento com sulfato de amônio conforme metodologia adaptada de Scopes (1987) e Serquiz (2017).

Sistema de floculação/flotação por ar dissolvido

O equipamento para realização da técnica floculação/flotação por ar dissolvido (FAD) foi constituído de um sistema de saturação (vaso saturador e compressor), três colunas de floculação/flotação, onde, em cada coluna ocorrem as etapas de mistura rápida, mistura lenta e flotação por ar dissolvido. Na Figura 1 observa-se o esquema do sistema que foi utilizado.

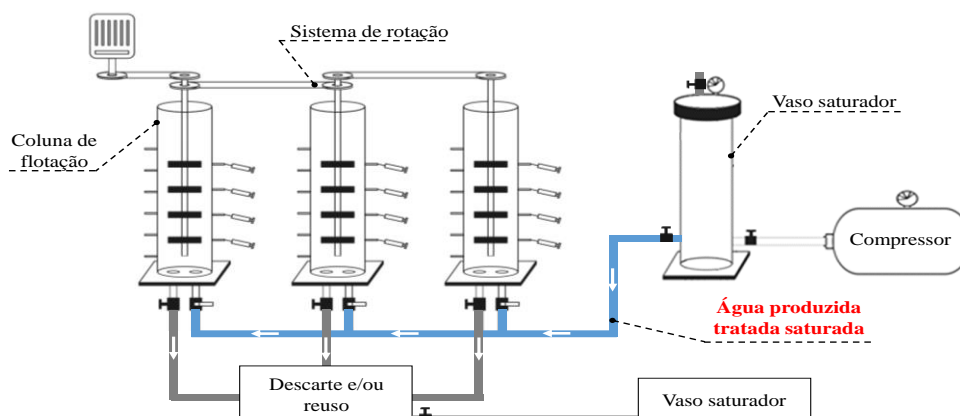


Figura 1. Esquema do sistema combinado floculação/flotação por ar dissolvido.

A câmara de saturação, que é um vaso fechado de inox AISI304 com volume total de 3,5 L, fabricado pela JBF-Aquaflot, foi conectado ao compressor marca Schulz – modelo Twister.

Cada coluna foi construída em acrílico transparente, com o objetivo de visualizar todo o processo de tratamento aplicando a técnica de floculação/flotação por ar dissolvido. Em cada coluna ocorrem as etapas de mistura rápida (desestabilização), mistura lenta (floculação) e flotação por ar dissolvido, permitindo, assim, a execução de três diferentes ensaios simultâneos.

No sistema de rotação a agitação foi dada por um variador de frequência de marca *Schneider Electric*, que permite uma faixa de 0 a 360 rpm. Para agitação rápida utilizou-se 226 rpm e para agitação lenta 90 rpm.

Experimentos de floculação/flotação por ar dissolvido

O planejamento experimental consistiu do composto central para K parâmetros, constituído por duas porções: planejamento fatorial completo e porção central. As variáveis independentes

consideradas neste trabalho foram: concentração volumétrica do floculante ($\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$), tempo de mistura lenta (min.) e tempo de flotação (min.), estes parâmetros foram as variáveis mais importantes do processo que influenciam a eficiência de remoção de óleos e graxas, as quais foram definidas com base nos estudos de Magalhães (2014) e Garrido (2015).

A Tabela 1 apresenta o número total de ensaios com os valores codificados das variáveis estudadas e seus respectivos valores reais.

Tabela 1. Planejamento experimental composto central com respectivos valores codificados

Tipo	Experimento	Variáveis independentes						
		Valores codificados				Valores reais		
		C	t_{ml}	t_r		C ($\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$)	t_{ml} (min.)	t_r (min.)
Planejamento fatorial	1	-1	-1	-1	=	4	3	3
	2	+1	-1	-1	=	17	3	3
	3	-1	+1	-1	=	4	10	3
	4	+1	+1	-1	=	17	10	3
	5	-1	-1	+1	=	4	3	10
	6	+1	-1	+1	=	17	3	10
	7	-1	+1	+1	=	4	10	10
	8	+1	+1	+1	=	17	10	10
Planejamento central	9	0	0	0	=	10,5	6,5	6,5
	10	0	0	0	=	10,5	6,5	6,5
	11	0	0	0	=	10,5	6,5	6,5

A execução destes experimentos, deram-se da seguinte forma: colocou-se o volume de 1000 mL água produzida sintética a ser tratada em cada coluna de flotação.

Posteriormente, foi acionado o sistema de rotação para a mistura rápida de 226 rpm. Neste momento adicionou-se os floculantes (extrato bruto, concentrado de proteínas e o comercial) nas concentrações volumétricas definidas (Tabela 1), para cada um, o que totalizou 11 experimentos.

Após a adição dos floculantes, por meio de um cronômetro digital, registrou-se o tempo de duração de mistura rápida de 3 minutos; terminado esse tempo, a velocidade de rotação foi reduzida ao valor de mistura lenta, 90 rpm, durante o tempo definido na Tabela 1, sendo este cronometrado de acordo com as definições prévias para cada ensaio realizado.

De forma imediata, as válvulas de cada coluna de flotação foram abertas para a injeção da água saturada com ar, permitindo a entrada de 10% em volume, ou seja, 100 mL de água saturada na coluna (taxa de recirculação).

Terminada a admissão de água saturada, a duração do tempo de flotação (variável do planejamento experimental) foi cronometrada conforme as condições estabelecidas no planejamento (Tabela 1).

Posteriormente, após a finalização do tempo de flotação, coletou 200 mL de amostra de água produzida tratada para análise de TOG.

Determinação da variável de resposta

A variável resposta da eficiência de remoção do teor de óleos e graxas (TOG) de água produzida sintética, foi designada na Equação (1) por " η ". Esta eficiência foi avaliada a partir das análises dos TOG's antes do tratamento (água produzida sintética bruta) e depois do tratamento (água produzida tratada). A Equação (1) define a eficiência de redução do TOG.

$$\eta (\%) = \left(1 - \frac{\text{TOG}_f}{\text{TOG}_i}\right) \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: TOG_i teor de óleo e graxas inicial (antes do tratamento) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); TOG_f teor de óleo e graxas final (depois do tratamento) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

A análise do TOG foi realizada pela técnica de espectrometria de absorção de radiação na região do infravermelho, que pode ser utilizada para determinar a concentração de hidrocarbonetos presentes

em amostras líquidas (NASCIMENTO et al., 2008). Para isso foi utilizado o equipamento Infracal TOG/TPH, modelo HATR-T2 da *Wilks*, que opera em um comprimento de onda característico na região do infravermelho e a quantidade de energia absorvida é proporcional à concentração do óleo ou graxa presente na amostra líquida (WILKS INTERPRISE, 2013).

O modelo matemático que descreve essa função de resposta (y) como uma função das variáveis dependentes (x_i) é descrito pela Equação (2), onde y_i representa a resposta no estado de i , x_i são os níveis codificados para as variáveis independentes, β_0 , β_i , e β_{ij} são os parâmetros do modelo de regressão e ε é o erro aleatório associado à esta medida (SILVA et al., 2015). Neste caso, os coeficientes estimados pelo modelo polinomial foram realizados pelo método dos mínimos quadrados.

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i < j}^n \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (\text{Eq.2})$$

A função de resposta (y) é expressa em termos de eficiência de remoção de TOG (“ η ”). Os coeficientes da função de resposta para as variáveis dependentes foram determinados correlacionando os dados experimentais com a função de resposta utilizando o *software Statistica 7.0*.

Análise estatística

A função resposta de cada floculante obtidas para remoção de óleos e graxas foram submetidos à análise da variância (ANOVA) e o teste de distribuição de Fisher, considerando significância estatística a um limite de confiança de 95%.

Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta os valores das eficiências de remoção de óleos e graxas (variáveis de respostas), quando aplicado os três tipos de coagulantes estudados para as diferentes combinações do planejamento composto central.

Tabela 2. Resultados dos TOG's iniciais, finais e das eficiências de remoção de óleos e graxas da água produzida sintética

Experimento	TOGi (mg·L ⁻¹)	Floculantes					
		EB		F1		Comercial	
		TOGr (mg·L ⁻¹)	η (%)	TOGr (mg·L ⁻¹)	η (%)	TOGr (mg·L ⁻¹)	η (%)
1	145	47	67,5	31	78,6	28	81,0
2	120	32	73,5	19	83,8	14	88,2
3	129	39	70,2	24	81,6	37	71,3
4	122	35	71,5	21	82,6	16	86,7
5	146	39	73,7	22	84,8	17	88,4
6	135	32	76,0	17	87,1	16	88,4
7	125	31	75,1	17	86,2	21	83,2
8	131	34	73,8	20	84,9	14	89,6
9	147	39	73,6	23	84,7	19	87,4
10	115	30	74,0	17	85,1	16	86,0
11	135	36	73,1	22	84,0	20	85,2

Conforme a Figura 2, os valores médios relativos do TOG final da água produzida tratada com os floculantes: extrato bruto, concentrado de proteínas e comercial são de 36,0 mg·L⁻¹, 21,0 mg·L⁻¹ e 20,0 mg·L⁻¹ respectivamente, valores inferiores dos máximos permitidos para o descarte, de 42 mg·L⁻¹ para operações *offshore*, conforme as Resoluções CONAMA nº 393/2007 (BRASIL, 2007) e superiores que 20 mg·L⁻¹ para as operações *onshore*, conforme CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011).

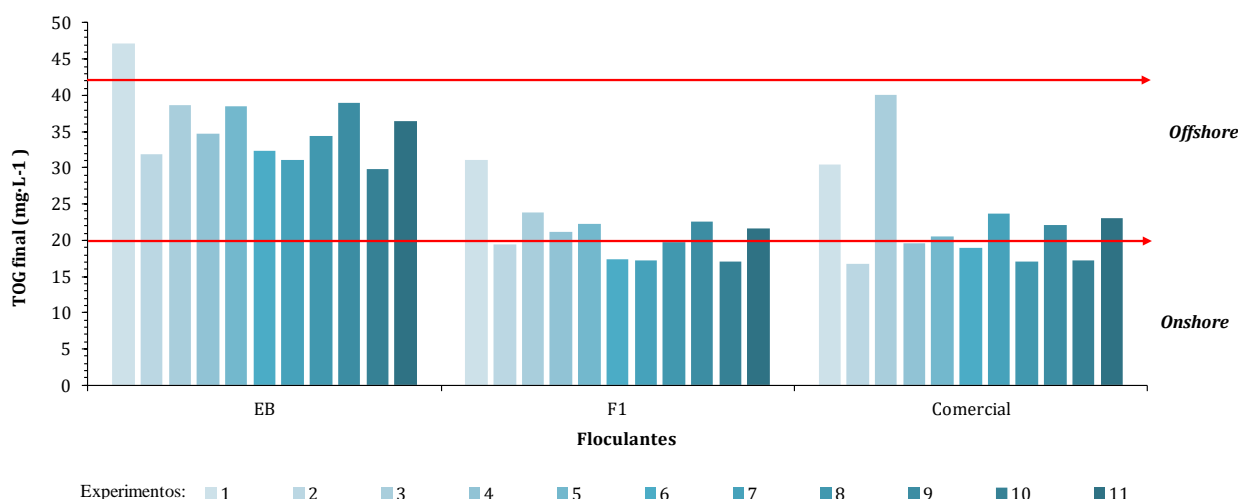


Figura 2. Valores do TOG's finais de água produzida tratada com os floculantes do extrato bruto, concentrado de proteínas e comercial.

Analisando a Figura 2, as eficiências máximas são de 83,5, 87,1 e 89%, e as eficiências mínimas de 67,5, 78,6 e 71,3% de remoção do TOG da água produzida para aplicação do floculante do extrato bruto, concentrado de proteínas e comercial, respectivamente. Observa-se que, somente um experimento apresenta valor de TOG final maior que 42 mg.L⁻¹ na água produzida tratada, não atendendo os requisitos ambientais para operações *offshore*, conforme à resolução CONAMA nº 393 (BRASIL, 2007).

Considerando a melhoria no efeito de redução de óleos e graxas pelo floculante concentrado de proteínas (F1), em comparação com o extrato bruto (EB), conforme o estudo preliminar observa-se que foi em virtude do floculante ter sido preparado com sulfato de amônio, que é seletivo para precipitar e concentrar proteínas, excluindo a maior parte de carboidratos e compostos orgânicos de baixo peso molecular (SCOPES, 1987). Pode-se assumir que as proteínas constituem os principais componentes ativos do extrato de sementes de *Moringa oleífera*, capazes de promover uma maior desestabilização eletrostática das gotículas de óleo dispersas em água, que também foi observado nos estudos de Okuda et al. (1999) e Ghebremichael et al. (2005).

De acordo com Pritchard et al. (2010), os floculantes das sementes de *Moringa oleífera* se mostram competitivos com os tradicionais produtos empregados para floculação, com a vantagem de serem completamente biodegradáveis, o que permite a sua total eliminação quando houver etapas biológicas no processo.

Devido à sua versatilidade, à *Moringa oleífera* apresenta ação efetiva sobre vários tipos de água, assim como, diversos tipos de efluentes industriais (FRANCO et al., 2017; HAMID et al., 2014; MADRONA et al., 2011; YANG, 2016).

Deste modo, é possível verificar que os floculantes naturais obtidos através das sementes de *Moringa oleífera* apresentam grande potencialidade para substituir os floculantes sintéticos, utilizados nos tratamentos convencionais da água produzida, além de serem danosos à saúde e ao meio ambiente.

A Figura 3 apresenta os diagramas de Pareto, o qual apresenta todos os efeitos sobre a eficiência de remoção de óleos e graxas em função das variáveis independentes envolvidas no planejamento experimental (exceto a curvatura). Considerando significância estatística a um limite de confiança de 95%, utilizando os floculantes naturais derivados das sementes da *Moringa oleífera*, extrato bruto (Figura 3A) e concentrado de proteínas (Figura 3B) e o floculante comercial (Figura 3C).

Vale salientar, que a curvatura não é uma variável, apenas foi inserida no diagrama de Pareto a fim verificar sua significância estatística, ou seja, dependendo desta significância, o processo estudado, pode ser representado por um modelo que é formulado a partir da execução dos planejamentos experimentais fatorial, central e axial (BARROS NETO et al., 2010).

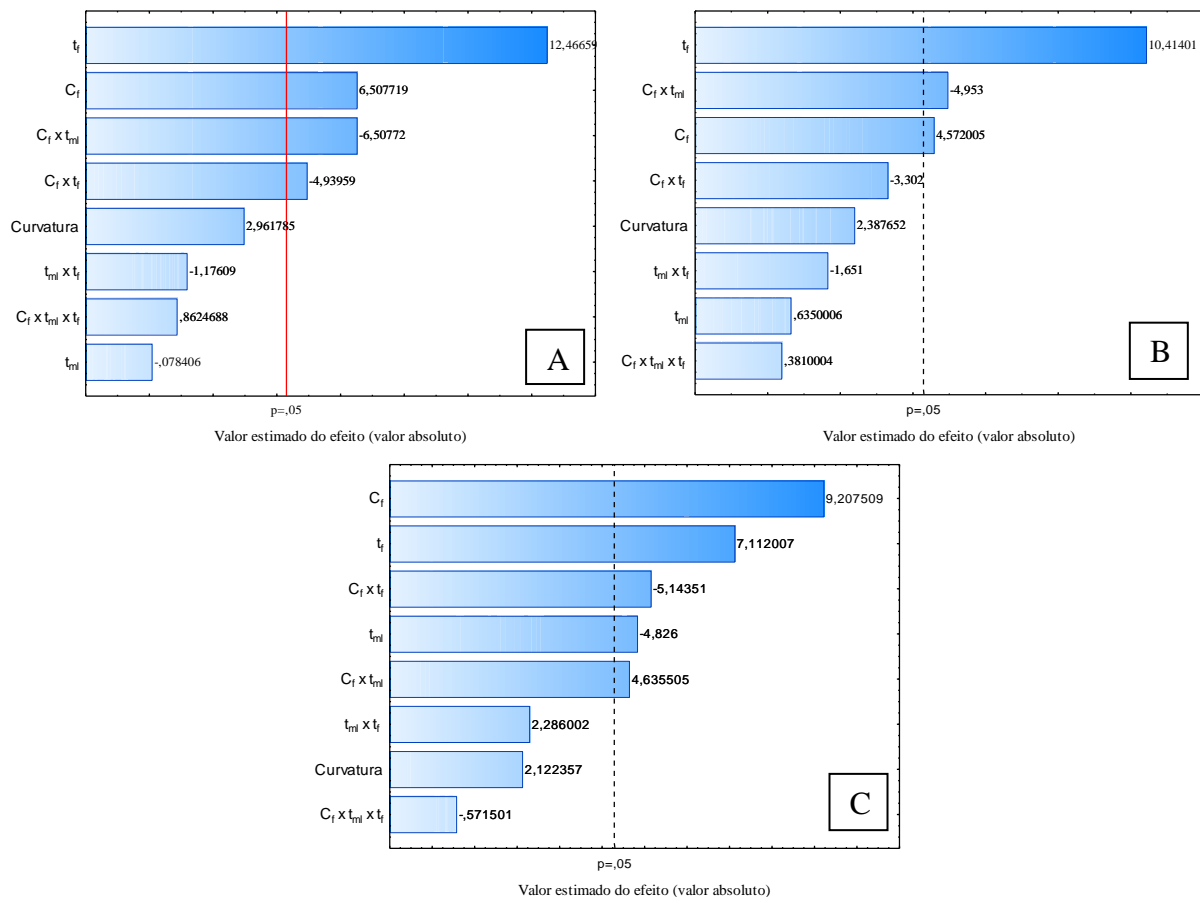


Figura 3. Efeitos sobre a eficiência de remoção de óleos e graxas da água produzida para os flocculantes extrato bruto (A), concentrado de proteínas (B) e comercial (C).

Observa-se na Figura 3A que as variáveis concentração de flocculante (C_f) e o tempo de flotação (t_f) são significativas estatisticamente quando analisadas de forma isolada. O tempo de flotação apresenta maior significância, exercendo influência positiva na eficiência de remoção de óleos e graxas da água produzida sintética.

Analisando a Figura 3B observa-se que as variáveis concentração flocculante (C_f) e o tempo de flotação (t_f) são significativas estatisticamente quando analisadas de forma isolada. O tempo de flotação apresenta maior significância, exercendo influência positiva na eficiência de remoção do TOG da água produzida sintética. Já o tempo de mistura lenta (t_{ml}) quando interagiu com a concentração de flocculante, esta interação apresenta influência negativa na remoção de óleos e graxas da água produzida.

A partir da Figura 3C, pode-se concluir que a concentração de flocculante (C_f), os tempos de flotação (t_f) e mistura lenta (t_{ml}) são variáveis que influenciam na remoção de gotículas de óleos e graxas. Dessa forma, a concentração de flocculante e o tempo de flotação são as variáveis que apresentam maior influência positiva na remoção de óleos e graxas da água produzida sintética.

Pelo diagrama de Pareto (Figura 3), conforme Barros Neto et al. (2010), verifica-se que o valor obtido para a curvatura dos três tipos de flocculantes são inferiores a $p = 0,05$, o que a torna não significativa, assim sendo, os planejamentos experimentais fatorial e central são suficientes para formular o modelo que representa o processo em estudo.

Os modelos obtidos para os flocculantes extrato bruto, concentrado de proteínas e comercial estão representados pelas Equações 3, 4 e 5 que mostram coeficientes de correlação (R^2) de 0,9928, 0,9886 e 0,9908, respectivamente, para um nível de confiança de 95%, dentro do intervalo para as três variáveis independentes estudadas.

$$\eta = 60,43 + 0,754x_{C_f} + 0,693x_{t_{ml}} + 1,149x_{t_f} - 0,057x_{C_f \times t_{ml}} - 0,046x_{C_f \times t_f} - 0,033x_{t_{ml} \times t_f} + 0,002x_{C_f \times t_{ml} \times t_f} \quad (\text{Eq.3})$$

$$\eta = 71,79 + 0,643x_{C_f} + 0,722x_{t_{ml}} + 1,122x_{t_f} - 0,049x_{C_f \times t_{ml}} - 0,035x_{C_f \times t_f} - 0,036x_{t_{ml} \times t_f} +$$

$$+0,001 \times C_f \times t_{ml} \times t_f \quad (\text{Eq.4})$$

$$\eta = 80,83 + 0,495 \times C_f - 2,056 \times t_{ml} + 1,064 \times t_f + 0,098 \times C_f \times t_{ml} - 0,071 \times C_f \times t_f + 0,103 \times t_{ml} \times t_f - 0,003 \times C_f \times t_{ml} \times t_f \quad (\text{Eq.5})$$

A fim de complementar a utilidade destes modelos, do ponto de vista de significância estatística e capacidade de predição, a Tabela 3 apresenta a análise de variância (ANOVA) e o teste de distribuição de Fisher, para cada modelo estatístico de cada floculante.

Tabela 3. Análise da variância para o ajuste do modelo estatístico que representa os floculantes: extrato bruto (EB), concentrado de proteínas (F1) e comercial

Floculante EB			
Fonte de Variação	Soma Quadrática (SQ)	Grau de Liberdade	Média quadrática (MQ)
Regressão (R)	54,218750	7	7,745536
Resíduos (r)	2,190341	3	0,730114
Falta de ajuste (faj)	1,783674	1	1,783674
Erro puro (ep)	0,406667	2	0,203333
R² = 0,9928			
<u>Condição para significância</u>		<u>Condição para predição</u>	
F _{calculado} = MQ _R /MQ _r = 10,6		F _{calculado} = MQ _{faj} /MQ _{ep} = 8,8	
F _{tabelado} = F _{v1,v2} = F _{7,3} = 8,89		F _{tabelado} = F _{v1,v2} = F _{1,2} = 18,51	
F _{calculado} > F _{tabelado} (significativo)		F _{calculado} < F _{tabelado} (preditivo)	
Floculante F1			
Fonte de Variação	Soma Quadrática (SQ)	Grau de Liberdade	Média quadrática (MQ)
Regressão (R)	52,100000	7	7,442857
Resíduos (r)	2,387273	3	0,795758
Falta de ajuste (faj)	1,767273	1	1,767273
Erro puro (ep)	0,620000	2	0,310000
R² = 0,9886			
<u>Condição para significância</u>		<u>Condição para predição</u>	
F _{calculado} = MQ _R /MQ _r = 9,4		F _{calculado} = MQ _{faj} /MQ _{ep} = 5,7	
F _{tabelado} = F _{v1,v2} = F _{7,3} = 8,89		F _{tabelado} = F _{v1,v2} = F _{1,2} = 18,51	
F _{calculado} > F _{tabelado} (significativo)		F _{calculado} < F _{tabelado} (preditivo)	
Floculante comercial			
Fonte de Variação	Soma Quadrática (SQ)	Grau de Liberdade	Média quadrática (MQ)
Regressão (R)	263,060000	7	37,580000
Resíduos (r)	8,065455	3	2,688485
Falta de ajuste (faj)	5,585455	1	5,585455
Erro puro (ep)	2,480000	2	1,240000
R² = 0,9909			
<u>Condição para significância</u>		<u>Condição para predição</u>	
F _{calculado} = MQ _R /MQ _r = 14,0		F _{calculado} = MQ _{faj} /MQ _{ep} = 4,5	
F _{tabelado} = F _{v1,v2} = F _{7,3} = 8,89		F _{tabelado} = F _{v1,v2} = F _{1,2} = 18,51	
F _{calculado} > F _{tabelado} (significativo)		F _{calculado} < F _{tabelado} (preditivo)	

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 3, para que o modelo estatístico seja considerado significativo, a relação entre a média quadrática da regressão (MQ_R) e a média quadrática dos resíduos (MQ_r) deve ser superior ao valor tabelado ($F_{v1, v2}$), onde v_1 e v_2 são os graus de liberdade da regressão e dos resíduos, respectivamente (BARROS NETO et al., 2010; SILVA et al., 2015). Sendo assim, os modelos estatísticos (Equação 3, 4 e 5) são estatisticamente significativos.

Porém, para que os modelos tenham a capacidade de prever os dados experimentais, a relação da média quadrática da falta de ajuste (MQ_{fa}) com do erro puro (MQ_{ep}) deve ser inferior ao tabelado (F_{v_1, v_2}), sendo, neste caso, v_1 e v_2 os graus de liberdade da falta de ajuste e do erro puro, respectivamente, a um nível de confiança de 95% (BARROS NETO et al., 2010; Silva et al., 2015). Dessa forma, observa-se que os modelos ajustados são capazes de realizar previsões dos dados experimentais.

As Figuras 4 e 5 apresentam as curvas de contorno para eficiência de remoção de óleos e graxas para o floculante extrato bruto de *Moringa oleífera*. Na Figura 4, a eficiência de remoção de óleos e graxas é em função das variáveis: concentração de floculante e tempo de mistura lenta, mantendo-se fixos os tempos mínimo, médio e máximo de flotação, e a Figura 5, a eficiência de remoção de óleos e graxas é em função da concentração de floculante e tempo de flotação, mantendo-se fixos os tempos mínimo, médio e máximo de mistura lenta, respectivamente.

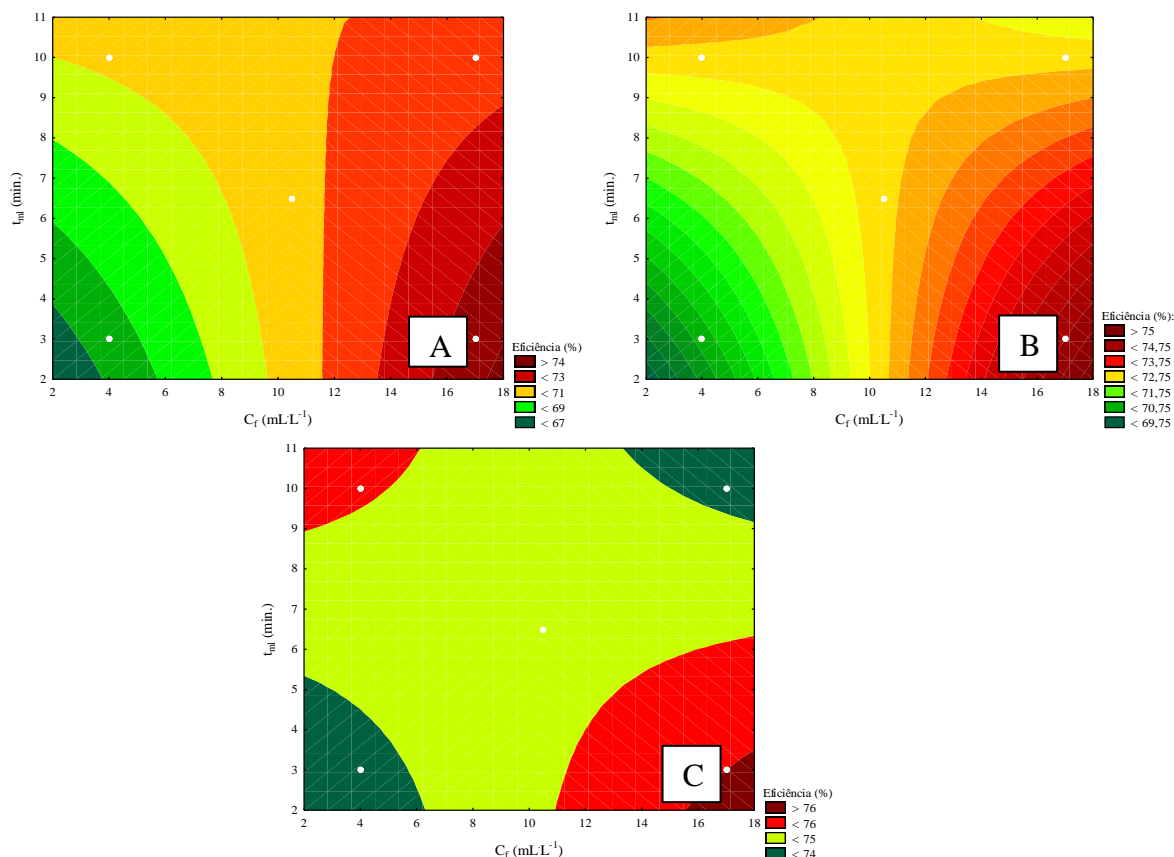


Figura 4. Curvas de contorno para eficiência de remoção de óleos e graxas com tempo de flotação de 3 minutos (A), 6,5 minutos (B) e 10 minutos (C) para o floculante extrato bruto (EB).

Analisando a Figura 4, observa-se uma região em comum onde ocorre a máxima eficiência de remoção de óleos e graxas em maior concentração de floculante de $17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ combinada com menor tempo de mistura lenta de 3 min.

Na análise da Figura 4 A, considerando-se o tempo mínimo de flotação de 3 min., constata-se que para se alcançar a máxima eficiência (73,53%) de remoção de óleos e graxas da água produzida sintética deve-se trabalhar na condição de concentração de floculante de $17 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ e tempo de mistura lenta de 3 min.

A curva de contorno apresentada na Figura 4 B, para um tempo médio de flotação de 6,5 min., se assemelha com a curva da Figura 4 A e B, em que para obter máxima eficiência (74,83%) de remoção de óleos e graxas, é necessário trabalhar na condição operacional de concentração de floculante de $17 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ e tempo de mistura lenta de 3 min.

Analisando as curvas de contorno da Figura 4 C, para um tempo de flotação de 10 min., obtém a máxima eficiência (76,12%) de remoção de óleos e graxas, na condição operacional de concentração de floculante de $17 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ e tempo de mistura lenta de 3 min.

Analisando as Figuras 5 A e B, considerando-se o tempo de mistura lenta de 3 e 6,5 minutos, observa-se uma região em comum onde ocorre a máxima eficiência de 76,12 e 75,19%, respectivamente,

de remoção de óleos e graxas, quando se aplica maior concentração de flocculante de $17 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ combinada com maior tempo de flotação de 10 min.

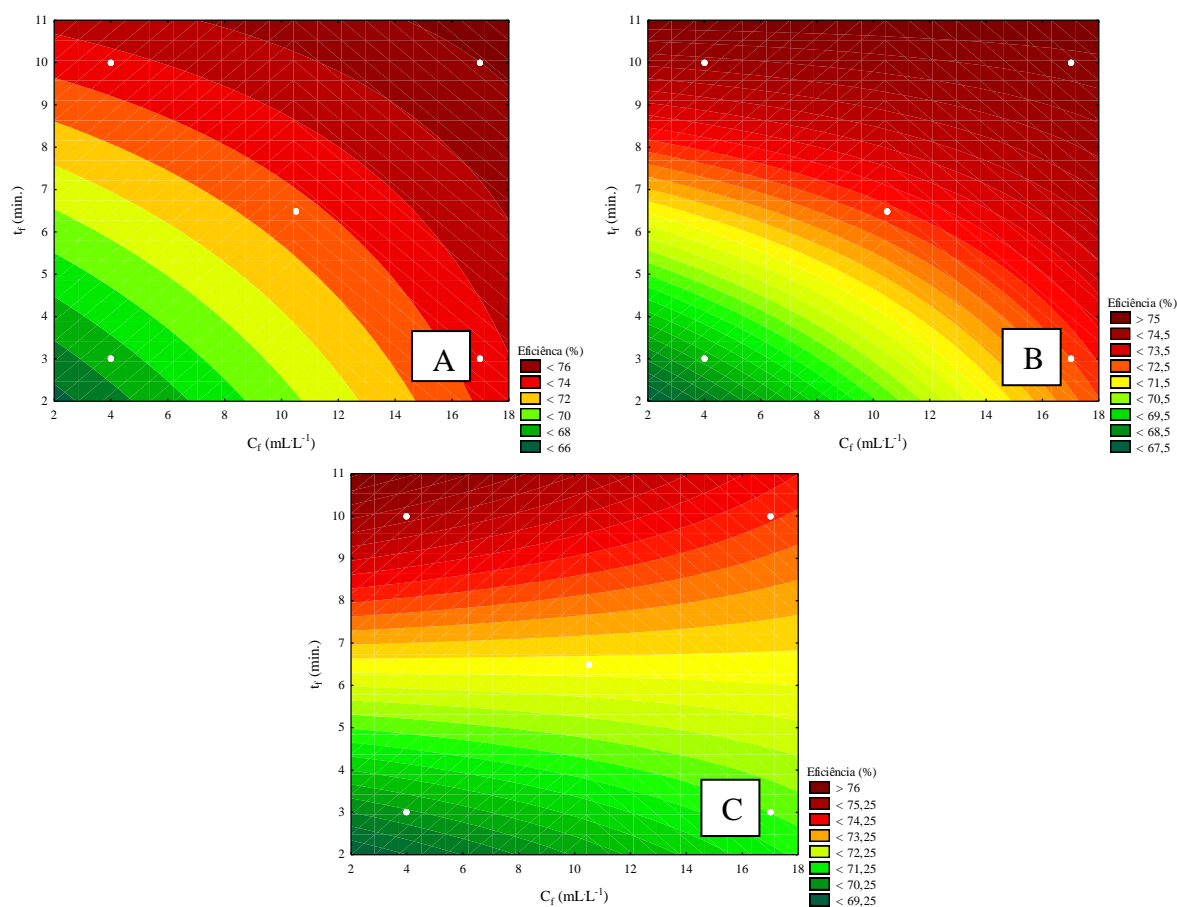


Figura 5. Curvas de contorno para eficiência de remoção de óleos e graxas com tempo de mistura lenta para 3 minutos (A), 6,5 minutos (B) e 10 minutos (C) para o flocculante extrato bruto (EB).

Na análise da Figura 5 C, considerando-se o tempo máximo de mistura lenta de 10 min., constata-se que para se alcançar a máxima eficiência (75,23%) de remoção de óleos e graxas da água produzida sintética, deve-se trabalhar na condição de concentração de flocculante de $4 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ e tempo de mistura lenta de 3 min.

Analisando-se as três imagens em conjunto (Figura 5), percebe-se uma relação intrínseca com o diagrama de Pareto (Figura 3A), o que constata que a variável tempo de flotação foi a que exerce maior influência na eficiência de remoção de óleos e graxas da água produzida sintética, ou seja, quanto maior o tempo de flotação, menor será o valor de TOG final da água produzida tratada.

Na Figura 6 observa-se as curvas de contorno para eficiência de remoção de óleos e graxas quando se utilizou o concentrado de proteínas (F1), em função da concentração do flocculante e do tempo de mistura lenta, mantendo-se fixos os tempos mínimo, médio e máximo de flotação.

Analisando a Figura 6, observa-se uma região em comum onde ocorre a máxima eficiência de remoção de óleos e graxas da água produzida (maior concentração de flocculante de $17 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ combinada com menor tempo de mistura lenta de 3 min.).

Na análise da Figura 6 A, considerando-se o tempo mínimo de flotação de 3 min., constata-se que para se alcançar a máxima eficiência (83,82%) de remoção de óleos e graxas da água produzida sintética deve-se trabalhar na condição de concentração de flocculante de $17 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ e tempo de mistura lenta de 3 min.

Na curva de contorno (Figura 6B), observa-se que para um tempo médio de flotação de 6,5 min., em que para obter máxima eficiência (85,48%) de remoção de óleos e graxas, é necessário trabalhar na condição operacional de concentração de flocculante de $17 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ e tempo de mistura lenta de 3 min.

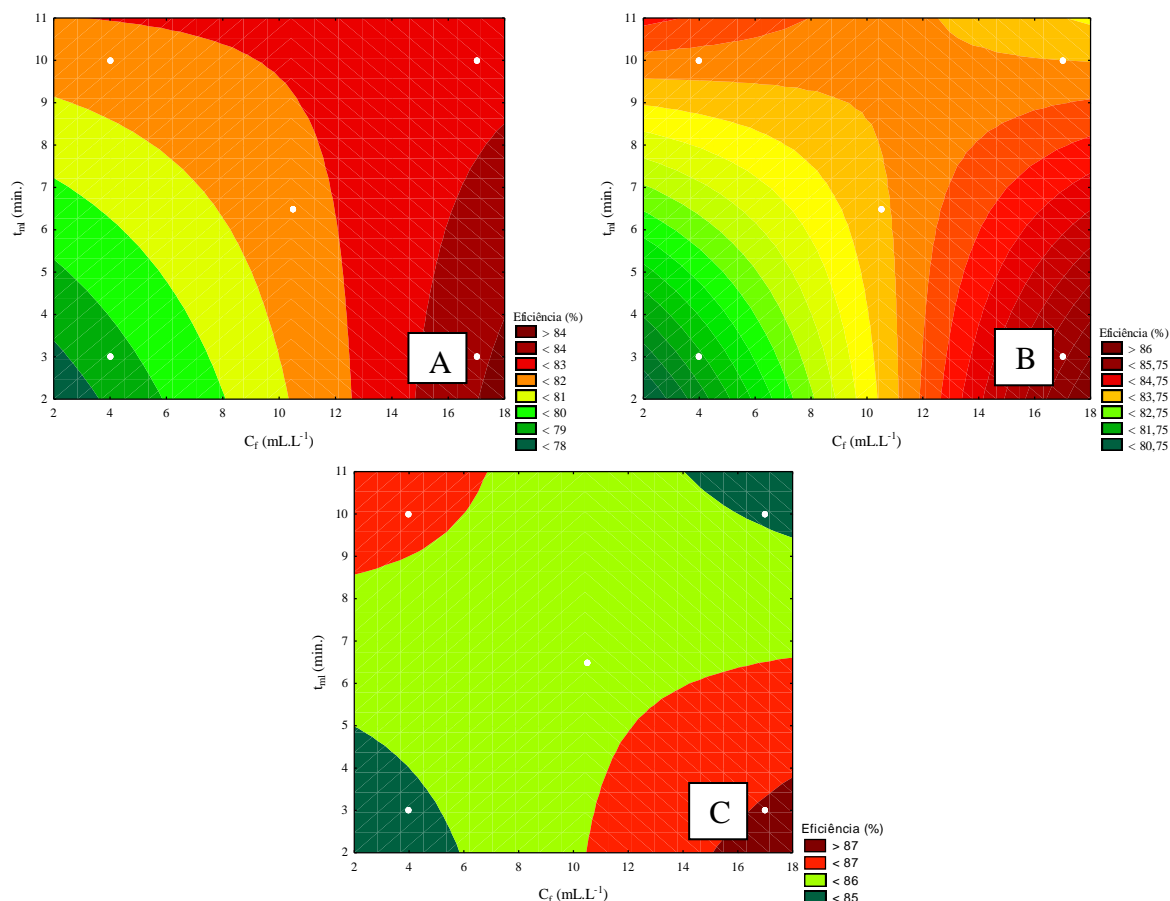


Figura 6. Curvas de contorno para eficiência de remoção de óleos e graxas com tempo de flotação para 3 minutos (A), 6,5 minutos (B) e 10 minutos (C) para o floculante concentrado de proteínas (F1).

Analisando as curvas de contorno da Figura 6 C, para um tempo de flotação de 10 min., obtém a máxima eficiência (87,14%) de remoção de óleos e graxas, na condição operacional de concentração de floculante de $17 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ e tempo de mistura lenta de 3 min.

Analisando-se as três imagens em conjunto (Figura 6), percebe-se uma relação também direta com o diagrama de Pareto (Figura 3B), o que constata que a variável tempo de flotação foi também a que contribui para maior remoção de óleos e graxas da água produzida sintética, ou seja, quanto maior o tempo de flotação, menor será o valor de TOG final da água produzida tratada.

As Figuras 7 e 8 apresentam as curvas de contorno para eficiência de remoção de óleos e graxas para o floculante comercial. Na Figura 7, a eficiência de remoção de óleos e graxas é em função das variáveis: concentração de floculante e tempo de mistura lenta, mantendo-se fixos os tempos mínimo, médio e máximo de mistura lenta, e na Figura 8, a eficiência de remoção de óleos e graxas é em função da concentração de floculante e tempo de flotação, mantendo-se fixos os tempos mínimo, médio e máximo de flotação, respectivamente.

Na análise da Figura 7 A, considerando-se o tempo mínimo de mistura lenta de 3 min., constata-se que para se alcançar a máxima eficiência (88,3%) de remoção de remoção de óleos e graxas da água produzida pode-se trabalhar em duas condições distintas. A primeira condição compreende concentração total de floculante de $4 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ e a segunda condição situa-se na concentração de $17 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$, para ambas condições devem ser combinadas com o tempo de flotação de 10 minutos.

Na Figura 7 B observa-se apenas uma condição operacional em que se obtém eficiência máxima (88,8%) de remoção de óleos e graxas (concentração total de floculante de $17 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ e tempo de flotação de 10 minutos).

Na análise da Figura 7 C, considerando-se o tempo de mistura lenta de 10 min., para se alcançar a máxima eficiência (89,3%) de remoção de óleos e graxas da água produzida sintética deve-se trabalhar na condição de concentração de floculante de $17 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ e tempo de flotação de 10 minutos.

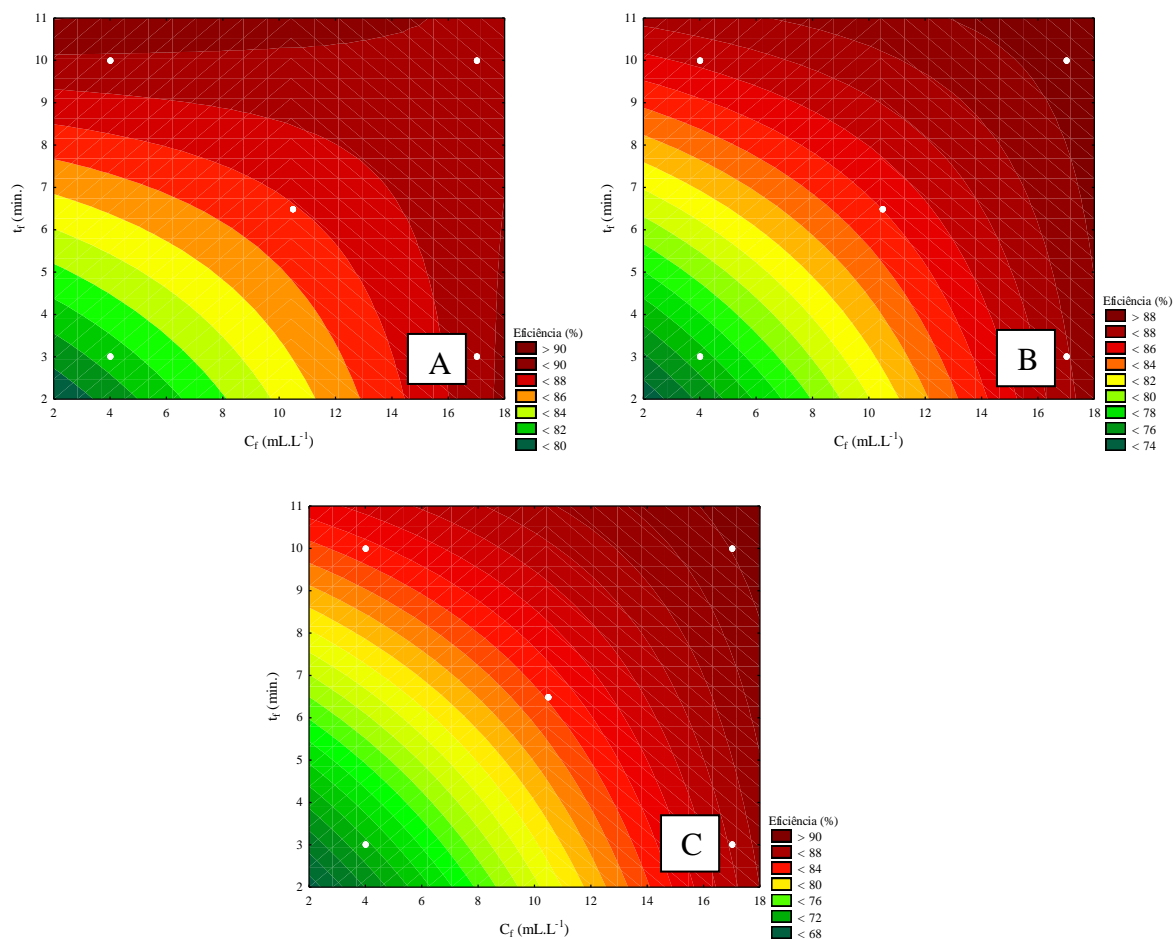


Figura 7. Curva de contorno para eficiência de remoção de óleos e graxas com tempo de mistura lenta para 3 minutos (A), 6,5 minutos (B) e 10 minutos (C) para floculante comercial.

Na Figura 8, observa-se uma região em comum onde ocorre a máxima eficiência (89,3%) de remoção de óleos e graxas, consiste quando se aplica maior concentração de floculante de 17 mL.L⁻¹ para o tempo de mistura lenta e flotação de 10 min.

Comparando as Figura 7 e 8 com o diagrama de Pareto (Figura 3C) observa-se uma relação direta com as variáveis que mais influenciam positivamente na remoção de óleos e graxas da água produzida sintética com o uso do floculante comercial, sendo elas, a concentração e o tempo de flotação, o que se constata em ambas as figuras, ou seja, quanto maior a concentração de floculante e o tempo de flotação, menor será o valor de TOG final da água produzida tratada.

Nos estudos preliminarmente realizados, também utilizando a técnica combinada de floculação/flotação por ar dissolvido para o tratamento de água produzida, variou apenas a concentração de floculante de *Moringa oleífera*, o que observou conforme o planejamento experimental, que a água tratada apresentou valores de TOG's finais maiores do que 20 mg/L (limite máximo admitido pela legislação ambiental, conforme resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011).

Sendo assim, observa-se neste trabalho que, a eficiência de remoção de óleos e graxas da água produzida, não está somente relacionada com as concentrações de floculantes, entretanto, para aumentar esta eficiência, é necessário avaliar outras variáveis, por exemplo, os tempos de mistura rápida e flotação. Deste modo, conforme pode ser observado, quando utilizou o floculante extrato bruto (EB) e o concentrado de proteínas (F1), na maioria dos experimentos, os valores de TOG's finais da água produzida tratada atenderam os valores máximos permitidos para o descarte deste tipo de efluente industrial. Diante disso, esses tipos de floculante natural, pode ser uma alternativa para tratamento de efluentes industriais, que durante o processo de tratamento, quando exige etapa de coagulação e ou floculação, procedido de flotação por ar dissolvido.

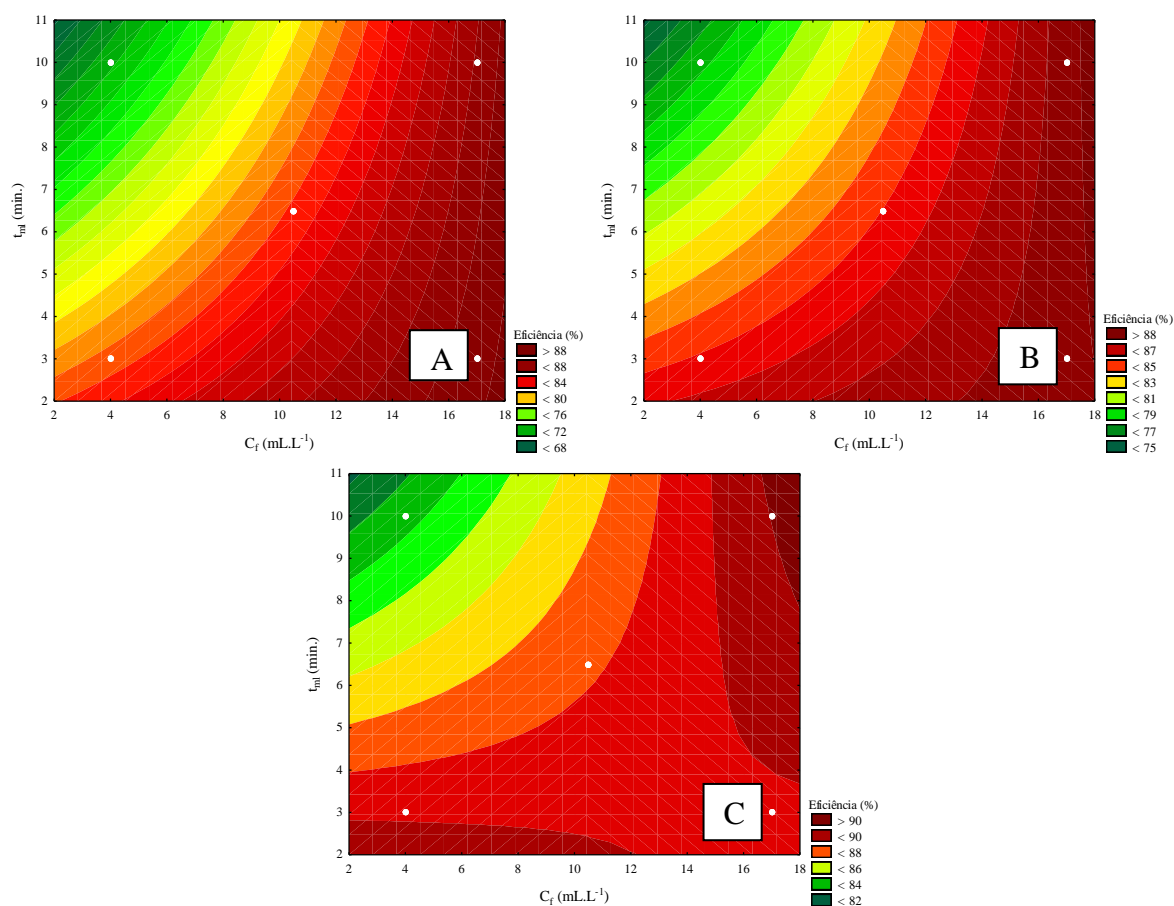


Figura 8. Curva de contorno para eficiência de remoção de óleos e graxas com tempo de flotação para 3 minutos (A), 6,5 minutos (B) e 10 minutos (C) para floculante comercial.

De acordo com Mariano (2005), os tratamentos convencionais da água produzida utilizam produtos químicos desemulsificantes ou processos que usam calor, eletricidade ou meios mecânicos, que quando as empregadas podem ter um custo elevado. Elas não são viáveis no tratamento da água em plataformas, devido a limitações de espaço físico e peso de alguns dos equipamentos utilizados, dificuldades de execução de obras e também o tempo de residência dessas águas (SANTOS et al., 2011).

Diante disso, estudos têm sido feitos buscando alternativas que minimizem custos e facilitem o processo, como é o caso de aplicação de coagulantes naturais no tratamento de água produzida. Portanto, nesse trabalho, observou-se que tais floculantes naturais podem tornarem-se competitivos com os floculantes comerciais.

Conclusão

O floculante comercial foi mais eficiente do que os floculantes naturais de concentrado de proteínas (F1) e extrato bruto (EB), quando se utilizou ambos nas mesmas condições de tratamento de remoção do teor de óleos e graxas com a técnica combinada floculação/flotação por ar dissolvido, sendo as eficiências de remoção de óleos e graxas de 85,0, 83,9 e 72,9%, respectivamente. Entretanto, o floculante concentrado de proteínas (F1) mostrou-se competitivo com o floculante comercial.

Com o uso do floculante extrato bruto das sementes de *Moringa oleífera*, obteve valores de TOG's máximos e mínimos finais da água produzida tratada com a técnica combinada de floculação/flotação por ar dissolvido de 47 mg.L^{-1} e 30 mg.L^{-1} , respectivamente. O modelo obtido para este tipo de floculante apresentou significância estatística, o qual pode ser aplicado para fins de predição.

Para o floculante concentrado de proteínas (F1), também derivado das sementes de *Moringa oleífera*, obteve valores de TOG's máximos e mínimos finais da água produzida tratada de 31 mg.L^{-1} e 17 mg.L^{-1} , respectivamente. O modelo obtido para esse tipo de floculante também foi significativo e preditivo estatisticamente.

O floculante comercial, por se tratar de um produto já utilizado na escala industrial, esperava-se a sua eficácia na remoção de óleos e graxas deste efluente industrial, em que obteve valores de TOG's

máximos e mínimos finais da água produzida tratada de 37 mg·L⁻¹ e 14mg·L⁻¹, respectivamente. O modelo determinado para esse tipo de floculante, também foi significativo e preditivo estatisticamente.

Com o planejamento experimental composto central, pode-se observar o aumento da eficiência de remoção de óleos e graxas quando utilizou os três floculantes: extrato bruto, concentrado de proteínas e o comercial, pois, a remoção de óleos e graxas não está somente relacionada com a concentração de floculantes, mas, sim com outras variáveis de tempos de mistura lenta e de flotação, conforme observado neste estudo.

Conclui-se que esta pesquisa foi relevante, uma vez que, a metodologia experimental foi consistente e confiável estatisticamente, o que contribui para avaliar a eficácia dos floculantes naturais derivados das sementes da *Moringa oleífera*, comparando com o floculante comercial, utilizando-se a técnica de floculação/flotação por ar dissolvido.

Referências Bibliográficas

- AHMAD, A. L.; MAT YASIN, N. H.; DEREK, C. J. C.; LIM, J. K. Optimization of microalgae coagulation process using chitosan. Chemical Engineering Journal, v.173, p.879-882, 2011.
- BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 414p.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 393 de 08 de agosto de 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de agosto de 2007. 2007. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=541>. Acesso em: 31 janeiro 2019.
- BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 de maio de 2011. 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 31 janeiro 2019.
- EKINS, P.; VANNER, R.; FIREBRACE, J. Zero emissions of oil in water from offshore oil and gas installations: economic and environmental implications. Journal of Cleaner Production, v.15, p.1302-1315, 2007.
- FAKHURU'L-RAZIA, A.; PENDASHTAH, A.; ABDULLAH, L. C.; BIAK, D. R. A.; MADAENI, S. S.; ABIDIN, Z. Z. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. Journal of Hazardous Materials, v.170, p.530-551, 2009.
- FRANCO, C. S.; BATISTA, M. D. A.; OLIVEIRA, L. F. C. de; KOHN, G. P.; FIA, R. Coagulação com semente de *Moringa oleífera* preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.22, n.4, p.781-788, 2017.
- GARRIDO, J. W. A. Utilização da técnica combinada floculação/flotação por ar dissolvido para remoção de óleos e graxas da água produzida com a mistura de floculantes natural e comerciais. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2015.
- GASSEN, H. G.; GASSENSCHMIDT, U.; JANY, K. D.; TAUSCHER, B.; WOLF, S. Modern methods in protein and nucleic acid analysis. Biological Chemistry Hoppe-Seyler, v.371, n.9, p.768-769, 1990.
- GHEBREMICHAEL, K. A.; GUNARATNA, K. R.; HENRIKSSON, H.; BRUMER H.; DALHAMMAR, G. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleífera* seed. Water Research, v.39, p.2338-2344, 2005.
- HAMID, S. H. A.; LANANAN, F.; DIN, W. N. S.; LAM, S. S.; KHATOON, H.; ENDUT, A.; JUSOH, A. Harvesting microalgae, *Chlorella* sp. by bio-flocculation of *Moringa oleífera* seed derivatives from aquaculture wastewater phytoremediation. International Biodeterioration & Biodegradation, v.95, p.270-275, 2014.
- HAMID, S. H. A.; LANANAN, F.; KHATOON, H.; JUSOH, A.; ENDUT, A. A study of coagulating protein of *Moringa oleífera* in microalgae bioflocculation. International Biodeterioration & Biodegradation, v.113, p.310-317, 2016.
- LACERDA, M. R. S.; MARQUES, S. F. S.; BRANDÃO, C. C. S. A influência do pH de coagulação e do tempo de floculação na flotação por ar dissolvido no tratamento de água com baixa turbidez e presença de algas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19, 1997, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 1997.

- MADRONA, G. S.; SEOLIN, V. J.; BERGAMASCO, R.; KLEN, M. R F. The potential of different saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. International Journal of Chemical Reactor Engineering, v.9, p.1-10, 2011.
- MAGALHÃES, E. R. B. Avaliação de floculante natural à base de *Moringa oleifera* no tratamento de água produzida na indústria do petróleo: aplicação da técnica combinada floculação/flotação. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2014.
- MARIANO, J. B. Impactos Ambientais do Refino de Petróleo. 01. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, v.1, 2005. 230p.
- MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAUJO, P. M.; BRANCO, L. da P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.18, n.1, p.15-26, 2013.
- NASCIMENTO, A. R.; ZIOLLI, R. L.; ARARUN JÚNIOR, J. T.; PIRES, C. S.; SILVA, T. B. Avaliação do desempenho analítico do método de determinação de TPH (Total Petroleum Hydrocarbon) por detecção no infravermelho. Eclética Química, v.33, n.1, p.35-42, 2008.
- OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seeds. Water Research, v.33, n.15, p.3373-3378, 1999.
- PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. Physics and Chemistry of the Earth, v.35, p.798-805, 2010.
- RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. Tratamento de água. Tecnologia atualizada. Edgard Blücher, São Paulo, 1991. 332p.
- SANTOS, T. M.; PEREIRA, D. F.; SANTANA, C. R.; SILVA, G. F. da. Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando *Moringa oleifera* Lam em comparação ao sulfato de alumínio. Exacta, v.9, n.3, p.317-321, 2011.
- SCOPES, R. K. Techniques for Protein Purification, in Techniques in the Life Sciences, BS 102 Supplement, Elsevier/North Holland, Amsterdam, 1987. p.1-46.
- SERQUIZ, R. P. Inibidor de serinoproteínase obtido de sementes de Juquiri (*Mimosa regnelli* Benth.) com atividade anti-inflamatória, anticoagulante e adjuvante da heparina. 92f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica). Programa de Pós-Graduação em Bioquímica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2017.
- SILVA, S. S.; CHIAVONE-FILHO, O.; BARROS NETO, E. L.; FOLETTO, E. L. Oil removal from produced water by conjugation of flotation and photo-Fenton processes. Journal of Environmental Management, v.147, p.257-263, 2015.
- SPINELLI, V. A.; SENS, M. L.; FÁVERE, V. T. de. Quitosana, polieletrólito natural para o tratamento de água potável. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa. Anais...João Pessoa, 2001.
- STEWART, M.; ARNOLD, K. Produced water treatment field manual. Part-1. Produced Water Treating Systems, p.1-134, 2011. 244p.
- TESSELE, F.; ROSA, J. J.; RUBIO, J. Os avanços da flotação no tratamento de águas, esgotos e efluentes – parte I: fundamentos e mecanismos. Saneamento Ambiental, n.102, p.30-36, 2004.
- WILKS INTERPRISE, INC. InfraCal® TOG/TPH Analyser Model HATR-T2 and CH: User's Guide. Rev. 4.6, 2013.
- YANG, R.; LI, H.; HUANG, M.; YANG, H.; LI, A. A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. Water Research, n.95, p.59-89, 2016.
- YOUNKER, J. M.; WALSH, M. E. Bench-scale investigation of an integrated adsorption-coagulation-dissolved air flotation process for produced water treatment. Journal of Environmental Chemical Engineering, n.2, p.692-697, 2014.

Engenharia Civil



REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA DE INTERESSE SOCIAL: A ETAPA DE REGISTRO DE IMÓVEIS NO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL/RN

José Henrique Maciel de Queiroz¹

Daniela de Freitas Lima²

Almir Mariano de Sousa Junior³

¹Engenheiro Civil, henrique.jhmq@hotmail.com

²Engenheira Civil, Mestre em Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido, danielafreitas12@hotmail.com

³Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido e do PLANDITES-UERN, Doutor em Ciência e Engenharia de Petróleo, almir.mariano@ufersa.edu.br

Introdução

A irregularidade fundiária afeta em maior escala a população menos escolarizada e mais vulnerável social e economicamente, e este fato acarreta prejuízos tanto aos ocupantes do território como a administração pública por não possuir informações precisas sobre estas áreas. Conforme aponta Fernandes (2011), a maioria que ocupa núcleos urbanos informais são, de fato, pobres e a maior parte dos indicadores socioeconômicos são precários – alfabetização, educação, saúde, mortalidade, renda e emprego.

A falta de alternativas habitacionais, seja via mercado privado, seja via políticas públicas sociais é, evidentemente, o motor que faz o pano de fundo dessa dinâmica de ocupação ilegal e predatória de terra urbana (MARICATO, 2003).

No ano de 2014 surge o Programa Acesso à Terra Urbanizada, uma iniciativa proveniente da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em parceria com o Ministério das Cidades, com o intuito de promover a regularização fundiária urbana de interesse social, atuando em diversas municipalidades do Nordeste, garantindo legalmente a propriedade aos indivíduos que até então ocupavam áreas predominantemente irregulares (LIMA et al., 2017).

A Lei 13.465/2017, cita em seu Cap. I, art. 9 que a Regularização Fundiária Urbana (REURB), engloba medidas jurídicas, urbanísticas, ambientais e sociais destinadas à incorporação dos núcleos urbanos informais ao ordenamento territorial urbano, e à titulação de seus ocupantes.

Conforme a Lei nº 13.465/2017, Cap. I, art. 13, a REURB compreende duas modalidades: REURB de Interesse Social (REURB-S), que é aplicável aos núcleos urbanos informais ocupados predominantemente por população de baixa renda, assim declarados em ato do Poder Executivo municipal; e REURB de Interesse Específico (REURB-E), aplicável aos núcleos urbanos informais ocupados por população não qualificada na hipótese de que trata disposto anteriormente.

Dentre as etapas necessárias para a efetivação da regularização fundiária, o registro de imóveis é a que se oficializa por meio de documentação apropriada do direito propriedade dos imóveis aos seus devidos proprietários, e por isto se constitui uma das etapas mais importantes de todo o processo de regularização fundiária. Deve ser feito junto ao cartório responsável e, além disso, é precedido de etapas preliminares investigativas quanto ao histórico de movimentação da propriedade dos lotes a serem contemplados.

Regularização Fundiária e Espaço Urbano

As cidades, de modo geral, são desafiadas pela irregularidade fundiária urbana, que pode ser tida como aspecto decorrente do processo constitutivo das cidades, especificamente notado por meio do crescimento acelerado e desordenado ocasionado pelo êxodo rural acentuado, no Brasil mais expressivamente a partir da década de 60, causando instabilidade para as famílias localizadas em áreas sem a devida legalização e aguçando as disparidades entre os de baixo e os de alto poderio. Para Hereda (2009), na obra Regularização Fundiária Urbana no Brasil – Ministério das Cidades, quando tema é propriedade da terra e regularização fundiária, o paradoxo legalidade e ilegalidade remonta à formação do Estado e do território brasileiro. Neste sentido, existe uma disparidade social e econômica que enfatiza as desigualdades entre ricos e pobres nas cidades brasileiras.

O intenso processo migratório campo-cidade, que configura uma reversão demográfica do Brasil

de 10% da população urbana no final do século XIX, para aproximadamente 80% no final do século XX, mostra que grande massa se instalou nas cidades de forma autônoma. Nessas condições podemos dizer que, a ocupação ilegal de terras brasileiras é parte intrínseca desse processo (MARICATO, 2003).

É importante destacar que a irregularidade, apesar de apresentar impactos e números mais expressivos para a população com padrões de renda mais baixos, também está presente em ambientes ocupados pelo grupo social de renda média alta. Mas, de acordo com Dias et al. (2014), o que diferencia as áreas irregulares com e sem valorização econômica são interesses de cada grupo. Enquanto os grupos sociais mais vulneráveis ocupam essas localidades por poder aquisitivo limitado, as áreas centrais estão neste quadro por interesses especulativos. Além disso, o acesso à regularização posterior à ocupação é facilitado aos ambientes com alto valor monetário em detrimento daqueles sem valorização, uma vez que há a influência política, cartorária e judiciária pelos seus proprietários.

Com recursos financeiros escassos, a população de baixa renda tem como opção ocupar áreas periféricas das cidades, muitas vezes desprovidas de condições de salubridade eficientes, o que configura o espaço ser dividido em locais organizados e locais subordinados. A falta de alternativas habitacionais, seja via mercado privado, seja via políticas públicas sociais é, evidentemente, o motor que faz o pano de fundo dessa dinâmica de ocupação ilegal e predatória de terra urbana (MARICATO, 2003).

A acessibilidade a áreas irregulares torna-se viável para aqueles que não podem adquirir áreas valorizadas pela infraestrutura existente e, dessa forma, o problema fundiário se agrava e se expande para outras vertentes: social, urbanística, econômica, jurídica. O Ministério das Cidades (2013) aponta que, a dimensão jurídica se refere à irregularidade dominial, na qual ocorre a inexistência de título que assegure a posse; a urbanística e a ambiental estão associadas aos assentamentos sem licenciamento, em desacordo com a legislação urbana e ambiental; e a social está voltada para o direito à cidade, especialmente nas ocupações de baixa renda.

Portanto, é visível que a irregularidade é fator presente nas cidades brasileiras, aspecto que agrava as disparidades socioespaciais e contribui para a continuidade de ambientes precários, sendo indispensável a busca coletiva da reestruturação dos espaços urbanos, tendo como agente colaborativo as práticas de regularização fundiária urbana, de modo especial, a de interesse social, que atingirá as camadas populares, garantindo o acesso legal à cidade, pois como aponta Fernandes (2011), a informalidade das habitações gera custos muito altos para os residentes e governos locais. Para os moradores, cita-se: a insegurança da posse, a falta de serviços públicos, a discriminação por terceiros, perigos ambientais e para a saúde, e desigualdade de direitos civis. Para os governos estão a realização de programas de melhoria, quando realizados, e custos indiretos decorrentes da informalidade, como problemas da saúde pública, violência e outros de cunho social.

Portanto, este trabalho tem foco na regularização fundiária de interesse social, com a finalidade de discorrer sobre a etapa de registro dos imóveis no município de São Miguel/RN, desenvolvida pelo Programa Acesso à Terra Urbanizada com a colaboração do Cartório de Registro de Imóveis local.

Material e Métodos

Para a realização deste trabalho realizou-se pesquisa qualitativa da etapa de registro de imóveis, necessária para a efetivação da regularização fundiária de interesse social no município de São Miguel/RN, no Rio Grande do Norte, abordando as atividades desenvolvidas para sua concretização por meio do Próprio Programa Acesso à Terra Urbanizada.

A área de estudo deste trabalho contempla o município de São Miguel, localizado no Estado do Rio Grande do Norte, na região Nordeste do Brasil. O município situa-se na região Alto Oeste do estado, na mesorregião do Oeste Potiguar, a uma distância de aproximadamente 430 Km de Natal, a capital do estado, com área de 166 km² e população de 22.157 habitantes, segundo o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2010.

Em São Miguel, dois bairros foram submetidos ao processo de regularização fundiária de interesse social: Tôta Barbosa e o Nossa Senhora de Guadalupe. Ambos foram regularizados utilizando o instrumento jurídico de legitimação fundiária, que confere título de propriedade aos beneficiários, conforme estabelecido na Lei 13.465, de 11 de julho de 2017. As imagens aéreas dos dois bairros são apresentadas nas Figuras 1 e 2.



Figura 1. Imagem aérea do Bairro Tôta Barbosa.
Fonte: Adaptado de Google Earth (2017).



Figura 2. Imagem aérea do Bairro Nossa Senhora de Guadalupe.
Fonte: Adaptado de Google Earth (2017).

Esses núcleos urbanos encontraram-se em zonas especiais de interesse social (ZEIS), segundo a Lei municipal nº 009/2016, ou seja, zonas em que a população é predominantemente de baixa renda, a ocupação é predominantemente residencial, a situação fundiária é desfavorável ao ocupante, dentre outros aspectos que justificaram a realização da regularização fundiária de interesse social.

Puderam ser registrados os imóveis inseridos nos núcleos urbanos Tôta Barbosa e Nossa Senhora de Guadalupe que atenderam aos critérios necessários para a efetivação da legitimação fundiária, dispostos no art. 23 § 1º da Lei 13.465/2017:

- Área foi ocupada até 22 de dezembro de 2016;
- O beneficiário não era proprietário, foreiro ou concessionário de nenhum outro imóvel além daquele que deseja regularizar;
- O beneficiário não foi contemplado com legitimação de posse ou fundiária de imóvel urbano com a mesma finalidade, ainda que situado em núcleo urbano distinto;
- Em caso de imóvel urbano com finalidade não residencial, tenha sido reconhecido pelo poder público o interesse público de sua ocupação.

Além dos outros:

- Os lotes contidos na área a ser regularizada deveriam estar previamente delimitados e georreferenciados;
- A gleba a ser regularizada não deveria estar compreendida em áreas que ofereçam risco aos seus ocupantes.

Para a elaboração deste trabalho, foram acompanhadas as atividades necessárias para o registro de imóveis dos núcleos urbanos Tôta Barbosa e o Nossa Senhora de Guadalupe: conferência do histórico de imóveis já matriculados, desmembramento de lotes, abertura de matrículas e emissão de certidões.

Resultados e Discussão

Devido a necessidade da certificação de que os lotes atendiam aos critérios legais para realização da legitimação fundiária, de início, foi realizada consulta nos registros de imóveis anteriores do cartório, da existência de alguma matrícula referente aos lotes a serem regularizados; e foram analisadas as alterações ou movimentações nelas ocorridas no decorrer dos anos.

Esse procedimento objetivou identificar as titularidades atualizadas dos lotes e propriedades pertencentes ao Estado e a União, o que é determinante para a apropriada aplicação da ferramenta de regularização adotada. É de grande importância também a consulta de legislações municipais, estaduais e federais, pelo mesmo motivo.

Constatada a aptidão dos beneficiários pré-selecionados, procedeu-se com a elaboração da documentação coletiva e individual necessária, sendo estas especificamente: o desmembramento dos lotes e a abertura das matrículas. Seguiu-se com a emissão das certidões de matrícula, que foram entregues aos beneficiários do Programa na etapa de titulação.

Os desmembramentos dos lotes foram realizados através de averbações nas suas matrículas existentes, e de forma simplificada, removeram-se partes da área presente nestas matrículas, para que pudessem ser emitidas novas matrículas com a correspondente parcela de terra. As novas matrículas contêm informações essenciais dos lotes (qualificação do imóvel, seu atual proprietário e o seu registro anterior).

Logo, cada lote urbano existente nos núcleos urbanos em regularização, foi desmembrado da área total trabalhada. Consequentemente, prosseguiu-se com a abertura da nova matrícula de cada um destes imóveis, sempre que possível em nome da mulher ali residente, conforme recomenda a legislação vigente. Em caso de inexistência de beneficiário, a matrícula foi aberta em nome do município, de modo a facilitar o processo de regularização para os ocupantes dos lotes quando estes solicitarem a transferência de propriedade para seus nomes, uma vez que este procedimento reduz custos de formulação de toda documentação e atividades técnicas necessárias.

Já a emissão das certidões de matrícula dos respectivos beneficiários ficou como última atribuição do cartório de registro de imóveis. Estas foram entregues às famílias, como comprovação de propriedade de seus imóveis, e podem ser utilizadas nas mais diversas situações legais possíveis.

Pela equipe do Programa Acesso à Terra Urbanizada foi preparada toda a estrutura, digitação e formatação dos documentos com a supervisão da tabeliã responsável, que após esta atividade, os revisou e assinou, o que contribuiu para a celeridade do processo e para a aquisição de conhecimento pelos bolsistas deste Programa. Segundo a tabeliã, ainda são necessárias atividades rotineiras do cartório como registro das atividades em protocolo.

Após a realização destas atividades, as certidões de matrícula confeccionadas foram entregues às famílias pelo Programa Acesso à Terra Urbanizada juntamente com a Prefeitura Municipal, configurando a última etapa da regularização fundiária, denominada titulação.

Ao realizar o registro de imóveis no município de São Miguel/RN observamos algumas dificuldades particulares das quais abordamos aqui, como por exemplo, a baixa capacidade do cartório local em atender uma demanda de registros elevada da forma em que foi requerida, além da presença de uma rodovia estadual em uma das glebas a serem regularizadas.

O registro dos imóveis dos bairros Tôta Barbosa e Nossa Senhora de Guadalupe, foi concluído no mês de janeiro de 2018. A entrega dos títulos aos seus beneficiários foi realizada em uma cerimônia pública em abril de 2018.

No bairro Tôta Barbosa foram contempladas 41 famílias, sendo a área de interesse composta por 135 lotes. Já no bairro Nossa Senhora de Guadalupe, que possui 152 lotes inseridos no polígono trabalhado, foram contempladas 53 famílias, como observa-se na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de lotes e beneficiários por bairro

Núcleo Urbano	Nº de lotes	Nº de beneficiários
Tôta Barbosa	135	41
Nossa Senhora de Guadalupe	152	53

Fonte: Programa Acesso à Terra Urbanizada (2018).

Muitos dos lotes presentes no núcleo urbano Tôta Barbosa não foram beneficiados pelo Programa por se constituírem como terrenos vazios, imóveis alugados ou cedidos, justificando assim a quantidade de beneficiários, que representa aproximadamente 30% dos lotes do bairro.

Lima (2018) expõe que, há o elevado percentual de lotes vazios no Tôta Barbosa, o que gera a indagação de qual motivo é responsável por este cenário, a doação inadequada dessas áreas ou a ausência de condições financeiras dos donatários para a construção de uma moradia.

Observa-se que houve ainda, no Tôta Barbosa, casos em que os ocupantes se recusaram a participar do Programa, possuíam mais de um imóvel, não conseguiram apresentar documentação comprovante do tempo de ocupação do lote ou o imóvel se encontrou fechado em todas as tentativas de visitas dos bolsistas do programa, mas estas situações foram menos incidentes.

No Nossa Senhora de Guadalupe também havia lotes vazios, além de lotes alugados ou cedidos. Os 53 beneficiários desta área representam, portanto, aproximadamente 35% do total de lotes demarcados. Os demais casos que não tiveram sido terrenos vazios, imóveis alugados ou cedidos, foram famílias que se recusaram a participar do Programa ou não atenderam a outros requisitos de participação.

Para o núcleo urbano Nossa Senhora de Guadalupe, o registro dos imóveis foi feito com atenção especial, devido a existência da rodovia estadual RN 177 cruzando a área de interesse, sendo necessário fazer uma análise a respeito dos limites de faixa de domínio da rodovia e a legalidade das construções no entorno, tendo em vista o que dispõe a Lei 6.024/1991 sobre a licença prévia para edificações de imóveis ou cercas às margens de rodovias estaduais, e dá outras providências. Esta lei rege que, no Rio Grande do Norte a faixa de domínio compreende a área de terra limitada pela distância mínima de 20 metros para cada lado da rodovia a partir do eixo da pista de rolamento. Descreve ainda que, as edificações devem estar recuadas a 15 metros dos limites externos da faixa de domínio, ou seja, para cumprirem com o disposto na lei, as construções localizadas às margens de rodovias do Estado do Rio Grande do Norte (RN's) devem distar 35 metros do eixo da faixa de rolamento. Esse recuo pode ter dimensão reduzida no perímetro urbano, desde que prevista em instrumento municipal e que se resguarde a segurança do trânsito e do tráfego. Edificações anteriores à lei não são penalizadas por estarem instaladas em recuo inferior ao previsto em lei.

Dessa forma, ainda que os proprietários atendessem aos demais requisitos legais para a regularização fundiária, foi verificada a distância ao eixo da RN 177 e o ano de construção das edificações e assim foi constatado se os imóveis haviam ou não sido construídos antes de entrar em vigor a lei que impede a construção de imóveis na faixa de domínio da rodovia.

Após esta verificação, ocorreu a abertura das matrículas dos imóveis em nome de seus respectivos proprietários. Neste bairro, durante as buscas realizadas, anteriores a elaboração da documentação, não foram encontrados registros de lotes do bairro, ainda que alguns moradores também possuísem cartas de aforamento de suas propriedades com validade expirada.

Ao todo, foram abertas 290 matrículas de imóveis no cartório ao fim dos registros, sendo 287 delas referentes aos lotes como um todo e mais uma “matrícula mãe” para a gleba do bairro Tôta Barbosa e duas destas para o bairro Nossa Senhora de Guadalupe, pois ele ficou dividido em dois setores (setor 1 e setor 2), permanecendo na matrícula previamente existente a área correspondente à RN-177.

Observada a dificuldade de infraestrutura necessária para a emissão de registro pelo cartório de registro de imóveis em prazo pré-determinado e dada a grande importância da realização desta etapa, o Programa disponibilizou, sempre que necessário, bolsistas para auxiliar a tabeliã na digitação das matrículas e certidões.

Os dados pessoais utilizados nos registros foram todos repassados pelos beneficiários do Programa Acesso à Terra Urbanizada em etapa anterior da regularização fundiária, o cadastramento social das famílias. Desta maneira, compreende-se que os resultados do Programa somente puderam ser alcançados com a colaboração da população, que participou das atividades de informação, capacitação e disponibilização de informações de maneira efetiva, dentre as quais podemos citar o atendimento para

realização de entrevistas e entrega de documentos necessários durante o cadastramento socioeconômico, indispensável para a etapa de registro no cartório.

A concretização das ações do Programa Acesso à Terra Urbanizada no município de São Miguel/RN foi um marco para a administração local, e principalmente para a população envolvida, pois estes tiveram os direitos de uso e ocupação do espaço urbano assegurados perante a lei, além de terem a possibilidade de melhoramentos advindos da regularização, que já estão sendo levantados, como é o caso do Cartão Reforma a que o município está pleiteando, destinado a áreas de interesse social que possuem título de propriedade.

Lima (2018) expressa que, embora a titulação dos núcleos urbanos Tôta Barbosa e Nossa Senhora de Guadalupe tenha ocorrido em abril de 2018, em julho deste mesmo ano foram estabelecidos a integração dos núcleos à cidade formal, a extinção da insegurança de desapropriações, a possibilidade execução de transferência legal de imóvel e o acesso a melhoria infra estrutural destinada aos espaços citadinos regulares.

Portanto, a etapa de registro se configura como crucial para a instauração da Regularização Fundiária de Interesse Social, tendo em vista que é ele quem oficializa a garantia de propriedade, pois como rege o art. 1227 do Código Civil, os direitos reais sobre imóveis constituídos, ou transmitidos por atos entre vivos, só se adquirem com o registro no cartório de registro de imóveis dos referidos títulos, isto é, “só é dono quem registra”.

Com esta ação desenvolvida no município de São Miguel/RN, ao todo foram beneficiadas 94 famílias, agora inseridas em um contexto social muito mais justo, já que a partir do registro no cartório, é assegurado o direito judicial sobre o território.

Ressalta-se também do benefício aos bolsistas do Programa, que aprenderam ao mesmo tempo em que promoveram o direito à cidade para as pessoas. Na etapa de registro de imóveis, por exemplo, foi possível para eles entender as considerações legais sobre o território e as bases judiciais para a regularização fundiária, além de articular com os órgãos municipais responsáveis e trabalhar em equipe a fim de um objetivo comum, para assim atingi-lo com maior rapidez.

Conclusão

O Programa Acesso à Terra Urbanizada proporcionou vários benefícios à população de baixa renda do município de São Miguel através de ações totalmente gratuitas.

A etapa de registro dos imóveis foi fundamental nesse conjunto de ações que culminaram na regularização fundiária dos bairros Tôta Barbosa e Nossa Senhora de Guadalupe, uma vez que oficializou juridicamente o direito de propriedade àqueles que atenderam a todos os requisitos estabelecidos nos instrumentos legais.

Destaca-se a parceria entre Universidade, Prefeitura Municipal e Cartório de Registro de Imóveis foi essencial para que todos os serviços fossem realizados adequadamente, com informações completas e no prazo possível.

O produto desta parceria foi importante para a integração das áreas objeto da regularização aos projetos de infraestrutura, saneamento ambiental, mobilidade, habitação e outros da prefeitura municipal de São Miguel, contribuindo assim para a qualidade de vida da população.

Referências

- BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110406.htm>. Acesso em: 01 out. 2017.
- BRASIL. Lei 13.465, de 11 de julho de 2017. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/Lei/L13465.htm>. Acesso em: 10 out. 2018.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Regularização Fundiária Urbana no Brasil. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/biblioteca/detalhar/id/172/titulo/regularizacao--fundiaria-urbana--no-brasil->>. Acesso em: 28 set. 2018.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos e Secretaria Nacional de Habitação. Regularização Fundiária Urbana: Como aplicar a Lei Federal 11.977/2009. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.sjc.sp.gov.br/media/621520/regularizacao_fundiaria_cartilha_da_lei_federal.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

- DIAS, A. L. de N.; CARVALHO, A. W. B.; FARIA, T. C. de A.; SANTOS, J. M. Análise comparativa dos processos de produção da irregularidade urbana nas áreas centrais e periféricas: o caso de Viçosa, MG. *Oikos: Revista Brasileira de Economia Doméstica*, v.25, n.1, p.114-136, 2014.
- FERNANDES, E. Regularização de Assentamentos Informais na América Latina. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy, 2011. Disponível em: <https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/regularizacao-assentamentos-informais-full_1.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. São Miguel. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/sao-miguel/panorama>>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- LIMA, D. de F.; SOUSA JUNIOR, A. M.; SILVA, M. M. N.; GOMES, W. V. Ordenamento territorial em foco: Discutindo o programa acesso à terra urbanizada. *Revista Estudo & Debate*, v.24, n.2, p.249-267, 2017.
- LIMA, D. de F. Dinâmica urbana e regularização fundiária: um estudo acerca da cidade de São Miguel/RN. 166f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Pau dos Ferros, 2018.
- MARICATO, E. Metrópole, legislação e desigualdade. *Estudos Avançados*, v.17, n.48, p.151-166, 2003.
- MARICATO, E. Conhecer para resolver a cidade ilegal. In: CASTRIOTA, L. B. (org.) *Urbanização Brasileira: Redescobertas*. Belo Horizonte: Editora Arte, 2003. p.78-96.
- RIO GRANDE DO NORTE. Lei 6.204, de 06 de dezembro de 1991. Dispõe sobre a licença prévia para edificações de imóveis ou cercas às margens de rodovias estaduais, e dá outras providências.
- SÃO MIGUEL. Lei nº 009, de 28 de abril de 2016. Dispõe sobre a regularização fundiária urbana de interesse social no município São Miguel/RN e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.saomiguel.rn.gov.br/legislacao/leis-municipais>>. Acesso em: 18 mar. 2018.



VIABILIDADE TÉCNICA DA APLICAÇÃO DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO DE PETRÓLEO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE

Rafaely Angélica Fonseca Bandeira¹

Antônio Souza Araújo²

Almir Mariano Sousa Junior³

Francisco Odair Filgueira Junior⁴

¹Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Petróleo e Gás, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, rafaely@ufersa.edu.br

²Prof. Dr. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química, araujo.ufrn@gmail.com

³Prof. Dr. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, almir.mariano@ufersa.edu.br

⁴Graduando na Universidade Potiguar, odaiautomacao@gmail.com

Introdução

Remonta de muitos anos a problemática ambiental, que surge com a geração de resíduos sólidos, do tipo classe I (Resíduos perigosos); estes não podem ser dispensados e depositados arbitrariamente no meio ambiente, pois pode ocasionar prejuízos severos a fauna, flora, solos e lençóis freáticos. A indústria petrolífera causa impacto ambiental em todas as suas etapas, que vai desde a prospecção, até a etapa de separação de hidrocarbonetos nas unidades separadoras. O cascalho de perfuração de petróleo aparece na etapa de perfuração de poços, onde os contaminantes presentes dependem da formação rochosa e do fluido de perfuração utilizado para este fim (THOMAS, 2001).

Após a separação na superfície do fluido de perfuração do cascalho, o fluido será retornado para o processo industrial e os cascalhos serão acondicionados até a destinação final. Segundo Moraes (2018), o cascalho representa os fragmentos de rocha deslocados pela broca e carregados para a superfície pelo fluido de perfuração. São também denominados de amostra de calha. Essas amostras de calha quando estão lavadas e secas, são analisadas pelos geólogos para a obtenção de informações sobre as formações perfuradas. O termo cascalho é utilizado na indústria do petróleo para qualquer sedimento retirado do poço, seja de granulometria fina ou grossa. Estima-se que cerca de 10 a 15% do volume do fluido de perfuração permanece aderido aos cascalhos após o processo de separação. Segundo Fialho (2012), a composição química dos cascalhos é muito variada e depende da composição das formações rochosas perfuradas principalmente, e da composição química do fluido de perfuração, onde entre outros estarão SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, BaO e CaO.

Embasado na caracterização do disposto na norma NBR 10.004 (2004), resíduos sólidos são resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem urbana, agrícola, radioativa e outros (perigosos e/ou tóxicos). Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível; podem ser classificados quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente em três categorias. Esta nova versão classifica os resíduos em três classes distintas: classe I (perigosos), classe II (não-inertes) e classe III (inertes).

Para Bandeira et al. (2017), o possível dano ambiental decorrente da atividade petrolífera é de inteira responsabilidade da empresa geradora, conforme se pode verificar na legislação vigente, onde preconiza que a responsabilidade civil e penal pelo impacto ambiental ocasionado, e pela segurança e saúde dos trabalhadores é da empresa. Na mediada que, os produtos químicos são manuseados de forma adequada, respeitando as leis e normas vigentes no país, o impacto ambiental diminuirá consideravelmente.

O Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), é largamente utilizado em confecção de rodovias, este tem por definição, produtos pré-misturados a quente de graduação densa, em que são feitas rigorosas exigências no que se diz respeito a equipamentos de construção e índices tecnológicos tais como granulometria, teor de betume, estabilidade, vazios e etc. Estes podem ser usados como base de pavimentos e revestimentos, onde para revestimentos tem que atender a faixa granulométrica adequada (DNIT, 2006).

Segundo a NBR 12948 (NBR, 1993), o material para preparo do CBUQ é constituído de agregado graúdo, agregado miúdo e material de enchimento, onde o agregado graúdo deve ser constituído de fragmentos de rocha britada, escória britada, pedregulho ou cascalho, britados ou não, como também de fragmentos duráveis, livres de torrões de argila e substâncias nocivas; já o agregado miúdo é constituído de areia, pó-de-pedra, ou mistura de ambos. Os agregados devem ser resistentes, livres de torrões de argila e de substâncias nocivas. E o material de enchimento deve ser constituído de materiais minerais finamente divididos, tais como cimento Portland, cal extinta, pós calcáreos, etc. O material deve estar seco e isento de grumos. No agregado miúdo deve haver um equivalente de areia superior a 55%.

Em estudos sobre as principais aplicações de subprodutos residuais de indústrias diversas na fabricação do asfalto de mistura a quente, entre os resíduos aplicados experimentalmente ou rotineiramente elencaram-se os resíduos industriais oriundos da celulose, ligninas de madeira, cinzas; os resíduos municipais e domésticos, tais como o resíduo do incinerador, lama de esgoto, borracha de sucata, resíduos de vidros, telhas e ainda os resíduos de mineração tais como o refugo da mina de carvão. Subprodutos de processos industriais, como alto-forno, escórias, escórias de aço e enxofre são considerados materiais residuais (KANDHAL, 1993).

Assim, o presente trabalho objetiva analisar a viabilidade técnica da aplicabilidade do cascalho de perfuração, ou cinza do cascalho de perfuração, na mistura química do CBUQ em substituição parcial ao agregado miúdo, areia, utilizada na fabricação.

Material e Métodos

O cascalho da perfuração de poços de petróleo e a cinza de cascalho utilizado neste trabalho, foi extraído da bacia Potiguar, localizada no Estado do Rio Grande do Norte na região Nordeste do Brasil. O material foi fornecido por uma Empresa Estatal que trabalhou com perfuração de poços de petróleo.

Foi realizada análise física do cascalho e os ensaios de resistência à compressão e à tração diametral foram realizados nos laboratórios da Universidade Potiguar, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, e nos laboratórios de uma empresa privada.

Caracterização do solo

Junto ao material foi disponibilizada a caracterização do resíduo, que foi realizada conforme norma da U.S. EPA 6010, U.S. EPA 7470A, U.S. EPA 7471B e segundo a norma da U.S. EPA 8015C, onde os valores identificados subsidiou a classificação do resíduo e foi enquadrado segundo a NBR 10.004 (2004).

Foi realizada a caracterização dos materiais a serem utilizados no traço do CBUQ, agregado miúdo, agregado graúdo, material de enchimento, material de adesividade. Após foi adotada a dosagem do traço a ser empregado, e realizada a determinação de parâmetros conforme faixa de rolamento C, considerando a necessidade do atendimento de parâmetros técnicos previstos em normas específicas e por último foram realizados ensaios laboratoriais, verificando as características funcionais e mecânicas das misturas.

Foram analisados e caracterizados a cinza e o cascalho de perfuração de poços de petróleo, definindo a viabilidade técnica onde se utilizou o cascalho em todas as etapas, oriundo do rejeito petrolífero em fase bruta, sem ter sofrido processamento de descontaminação.

No traço proposto do CBUQ, foram utilizados a Brita granítica de 19mm como agregado graúdo; Cascalho de brita calcária como material de enchimento; Cimento asfáltico de petróleo 50; areia média quartzosa como agregado miúdo misturada a cascalho de perfuração e a cinza de cascalho de perfuração. Conforme a norma da ABNT a respeito do CBUQ, NBR 12948 (1993), foram realizadas as análises laboratoriais nos materiais utilizados para confecção do CBUQ; Agregado graúdo denominado ensaio de abrasão Los Angeles realizado de acordo com a NBR NM 51 (2001); O Índice de forma foi realizado conforme a NBR 7809 (2006); Durabilidade de acordo com ASTM C-88 (2013); Adesividade conforme a NBR 12583 (2017); Agregado miúdo equivalente de areia de acordo com a NBR 12052 (1992); Adesividade conforme a NBR 12584 (2017); Material de enchimento pela análise granulométrica de acordo com a NBR 7181 (2016); Material betuminoso denominado Cimento asfáltico de petróleo conforme o Regulamento Técnico ASTM D-3381(2013); Mistura betuminosa realizado pela granulometria de acordo com a NBR 7181 (2016); Dosagem Marshall conforme a metodologia do DNER-ME 043 (1995).

Ao aferir a qualidade dos materiais utilizados na mistura, fez-se necessário a realização dos ensaios nas quantidades mínimas estabelecidas pelas normas, de cada componente. As quantidades, em

massa, de amostras coletadas para a realização de ensaios respeitaram os pesos do material betuminoso em 10 kg; agregados graúdos em 100 kg; agregados miúdos em 80 kg; material de enchimento em 50 kg.

O traço adotado para formulação do estudo do CBUQ foi cedido pela empresa privada parceira, usualmente utilizado na formulação do concreto betuminoso utilizado na faixa C, faixa de rolamento superficial, onde os valores de cada material estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo quantitativo para ensaios de laboratório

Origem dos agregados	Material	% agregados na mistura	% em peso
RN brita	Brita 3/4	20,00	19,00
RN brita	Cascalho 1/2	23,00	21,85
Bacia Potiguar	Cascalho de perfuração de poços	3,40	3,23
Rio Jaguaribe	Areia de rio	30,60	29,077
RN brita	Pó de pedra	22,00	20,90
Mineração Ouro Branco	Filler	1,00	0,95
Petrobrás CE	Cap 50 - 70		Definido em estudo
		100,00	100,00

Análise Granulométrica

A quantidade de cascalho de perfuração de poços utilizado no traço com concentração ótima, substituindo a areia de rio na mistura foi de 34% de concentração. Os ensaios iniciais realizados foram análises granulométricas, definindo a quantidade de cascalho implementado no traço.

Cálculo do módulo de finura

Para a análise e caracterização do cascalho foram calculados os módulos de finura da areia, cinza e cascalho de perfuração de petróleo; com o objetivo de desenvolver a curva de graduação do solo e realizar o enquadramento do agregado quanto a sua granulometria, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação do agregado miúdo quanto a granulometria

Módulo de Finura	
Areia grossa	MF>3,9
Areia média	2,4<MF<3,9
Areia fina	MF<2,4

Fonte: Fusco (2008).

Análise Qualitativa do solo

Atendendo o preconizado no manual DNIT (2010), foi realizado o teste visual do agregado miúdo, onde observou-se o tamanho, forma, cor e constituição mineralógica do solo, visando distinguir o solo grosso do fino. Realizou-se o teste do tato, que consistiu em apertar e friccionar, entre os dedos a amostra do solo.

Os agregados miúdos passaram pelo teste do corte com uma lâmina fina e observou-se a superfície do corte, onde se verificou a superfície de corte polida.

O teste de dilatância foi realizado, utilizando a palma da mão e uma pasta de solo úmida. A dilatância foi identificada pelo aparecimento da água na superfície da pasta e posterior desaparecimento, ao se amassar a amostra entre os dedos.

Após, testou-se a resistência seca, desagregando o solo, pressionando com os dedos uma amostra seca do solo.

Ensaio do Equivalente de Areia

Realizou-se o ensaio de equivalente de areia na mistura do traço, na proporção de 10% de cascalho de perfuração e 90% de areia, referente ao total de 34% da mistura, mais 1% de filler, 20% de brita de 19mm, 23% de brita de 12,5mm e 22% de pó de pedra.

Ensaio de abrasão Los Angeles conforme NBR NM 51 (2000)

O desgaste por abrasão do agregado graúdo, realizou-se no ensaio de abrasão Los Angeles, onde verificou-se a perda de massa do agregado graúdo e verificou-se a aceitabilidade deste, a partir deste índice. O ensaio foi realizado na brita de 19mm e na brita de 12 mm.

Ensaio de Adesividade do agregado miúdo

O Ensaio de adesividade do agregado miúdo, foi realizado conforme a norma do DNER ME 079 (1994), realizado na mistura da areia com cascalho de perfuração de poços de petróleo.

Ensaio de avaliação de durabilidade do agregado

O Ensaio de avaliação de durabilidade do agregado pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio, foi realizado obedecendo a norma do DNER ME 089 (1994).

Ensaio de Marshall realizado conforme DNER-ME 043 (1995)

Realizou-se o teste Marshal na mistura asfáltica de CBUQ, substituindo o agregado miúdo areia por 10% de cascalho de perfuração, considerando diferentes concentrações de material betuminoso CAP 50/70, onde foram realizados testes considerando as seguintes concentrações de cimento asfáltico de 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0% de CAP por peso de mistura.

O Ensaio de Marshall foi realizado conforme DNER-ME 043 (1995), na preparação do corpo-de-prova, atingindo as temperaturas de mistura e de compactação. O ligante foi aquecido para ser misturado com os agregados. Preparou-se três corpos-de-prova de cada dosagem de mistura betuminosa. Os agregados foram secos até obterem uma massa constante em estufa de 105 a 110°C; após modelaram-se e prensaram-se os corpos de prova para obtenção da fluência e da estabilidade Marshall.

Resistência a tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral, foi realizado atendendo a norma DNIT- ME 136 (2010). Foram aferidas as resistências, apenas nos corpos-de-prova com teor de 5,0% do teor de CAP.

Foram realizados ensaios no agregado miúdo, no agregado graúdo, no filler, no ligante, na composição da mistura conforme parâmetros estabelecidos na legislação e nas normas técnicas vigentes.

Resultados e Discussão*Caracterização do solo*

Entre os componentes existentes na composição do cascalho de perfuração que podem afetar no desempenho do concreto asfáltico, são identificados o boro, cádmio, cálcio, chumbo, zinco, cobre, magnésio, ferro, níquel, potássio, zircônio, sódio, manganês, fósforo, lítio, cromo, bário, alumínio, salinidade.

Nas cinzas da perfuração de poços de petróleo, material derivado do cascalho de perfuração, identifica-se na composição zircônio, alumínio, bário, boro, cádmio, cálcio, chumbo, cobre, cromo, ferro, fósforo, lítio, magnésio manganês, zinco, potássio, sódio e salinidade.

Na mistura do cascalho de perfuração com a areia nas concentrações de 10 e 90% respectivamente, observa-se a presença de níquel, cromo, cobre, zircônio, zinco, cádmio, boro, sódio, potássio, fósforo, lítio, magnésio, manganês, mercúrio, ferro, chumbo, cálcio, bário, Salinidade em concentrações mais baixas que na amostra de cascalho puro.

Este resíduo, cascalho de perfuração de poços, é classificado como resíduo classe I, por dispor em sua composição de alguns contaminantes que inviabilizavam a aplicação direta ao meio ambiente, parametrizando os valores encontrados com os valores aceitáveis preconizados em legislação do órgão ambiental brasileiro.

Análise Granulométrica

A Figura 1 apresenta a análise granulométrica do cascalho de perfuração de poços sem misturas, em areia a 100% sem misturas, na cinza do cascalho de perfuração de poços sem mistura, e em misturas entre o cascalho e a areia e das cinzas do cascalho com cascalho e areia.

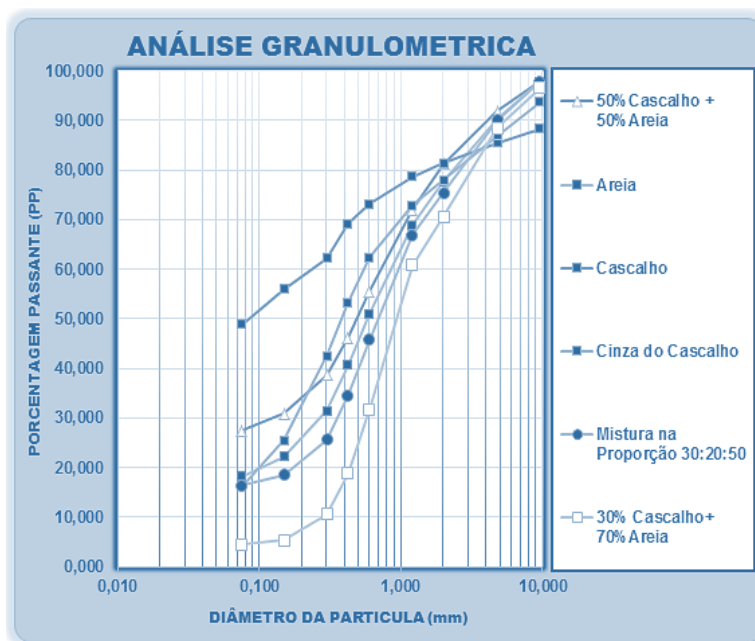


Figura 1. Análise granulométrica do agregado miúdo.

Os percentuais de 50% de cascalho e 50% de areia atendem o preconizado na norma NBR 12948 (1993), nas peneiras de 19, 12,5 e 9,5mm, não atendendo nas peneiras 4,8, 2,0mm, 0,42, 0,15 e 0,075mm demonstrando inapropriação técnica do uso deste material para fabricação do CBUQ na faixa de rolamento C. O cascalho de perfuração analisado em concentração de 100% não demonstra propriedades técnicas para aplicação direta na fabricação de CBUQ, pois não obtém percentual passante apropriado nas peneiras de 2,0, 0,42, 0,15 e 0,075mm.

A cinza do cascalho de perfuração na concentração de 100%, não proporciona viabilidade de uso de forma direta na fabricação de CBUQ, pois não apresenta granulometria adequada nas peneiras de 2,0, 0,42 e 0,075mm. A mistura de 30% de cascalho, 20% de cinza e 50% de areia apresenta não conformidade na granulometria ensaiada nas peneiras de 4,8 e 0,075mm. A mistura de 30% de cascalho e 70% de areia não atende os parâmetros estabelecidos para a peneira de 4,8mm.

Partindo deste princípio, se realizou novos ensaios com mistura de 10% de cascalho e 90% de areia, inferior ao analisado anteriormente.

Lucena et al. (2007), em estudos sobre a composição do cascalho de perfuração de petróleo, realizaram a caracterização térmica deste resíduo de perfuração. Para a análise realizaram a caracterização térmica do resíduo oleoso originário da perfuração de poço de petróleo (poço: 1-POTI-4-RN, localizado em Governador DIX-Sept Rosado - RN - Brasil). Foram realizadas: análise termogravimétrica (TG), análise térmica diferencial (ATD), e difração de raios-X (DRX). Os principais elementos encontrados - calcita, caulinita e quartzo, caulinita, magnesita e mica verificando viabilidade de inserir este material na mistura asfáltica. Os autores sugeriram a substituição dos materiais tradicionais - agregado miúdo (areia), e/ou filler (cal, caulim ou cimento). A incorporação do resíduo não representaria prejuízo ao desempenho da mistura asfáltica quanto aos parâmetros de resistência e durabilidade. O autor dispõe que o norteammento sobre a função (agregado ou filler), e a quantidade indicada para o resíduo seriam os ensaios de misturas asfálticas (Ensaio Marshall, Viscosidade e Penetração) e granulometria (Análise Granulométrica).

Cálculo do módulo de finura

No cálculo do módulo de finura verifica-se que o cascalho de perfuração obtém 1,25 e a cinza do cascalho 2,03. Para a proporção 70% de areia e 30% de cascalho o MF foi de 2,69. O módulo de finura para a mistura de 10% de cascalho e 90% de areia do rio Jaguaribe- CE resulta 2,36, enquadrando-se como material adequado para construção civil. A análise referente ao Módulo de finura aponta a possibilidade da utilização do cascalho na construção civil, conforme constando como aceitável no manual do DNIT (2006).

Análise Qualitativa do solo

No teste do tato, constata-se que o cascalho de perfuração se caracteriza como solos macios e por isso enquadra-se como solos argilosos. No teste do corte, observa-se que a superfície de corte está polida, enquadrando o solo em comportamento argiloso.

No teste de dilatância constata-se que o solo não reage ao teste, por ter característica argilosa. No teste de resistência seca, uma amostra seca do solo demonstra resistência elevada e caráter argiloso. Após os peneiramentos, analisando as porcentagens de material retido em determinadas peneiras, obtém-se que a porcentagem de pedregulho é de 19,516%, porcentagem de areia grossa de 8,084%, porcentagem de areia média de 16,76%, porcentagem de areia fina de 6,93% e a porcentagem de Silte e Argila de 47,71%.

Considerando-se os teores de óxidos de ferro, considera-se este solo com baixo teor de óxidos de ferro: teores < 80g/kg de solo (hipoférrico). Este solo no quesito grupamento textural se enquadra como solo de textura argilosa caracterizando-se como material com teor de argila entre 35 e 60%. A distribuição de cascalhos, nódulos e concreções no perfil refere-se à constituição macroclástica do material componente do solo. É característica distintiva, em função da proporção de cascalhos (2mm a 2cm) em relação à terra fina (fração menor que 2mm).

Conforme EMBRAPA (2006), este solo no quesito grupamento textural se enquadra como solo de textura argilosa que se caracteriza como material com teor de argila entre 35 e 60%.

Ensaio do Equivalente de Areia

No ensaio de equivalente de areia, conforme DNER ME 054 (1997), realizado na mistura obteve-se o resultado apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Equivalente em areia na mistura do traço do CBUQ

Amostra	Equivalente em areia da amostra	Equivalente em areia do solo
1	68,84%	69,37%
2	69,89%	

O ensaio de equivalente de areia realizado na mistura atende satisfatoriamente os parâmetros estabelecidos, pela legislação e normas vigentes.

Ensaio de abrasão Los Angeles conforme NBR NM 51 (2000)

Verifica-se aceitabilidade no ensaio realizado na brita de 19mm para fabricação do traço, pois a perda superficial por abrasão foi inferior a 50%, limite de perda estabelecido pela norma do DNER para este ensaio.

Observa-se que há uma perda de massa de 37,50%, na brita de 12mm, tornando aceitável diante a legislação do DNER deste material no uso da fabricação do concreto asfáltico.

Ensaio de Adesividade do agregado miúdo

Observa-se que a adesividade do agregado miúdo é satisfatória nesta mistura de areia com cascalho de perfuração de poços, por não haver deslocamento total ou parcial da película.

Ensaio de avaliação de durabilidade do agregado

No ensaio de avaliação de durabilidade do agregado afere-se que o percentual de perda verificado no agregado é de 0,37%, sendo inferior ao parâmetro da norma, que estabelece 12% como limite.

Ensaio de Marshall realizado conforme DNER-ME 043 (1995)

O aquecimento do ligante garantiu uma viscosidade de 170 +/-20 cSt ou 85 +/-10 sSF para o cimento asfáltico. Na mistura, a temperatura de compactação do ligante apresentou uma viscosidade de 280 +/-30 cSt ou 140 +/-15 sSF para o cimento asfáltico.

Os valores obtidos no ensaio, os principais valores do percentual de ligante na mistura, a densidade aparente, o percentual de vazios, o percentual de vazios do agregado mineral, a relação betume vazios e a fluência estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3. Teste Marshall

CP Nº	Ligante (%)	Vol. (cm ³)	Dens. Aparente	Vazios 3 a 5 (%)	Vazios (%)	≥ 15	V.A.M. (%)	R.B.V. 75 e 82	R.B.V.	Estab ≥ 500	Estab. (N)	Fluência 2,0 e 4,5	Fluência
1	4,00	513,0	2,316		5,98		14,98		60,10		834		2,45
2	4,00	513,0	2,318		5,89		14,90		60,47		846		2,40
3	4,00	512,2	2,319		5,83		14,85		60,73		816		2,43
	Média		2,318	N/S	5,90	N/S	14,91	N/S	60,43	Ok!	832	Ok!	2,43
4	4,50	508,4	2,332		4,64		14,83		68,74		915		3,00
5	4,50	507,7	2,331		3,30		13,49		75,55		914		3,01
6	4,50	508,5	2,333		4,59		14,79		68,96		876		2,95
	Média		2,332	Ok!	4,18	N/S	14,37	N/S	71,08	Ok!	902	Ok!	2,99
7	5,00	505,1	2,338		3,69		15,05		75,47		964		3,67
8	5,00	506,0	2,338		3,71		15,07		75,39		993		3,44
9	5,00	508,0	2,339		3,68		15,05		75,52		954		3,50
	Média		2,338	Ok!	3,69	Ok!	15,06	Ok!	75,46	Ok!	970	Ok!	3,54
10	5,50	507,0	2,347		2,61		15,15		82,79		896		4,50
11	5,50	507,1	2,349		2,54		15,09		83,19		907		4,46
12	5,50	508,3	2,348		2,59		15,14		82,90		915		4,30
	Média		2,348	N/S	2,58	Ok!	15,13	N/S	82,96	Ok!	906	Ok!	4,42
13	6,00	508,3	2,341		2,45		16,10		84,77		841		5,09
14	6,00	508,1	2,340		2,50		16,14		84,53		818		4,99
15	6,00	510,1	2,335		2,71		16,32		83,42		827		4,93
	Média		2,339	N/S	2,55	Ok!	16,19	N/S	84,24	Ok!	829	N/S	5,00

N/S- Não Satisfatório.

Conforme Askeland (1998), a estrutura de um material pode ser examinada em quatro níveis; estrutura atômica, arranjo dos átomos, microestrutura e macroestrutura, no entanto, este trabalho limita-se a macroestrutura. A estrutura atômica exerce influência direta na forma que os átomos se unem entre si. A partir desta compreensão, classifica-se os materiais podendo obter conclusões em relação às propriedades mecânicas e o comportamento físico dos materiais cerâmicos.

Verifica-se que o teor de vazios da mistura aumenta, devido os maiores valores do teor de CAP. Para o corpo de prova demonstrar desempenho satisfatório conforme os parâmetros técnicos, faz-se necessário o atendimento de todos os requisitos apresentados na legislação.

Observa-se que, o teor de vazios diminui com o aumento da concentração de CAP na mistura, onde apenas nos teores 4,5 e 5,0% atendem os parâmetros previstos na norma do DNER- ME 043 (1995), considerando que estes devem estar entre 3,0 e 5,0%.

Zhang et al. (2017), verificou a influência das características de micro morfologia e estrutura porosa do asfalto sulfonado nas propriedades mecânicas e na microestrutura da pasta de cimento de poços de petróleo, onde analisou o comportamento de propagação de trinca de espécimes fraturados de ensaios mecânicos e constatou que, o percentual de asfalto sulfonado influencia diretamente nas resistências a tração e que sofre influência do percentual de ligante e do tempo de cura, sendo o aumento da resistência evidente com o passar do tempo e a minoração da resistência com o aumento dos percentuais de ligantes adicionados.

Afere-se que, o parâmetro percentual de vazios do agregado mineral V.A.M. atende quando o percentual de ligante é adicionado a 5,0, 5,5 e 6,0%, pois apresenta valor maior que 15% nos ensaios e atende a norma do DNER- ME 043 (1995), sendo que, o teor ótimo de asfalto adicionado conforme DNER-ME 053/94, deve estar compreendido entre 4,70 e 5,30%. Na prática, quando este teor não é satisfeito, acrescenta-se o ligante do tipo DOP, para diminuir o índice de vazios, o que onera o valor do CBUQ. Este índice influencia diretamente nas resistências a tração diametral e a compressão (DNIT 031, 2004).

Zoorob e Suparma (2000), analisaram a concepção e investigação laboratorial das propriedades do betão asfáltico de classificação contínua contendo substituição de agregados plásticos reciclados (Plastiphalt). Resíduos de plásticos reciclados, predominantemente compostos de polietileno de baixa densidade (PEBD), foram usados em misturas betuminosas substituindo agregados minerais em tamanho igual. Os resultados obtidos nesta investigação indicam que, no mesmo conteúdo de ar vazio, a mistura de Plastiphalt compactada tem menor densidade do que a do mix de controle convencional. O uso do PEBD em substituição parcial de agregados resulta em um aumento de 250% no valor de estabilidade (força) de Marshall e Valor quociente de Marshall.

A Relação Betume Vazios (RBV), deve aparecer na mistura com teores entre 75 e 82 segundo a norma do DNER-ME 043 (1995); nos ensaios realizados, constata-se que apenas na concentração de 5,0% estes índices foram atendidos, conforme observa-se na Tabela 3. Conforme o resultado, observa-se que, torna o concreto asfáltico viável tecnicamente, pois o teor de CAP atende o limite estabelecido

pelo órgão regulador e este teor ainda representa economia para a fabricação do traço proposto, pois o componente de maior valor econômico do CBUQ é o cimento asfáltico de petróleo.

Na estabilidade Marshal corrigida (Tabela 3), verifica-se a resistência que a compressão do CBUQ, comporta-se satisfatoriamente em todos os ensaios realizados, diante de todos os percentuais estudados, atendendo a norma do DNER-ME 043 (1995), onde do ponto de vista de resistência a compressão diametral, qualquer índice adotado seria satisfatório, e do ponto de vista econômico, viabiliza o traço proposto.

Observa-se que, com o aumento da implementação do teor de concreto asfáltico, a fluência aumenta; sendo que na concentração do teor de CAP 6,0% esta não atende os parâmetros normatizados, pois a fluência deve estar entre 2,0 e 4,5 para atender a norma do DNER-ME 043 (1995). A fluência não se apresenta satisfatória na concentração de 6,0% de teor de CAP, mostrando desempenho adequado nas demais concentrações, tornando o traço estudado tecnicamente e economicamente viável, e possibilitando resistência a compressão adequada para o concreto asfáltico.

Ahmedzadea e Sengoz (2009), avaliaram o uso do agregado grosso de escória de aciaria em concreto betuminoso de mistura quente. A influências da utilização de escória de aço como agregado graúdo sobre as propriedades do asfalto misturado a quente contendo dois tipos de cimento asfáltico AC-5; AC-10 e agregados graúdos de calcário; escória de aço foram usadas para preparar testes de amostragem de Marshall e para determinar o teor ótimo de betume. Foram analisadas características mecânicas por testes de estabilidade de Marshall, módulo de rigidez de tração indireta, rigidez de fluência e resistência indireta à tração. Verifica-se que a escória de aço utilizada como agregado graúdo melhora propriedades mecânicas das misturas asfálticas e demonstram que a condutividade elétrica das misturas de escória de aço foi melhor que a das misturas de calcário.

O CBUQ é altamente utilizado em vias de tráfegos intensos por causa da elevada ligação covalente realizada entre o silício e o carbono quando exposto a altas temperaturas. A partir disto, Askeland (1998), dispõe que ao incrementar a temperatura normalmente existe uma redução de resistência de um material. No entanto, alguns compostos, como carbono-carbono, as ligas especiais e os materiais cerâmicos refletem excelentes propriedades a elevadas temperaturas. O concreto asfáltico por ser rico em composto de carbono e realizar ligação covalente com os silicatos, representa o aumento da resistência com o incremento da temperatura, pois adquire propriedades referentes a resistências, a uma determinada temperatura tornando-se superior as do concreto asfáltico confeccionado a frio. Por este motivo, o CBUQ é mais indicado para locais com tráfego elevado do que o concreto asfáltico fabricado a frio.

Araújo et al. (2018), avaliaram a resistência à compressão do concreto aditivado com borra oleosa de petróleo. Estes Resíduos carbonosos, ricos em petróleo foram adicionados na fabricação de concreto, buscando aumentar a resistência à compressão, e verificaram que dependendo das condições de uso, os Polímeros de Hidrocarbonetos Aromáticos, conhecidos como PAHs, tiveram ampla aplicação principalmente pela facilidade de aplicação e bom desempenho, com baixo custo. Os principais benefícios obtidos com as adições específicas, são em termos de aspectos ambientais, pois, quando são adicionados resíduos industriais impede que o material seja liberado no meio ambiente sem qualquer finalidade benéfica; entre os principais resultados encontrados, verificou-se a substituição parcial do cimento, reduzindo seu consumo e consequentemente o custo do concreto.

Resistência a tração por compressão diametral

A resistência a tração diametral demonstra satisfatoriedade técnica. Ao testar os corpos-de-prova verifica-se que a média de resistência a tração por compressão diametral obtida de 0,68 Mpa, atendendo o estabelecido na norma, conforme Figura 2.

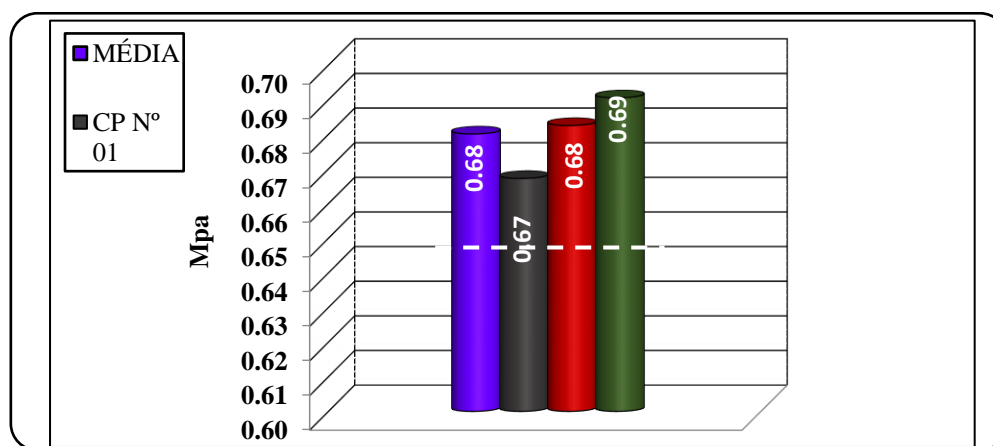


Figura 2. Ensaio de resistência a tração por compressão diametral.

O teor de 5,0% de CAP demonstra-se satisfatório para a confecção do CBUQ utilizando cascalho de perfuração de poços de petróleo, pois a viscosidade do cimento asfáltico sob a influência das características de micro morfologia e estrutura porosa do asfalto relacionando com as propriedades mecânicas e na microestrutura da pasta de cimento, onde o comportamento de ensaios mecânicos e constata-se que o percentual de asfalto sulfonado influencia diretamente nas resistências a tração.

Perez e Pasandin (2017), verificaram a resistência à fadiga da fabricação de concretos utilizando agregados reciclados, onde as misturas foram fabricadas com o teor ideal de betume usando dois tipos de betume: um betume de penetração B35/50 e um betume residual modificado com 10% de BC35/50 residual. Verificou-se que o desempenho de fadiga da mistura quente de asfalto usando agregados de concreto reciclado, aumentou, na medida que a resistência à fadiga do asfalto de mistura a quente, também aumenta. A fissuração por fadiga é um dos principais modos de falha do asfalto. A investigação verificou efeito benéfico na vida de fadiga da incorporação de agregado reciclado.

A Tabela 4 dispõe da parametrização do projeto, com todos os ensaios previstos e executados atendendo a legislação de fabricação do CBUQ.

Tabela 4. Parametrização do projeto CBUQ utilizando cascalho de perfuração de poços de petróleo

Resultados da Dosagem	Obtido	Mínimo	Máximo
Teor Ótimo De Asfalto Adicionado. DNER-ME 053/94 (%)	5,00	4,70	5,30
Teor De Vazios (%)	3,69	3,00	5,00
Vazios Do Agregado Mineral (%)	15,06	≥ 15	-
Relação Betume/Vazios (%)	75,46	75,00	82,00
Estabilidade Marshall. DNER-ME 043/95 (N)	970	≥ 500	-
Fluência. DNER-ME 043/95 (mm)	3,54	2	4,5
Relação Filler/Betume (%)	0,78	0,6	1,6
Equivalente De Areia DNER-ME054/94(%)	69,37	≥ 55	
Abrasão Los Angeles DNER-ME035/94(%)	35,80	≤ 50	
Índice De Forma DNER-ME086/94(%)	0,78	≥ 0,5	
Durabilidade Frente Ao Sulfato De Sódio DNER-ME 089/94(%)	0,37	≤ 12	
Resistência a tração por compressão diametral 25°C DNIT -ME 136/2010	0,68	0,6 a 1,2 Mpa.	

Qu et al. (2018), relatam que, com o avanço da tecnologia, comprovou-se que as propriedades microscópicas do asfalto, podem ser aferidas a partir da simulação de dinâmica molecular (MD), verificando a importância do estudo, uma vez que o asfalto tem sido amplamente utilizado no mundo. Destacou entre os principais componentes do pavimento asfáltico, o aglutinante de asfalto que é crucial para o desempenho do serviço e para a vida na estrada, usando a estrutura molecular do aglutinante de asfalto e agregado, a energia de interação entre eles pode ser caracterizada. Saber-se que o mineral agregado influencia o trabalho de adesão, também é usado para explorar a influência da água no comportamento de adesão a partir de uma micro perspectiva.

Observa-se que, o teor de ligante CAP 50/70 para a composição ótima da mistura de CBUQ, 5,0% atende a norma do DNER 053 (1994), onde é estabelecido que este deve se apresentar entre 4,70 e 5,30%, garantindo as estabilidades e resistências necessárias para as camadas de rolamento.

Conclusão

Observou-se que inserindo o índice de 10% em substituição parcial do agregado miúdo areia, este apresentou viabilidade técnica para o uso em camadas de rolamento de asfalto, faixa C, atendendo parâmetros técnicos da legislação vigente e obedecendo critérios ambientais.

Verificou-se que a implementação de valores superiores a 10% de cascalho na mistura, não apresentaram características tecnicamente satisfatórias, que a aplicação na mistura não atendeu as faixas de percentuais retidos e passantes nas peneiras

Verificou-se a impossibilidade de utilizar o agregado miúdo areia com altos teores de argila, pois estes afetam diretamente nas resistências do concreto asfáltico confeccionado. Motivo este, que inviabilizou a implementação de teores maiores de cascalho de perfuração de petróleo ao CBUQ.

Nos ensaios de resistência a compressão Marshall, verificou-se um ganho econômico na implementação do cascalho ao concreto asfáltico. Verificou-se a aplicabilidade de menores teores de concreto asfáltico, para obtenção de resistências satisfatórias, atendida em todos os percentuais propostos para o uso do CAP.

Constatou-se que a aplicação deste material na confecção de concreto betuminoso usinado a quente, foi favorável e agrega valor técnico, econômico e ambiental ao CBUQ.

Referências

ARAUJO, A. S.; CORIOLANO, A. C. F.; BANDEIRA, R. A. F.; DELGADO, R. C. O. B. Preparation and compressive strength evaluation of concrete containing oil sludge as additive. Materials Science Forum, v.930, p.148-152, 2018.

ASKELAND, D. R. Ciencia e ingeniería de los materiales. 3. Edición. Thomson. Editores. Universidade de Missouri, Rolla, 1998. Disponível em: <https://archive.org/stream/ASKELANDDONALDR.CienciaElIngenieriaDeLosMateriales33Ed.Spanish1999/ASKELAND%2C+DONALD+R.-Ciencia+e+Ingenier%C3%ADa++de+los+Materiales+%283%C2%AA+ed.%29++Spanish+%281999%29_djvu.txt>. Acesso em: fevereiro 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12052: Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=5143>. Acesso em: fevereiro 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12948: Materiais para concreto betuminoso usinado a quente. Rio de Janeiro 1993. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3723>>. Acesso em: fevereiro 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 51: Agregado graúdo – Ensaio de abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro 2001. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3038>>. Acesso em: fevereiro 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 10.004: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro 2004. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=936>. Acesso em: fevereiro 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7809: Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro- método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=79835>>. Acesso em: fevereiro 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo-análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=361658>>. Acesso em: fevereiro 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12583: Agregado graúdo - Determinação da adesividade ao ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3279>. Acesso em: fevereiro 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12584: Agregado miúdo - Determinação da adesividade ao ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3271>>. Acesso em: fevereiro 2019.

- ASTM. Standards and Test Methods C88-13. Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013. Disponível em: <<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C88-13.htm>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- ASTM. Standards and Test Methods D3381/D3381M-13. Standard specification for viscosity-graded asphalt cement for use in pavement construction. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013. Disponível em: <<https://www.astm.org/Standards/D3381.htm>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- AHMEDZADEA, P.; SENGÖZ, B. Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete. *Journal of Hazardous Materials*, v.165, p.300–305, 2009.
- BANDEIRA, R. A. F.; CORIOLANO, A. C. F.; ARAÚJO, A. S.; SOUSA JUNIOR, A. M. Efeitos de temperatura em concreto convencional e fabricado com aditivo de borra oleosa de petróleo. *RUNPETRO*, v.5, n.1, p.32-39, 2017.
- DER. Departamento de Estradas de Rodagem. Especificação técnica. Concreto asfáltico. ET-DE-P00/027. São Paulo, 2005.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 053. Misturas betuminosas – percentagem de betume. Rio de Janeiro 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me053-94.pdf/view>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Método de Ensaio - ME 079 – agregado-adesividade a ligante betuminoso 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me079-94.pdf>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Método de Ensaio - ME 089 – agregados. Avaliação da durabilidade pelo emprego da solução de sulfato de sódio ou de magnésio. 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me089-94.pdf/view>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Método de Ensaio - ME 054 – Equivalente de areia. Rio de Janeiro 1997. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me054-97.pdf>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. Especificação de serviço – ES. 043, DNIT – misturas betuminosas a quente- ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/metodo-de-ensaio-me>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT-ME 136- Misturas betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral. 2010. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dnit136_2010_me.pdf>. Acesso em: fevereiro 2019.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de pavimentação. Rio de Janeiro 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Pavimenta%E7%E3o_05.12.06.pdf>. Acesso em: fevereiro 2019.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de implantação básica. Rio de Janeiro: DNIT, 2010. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/742_manual_de_implantacao_basica.pdf>. Acesso em: fevereiro 2019.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Norma DNIT 031/ 2004- ES. Pavimentos flexíveis. Concreto asfáltico. Especificação de serviço Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/dnit031_2004_es.pdf>. Acesso em: janeiro de 2019.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos>. Acesso em: fevereiro 2019.
- FIALHO, P. F. Cascalho de perfuração de poços de petróleo e gás. Estudo do potencial de aplicação em concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro Tecnológico. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2012.
- FUSCO, P. B. Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados. 1. ed. São Paulo: Pini, 2008.
- KANDHAL, P. S. Waste Materials in Hot Mix Asphalt - An Overview," Use of Waste Materials in Hot-Mix Asphalt. STM STP 1193, H. Fred Waller, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1993.

- LUCENA, A. E. F. L.; RODRIGUES, J. K. G.; FERREIRA, H. C.; LUCENA, L. C. F. L.; LUCENA, L. F. L. Caracterização térmica de resíduos de perfuração Onshore. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - PDPETRO, 4, 2007, Campinas. Anais...Campinas, 2007.
- MORAES, M. A. Estudo geoquímico, ecotoxicológico do sedimento nas proximidades de um poço de perfuração na Bacia de Campos. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/5746>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- PEREZ, I.; PASANDIN, A. R. Fatigue performance of bituminous mixtures made with recycled concrete aggregates and waste tire rubber. *Construction and Building Materials*, v.157, p.26, 2017.
- QU, X.; WANG, D.; WANG, L.; HUANG, Y.; HOU, Y.; OESER, M. The state-of-the-art review on molecular dynamics simulation of asphalt binder. *Advances in Civil Engineering*, v.2018, p.1-14, 2018.
- THOMAS, J. E. (Org.). Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Editora Interciência Ltda, 2ª edição, 2001. 271p.
- U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. Method 7470A (SW-846): Mercury in Liquid Waste (Manual Cold-Vapor Technique), Revision 1. Washington, DC. 1994. Disponível em: <<https://www.epa.gov/homeland-security-research/epa-method-7470a-sw-846-mercury-liquid-wastes-manual-cold-vapor-technique>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. Method 6010. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. Washington, DC. December 1996. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-6010c.pdf>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. Method 7471B: Mercury in Liquid Waste (Manual Cold-Vapor Technique), Revision 1. Washington, DC. 2007. Disponível em: <<https://www.epa.gov/homeland-security-research/epa-method-7471b-sw-846-mercury-solid-or-semisolid-wastes-manual-cold>>. Acesso em: fevereiro 2019.
- U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. Method 8015C: nonhalogenated organics by gas chromatography. Washington, DC. 2007. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/8015c.pdf>. Acesso em: fevereiro 2019.
- ZHANG, C.; SONG, Y.; WANG, W.; GUO, X.; LI, H. The influence of sulfonated asphalt on the mechanical properties and microstructure of oil well cement paste. *Construction and Building Materials*, v.132, p.438-445, 2017.
- ZOOROB, S.; SUPARMA, L. B. Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt). *Cement & Concrete Composites*, v.22, p.233-242, 2000.



AValiação dos Parâmetros de Qualidade de Leites UHT Integral

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva¹
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro²
Newton Carlos Santos³
Sâmela Leal Barros⁴
Amanda Priscila Silva Nascimento⁵
Mylene Olga Pessoa Melo⁶

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/Campus Campina Grande-PB, virginia.mirtes2015@gmail.com

² Mestrando em Ciências Agrárias (Agroecologia) da Universidade Federal da Paraíba, UFPB/Campus III Bananeiras-PB, victor_herbert@hotmail.com

^{3,4,5}Mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEA/Campus Campina Grande-PB, newtonquimicoindustrial@gmail.com
samelaleal7@gmail.com; amandapricila@yahoo.com.br

⁶Engenheira de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEALI/Campus Campina Grande – PB, mylenaopm@gmail.com

Introdução

A agroindústria é um setor produtivo dinâmico que possui diversos desafios, dentre os quais pode-se observar a necessidade de atender as demandas relacionadas a quantidade, qualidade e inovação tecnológica para a produção de alimentos. De acordo com Rodrigues (2013), o cenário mundial reflete uma busca por alimentos saudáveis, com o objetivo de proporcionar uma melhor qualidade de vida para a população através de uma dieta mais balanceada, proporcionando assim um aumento no consumo de leite e derivados lácteos.

A qualidade do leite consumido no país é uma constante preocupação para saúde pública e indústria. Pois, de acordo dados da Secretaria de Vigilância em Saúde, no Brasil, entre os anos de 2000 e 2011, foram notificados 8.663 surtos de doenças transmitidas por alimentos, acometendo 163.425 e levando 112 pessoas a óbito. Com o objetivo de minimizar o problema descrito, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) publicou no Diário Oficial da União de 29 de dezembro de 2011, a Instrução Normativa nº. 62 (IN 62), que regulamenta o padrão de produção, identidade e qualidade do leite, incluindo manejo de ordenha, resfriamento na propriedade, transporte a granel, parâmetros físico-químicos, microbiológicos e contagem de células somáticas, o que aumentou o nível de exigência nas propriedades e nas indústrias (BRASIL, 2011).

Segundo dados da Confederação Nacional da Agricultura, o Brasil é o sexto maior produtor de leite do mundo, produzindo em torno de 27 bilhões de litros de leite ao ano (CNA, 2008). A produção de leite no Brasil é realizada em toda sua extensão territorial, possui grande importância econômica e social e, se apresentada em diversos níveis de organização, desde a agricultura familiar através de pequenas cooperativas que dispõem de poucos recursos, até em propriedades que possuem grande nível tecnológico. Um dos fatores que impedem o país de atingir mercados externos mais exigentes é a qualidade questionável do produto lácteo brasileiro devido às limitações tecnológicas relacionadas à falta de estabilidade térmica, que têm dificultado a melhoria da qualidade de produtos lácteos e o aumento da vida de prateleira (WILLERS, et al., 2014; SANTOS, et al., 2018).

De acordo com Silva (2012), diversos fatores influenciam para que o leite produzido no Brasil não possua boa qualidade microbiológica e físico-química. Dentre os quais se destacam: O fato de que grande parte do leite produzido é oriunda de diversos pequenos produtores rurais, que sem orientação técnica adequada mantém sua criação com baixa produtividade e susceptíveis a doenças; A falta de capacitação técnica, que muitas vezes implica em problemas higiênico-sanitários; A limitada condição financeira dos pequenos produtores de leite, que impossibilita que sejam efetuados os investimentos necessários para a compra de insumos, equipamentos, maquinários e utensílios, levando esses produtores a não conseguirem adequar-se às novas normas de produção de leite, como as descritas na IN51 – Instrução Normativa de número 51, do Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA); Fiscalização pelos órgãos reguladores insuficientes para atender a toda cadeia produtiva.

Havendo por esse motivo um descontrole no padrão de qualidade do leite produzido o que leva ao aumento da comercialização desse leite no mercado informal e consequentemente fora da fiscalização.

A pasteurização é um tratamento térmico utilizado com o objetivo de se reduzir a quantidade de microrganismos deteriorantes e patológicos. Classifica-se de acordo com a temperatura utilizada e o tempo de residência do produto no pasteurizador, como a pasteurização lenta (LTLT “*Low Temperature Long Time*”, 63°C/30min.); rápida (HTST “*High Temperature and Short Time*”, 75-120°C/15 seg.); ou muito rápida (UHT “*Ultra High Temperature*”, 135°C/4 seg.). Dentre os processos citados, a ultra pasteurização desempenha maior valor comercial devido a sua extensa vida de prateleira e armazenamento em temperatura ambiente (RODAS et al., 2014).

O leite UHT possui grande estabilidade, pois são associadas ao seu processamento as tecnologias de ultra pasteurização e o envase asséptico em embalagens longa vida com a retirada do ar durante o fechamento da embalagem, garantindo ao leite UHT a preservação de suas propriedades organolépticas e nutritivas, sem a necessidade da utilização de conservantes e de refrigeração, facilitando o processo de transporte e armazenamento. Estas vantagens existentes na utilização do processo de ultra pasteurização, provocaram nos últimos anos uma redução significativa no consumo de leite pasteurizado em virtude do aumento do consumo do leite longa vida UHT (LUIZ et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2015).

O leite é o produto oriundo de ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de animais sadios, bem alimentados e descansados, sua composição é complexa e pode apresentar variação devido a fatores como a raça, alimentação, idade, número de parições e tempo de lactação do animal, além de variações climáticas e até devido ao tratamento no qual o mesmo é submetido (BRASIL, 2008; ABRANTES et al., 2014).

O leite é um alimento bem aceito pelo consumidor por ser saboroso e extremamente completo nutricionalmente. Tendo como composição percentual média: 87% de água, 4,4% de gordura, 4,6% de lactose, 3,3% de caseína e proteínas do soro, 0,7% de minerais, 0,17% de sais e 0,13% de vitaminas e enzimas. É essencial ao crescimento e ao desenvolvimento neonatal, ajudando o organismo a fortalecer e criar mecanismos de proteção contra doenças e infecções. Contudo, a composição, a cor e o sabor do leite variam de acordo com a espécie leiteira, a raça, idade e dieta do animal, bem como o estágio de lactação, número de parições, sanidade, sistema de exploração, ambiente físico e estação do ano (COUNCIL, 2002; FAO, 2016).

Estão presentes na composição do leite diversas vitaminas conhecidas, tais como, as lipossolúveis (vitaminas A, D, E e K); e as hidrossolúveis (B1, B2, B6, B12, ácido pantotênico, niacina e vitamina C). Contudo, após o tratamento térmico várias dessas vitaminas são perdidas degradadas, principalmente a vitamina C. Por essas razões, as indústrias lácteas adicionam em alguns dos seus leites beneficiados e produtos derivados diversos tipos de vitaminas com o intuito de devolver ao leite esse conteúdo nutricional tão importante. Com relação aos sais minerais, no leite existem em quantidades significativas fósforo, cloro, sódio, cálcio, potássio e magnésio. Além de apresentar em menor quantidade o ferro, alumínio, zinco e manganês. Os sais minerais ocorrem nos leites solubilizados ou agregados a outros componentes do leite como, por exemplo, as proteínas (cálcio e fósforo associados à caseína) estabilizando-as (SILVA et al., 2012).

O Leite UHT, é assim denominado devido ao tratamento térmico aplicado, que consiste na utilização de ultra alta temperatura durante um curto período de tempo e posteriormente resfriada em baixas temperaturas. Pode ser classificado como integral, semidesnatado ou desnatado, de acordo com o percentual de gordura presente em sua composição centesimal. A legislação brasileira estabelece que o leite desnatado deve conter no mínimo 3% de gordura (DALPIAZ & PINTO, 2016).

A legislação brasileira, através da IN 51 estabelece que, o leite UHT deve passar por processo de fluxo contínuo a temperatura de 130-150°C durante um intervalo de tempo de 2-4 segundos e imediatamente resfriado à temperatura inferior a 32°C, sendo envasado sob condições assépticas em embalagens estéreis e hermeticamente fechadas.

O controle de qualidade tem como objetivo avaliar a integridade e as condições sanitárias aplicadas durante o processo produtivo. O leite fluído deve apresentar aspecto de líquido opaco, sem grumos, coágulos, flóculos ou mucosidade, e a camada de gordura não deve ser filante; deve ter cor branca ou levemente amarelada e odor e sabor característicos, devendo estar ausentes de neutralizantes de acidez e reconstituintes de densidade e estabilidade ao etanol (68%) (RODAS et al., 2014).

A acidez é uma das determinações mais usadas no controle de qualidade de leite e derivados e pode apresentar através das provas de acidez Dornic, determinação de pH e estabilidade ao álcool. Estes

testes, têm sido utilizados com o objetivo de detectar aumentos na concentração de ácido láctico e estabilidade ao calor e, conseqüentemente, podem dimensionar a qualidade microbiológica do produto. O uso de diferentes concentrações de álcool deve ser avaliado cada caso em particular em função do tipo de produto a ser fabricado e dos sistemas de produção (LUIZ et al., 2010).

A lactose é um componente abundante no leite, variando de 40 a 50 g/L. Possui sabor doce, mas tem baixo poder adoçante se comparado a outros açúcares e possui baixa solubilidade. No leite, seu sabor é inibido pela caseína. A lactose é altamente higroscópica possibilitando a formação de cristalização em derivados lácteos, que pode caracterizar defeito em produtos desidratados, congelados e concentrados à base de leite. Na indústria de alimentos, a lactose pode ser utilizada em alimentos infantis, sopas, produtos cárneos, achocolatados e outros produtos que requerem baixo poder adoçante e potencialização de aromas (KOBELITZ, 2011).

Há diversos benefícios que a Lactose proporciona ao consumidor, como a possibilidade de melhorar a absorção do cálcio no organismo humano, devido a redução do pH intestinal, que favorece a solubilidade e dispõe de compostos de cálcio constituídos para absorção. Além de ser considerada como uma fonte de energia em consequência de sua lenta absorção no organismo. Também se supõem que a lactose não proporcione a formação de placas dentárias como os demais açúcares e pode ser consumida por diabéticos em pequena quantidade. Porém, para que seja possível a sua digestão no organismo, é necessário que este dissacarídeo seja reduzido a monossacarídeo através da enzima lactase (β -galactosidase), produzida no intestino delgado de mamíferos, tendo sua maior concentração logo após o nascimento caindo drasticamente na fase adulta. A deficiência desta enzima dificulta a hidrólise da lactose ingerida, impedindo a sua decomposição e absorção. Este fato ocorre na maioria das populações após os três anos de idade, conferindo o impedimento ou lentidão da absorção da lactose, o que caracteriza a hipolactasia, ou seja, sintomas de intolerância a lactose (KOBELITZ, 2008; TRONCO, 2008).

A gordura do leite possui elevado valor comercial, é composta de 99,5% de lipídios simples e complexos, e ácidos graxos livres e 0,5% de colesterol, hidrocarbonetos, vitaminas lipossolúveis e alguns álcoois. Os principais lipídios do leite são os triacilgliceróis, que correspondem a 98,3% da gordura do leite, 0,8% estão associados aos fosfolipídios e 0,3% ao colesterol. Pode ser considerada como uma importante fonte de energia, confere melhor palatabilidade e sabor devido a sua estrutura. Através da gordura presente no leite, pode-se produzir inúmeros produtos industrializados. Leites que contêm um índice de gordura inferior ao estabelecido pela legislação, pode indicar que houve desnate, processo que consiste na retirada de gordura, e que é considerada ilegal quando o produtor não adequa o produto aos teores exigidos pela legislação para cada tipo de leite, sendo ele integral, semidesnatado ou desnatado. Portanto, a determinação de gordura, é também um dos meios utilizados para verificar a presença de fraude no leite (TRONCO, 2008; KOBELITZ, 2011; ABRANTES et al., 2014).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar os parâmetros de qualidade em leites UHT integral comercializados na cidade de Campina Grande, Paraíba, com o intuito de verificar se os leites avaliados estão aptos para o consumo humano de acordo com os padrões estabelecidos pelas normas vigentes.

Material e Métodos

Coleta das amostras

Foram adquiridos leites UHT desnatados de 5 marcas comerciais diferentes em supermercados com maior fluxo de vendas localizados na cidade de Campina Grande-PB. As amostras estavam acondicionadas em embalagens originais, do tipo Tetra Pak®, dentro do prazo de validade. As amostras coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, para posterior realização em triplicada das análises físico-químicas. Para a realização das análises microbiológicas, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de microbiologia, pertencente a Universidade Estadual da Paraíba.

Métodos Analíticos

O teste do Teor de Gordura foi realizado utilizando o método do butirômetro, após adição do ácido sulfúrico e do álcool isoamílico ao leite dentro do butirômetro de Gerber o mesmo foi centrifugado a uma rotação de 1200rpm durante 5 minutos e em seguida levado a banho-maria por 5 minutos para então leitura do teor de gordura na parte inferior do menisco. O resultado é expresso em porcentagem (IAL, 2008).

Para a análise da densidade relativa foi determinada através de termolacto densímetro com correção de temperatura a 15°C, com resultados expressos em 15/15°C g/mL O₂ (IAL, 2008).

A análise de Proteínas foi realizada através da quantidade de nitrogênio da amostra, por digestão *Kjeldahl*. As três etapas importantes para a determinação de proteínas são: digestão, onde a amostra é submetida a altas temperaturas juntamente com a mistura catalítica em um digestor; destilação realizada em destilador com Hidróxido de Sódio concentrado e por fim titulação, onde o nitrogênio é transformado em amônia, resultando em g de protídios e se aplicando um fator de 6,25.

Foi utilizado um pHmetro microprocessador digital de bancada da marca QUIMIS, previamente calibrado e em condições favoráveis de uso (IAL, 2008).

Os sais minerais foram quantificados por gravimetria após incineração em mufla a 550°C. O método de baseia na perda de peso que ocorre quando o produto é incinerado a 550°C, com destruição da matéria orgânica (IAL, 2008).

Os dados da Lactose, ponto de congelamento, extrato seco desengordurado e a condutividade térmica foram determinadas em um analisador rápido para leite de marca comercial Master Complete®.

A fervura/cocção e estabilidade ao álcool 68° GL foram realizadas de acordo com a metodologia descrita pela Instrução Normativa nº68 (BRASIL, 2006).

Análises microbiológicas

Foram realizadas análises microbiológicas de *coliformes* a 35 a 45°C, *E. coli*, *Mesófilos aeróbios* e *Salmonella* sp. segundo a Instrução Normativa nº 62 de 2003 (BRASIL, 2003).

Análise estatística

Foi realizada para os dados experimentais em triplicata e os resultados foram submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade, e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de *Tukey* adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o software STATISTICA versão 10.

Todos os parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram comparados segundo a referência dos padrões estabelecidos pela Instrução Normativa nº 62/2011 (BRASIL, 2011).

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para o teor de gordura presente nas 5 amostras de leite UHT integral de marcas comerciais, encontram-se dispostos na Figura 1.

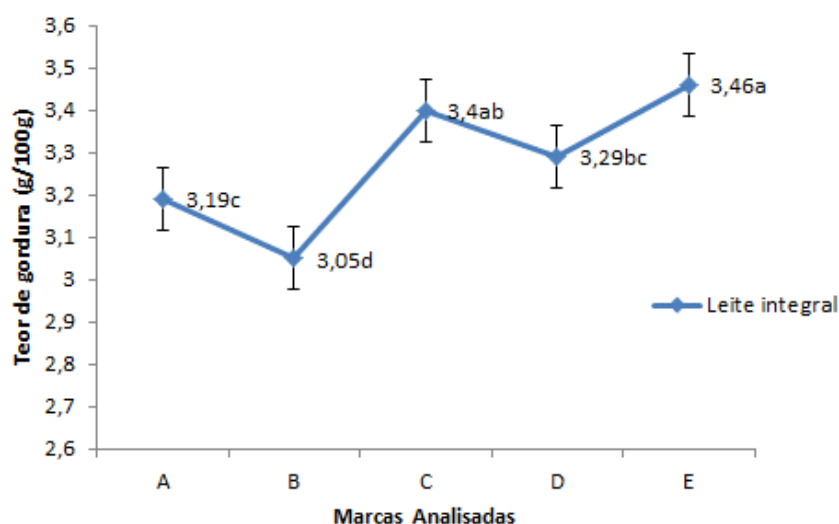


Figura 1. Resultados obtidos para o teor de gordura do leite integral UHT das marcas (A, B, C, D, e E).

A legislação brasileira estabelece que, o teor mínimo de gordura presente no leite integral deve ser de 3g/100g. Pode-se afirmar que os resultados obtidos para o índice de gordura se apresentam adequados a legislação vigente, pois todas as amostras apresentam valores superiores ao indicado pela legislação e variam de 3,05 a 3,46 g/100g, como apresentado através da Figura 1. Indicando que, todas

as amostras não foram submetidas ao processo de desnate. Pode-se afirmar que, o maior teor de gordura foi observado na amostra E (3,46g/100g), porém, não há diferença significativa com relação a amostra C.

Na Figura 2 se pode observar os resultados obtidos para o extrato seco desengordurado das 5 amostras de leite UHT integral de marcas comerciais.

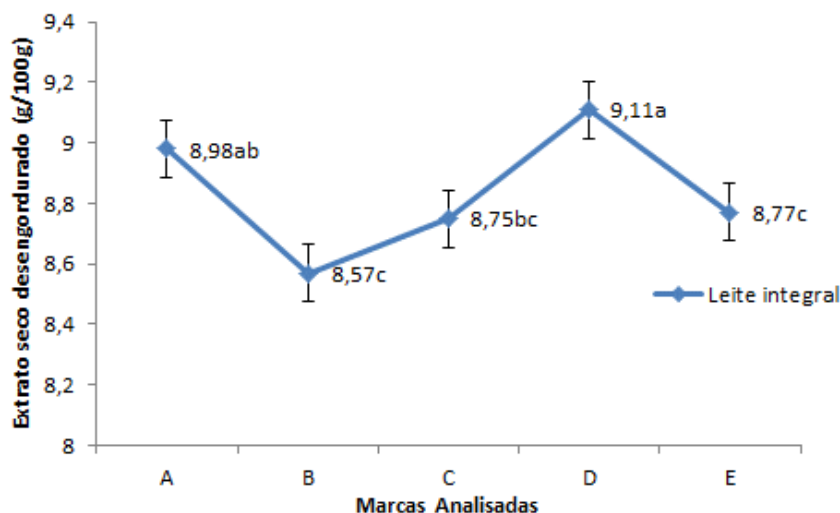


Figura 2. Resultados obtidos para o extrato seco desengordurado do leite integral UHT das marcas (A, B, C, D, e E).

Através da Figura 2 observa-se que, todas as amostras se apresentam adequadas com relação ao teor de extrato seco desengordurado, pois obteve-se valores superiores ao limite mínimo estabelecido pela IN 62/2011, que é de 8,4g/100g. As amostras variam de 8,57 a 9,11g/100g, em que a amostra D (9,11g/100g) apresenta valor superior com relação as demais amostras, porém não difere significativamente com relação a amostra A.

De acordo com Oliveira (2015), a soma das quantidades dos componentes do leite, com exceção da água, é denominada como sendo extrato seco total (EST), que é de aproximadamente 12 a 13% e que se constituem de componentes como gordura, carboidrato, proteína, sais minerais e vitaminas. O extrato seco desengordurado (ESD) é obtido através da diferença entre o EST e a quantidade de gordura existente.

Na Figura 3 encontra os resultados obtidos para a densidade das 5 amostras de leite UHT integral de marcas comerciais.

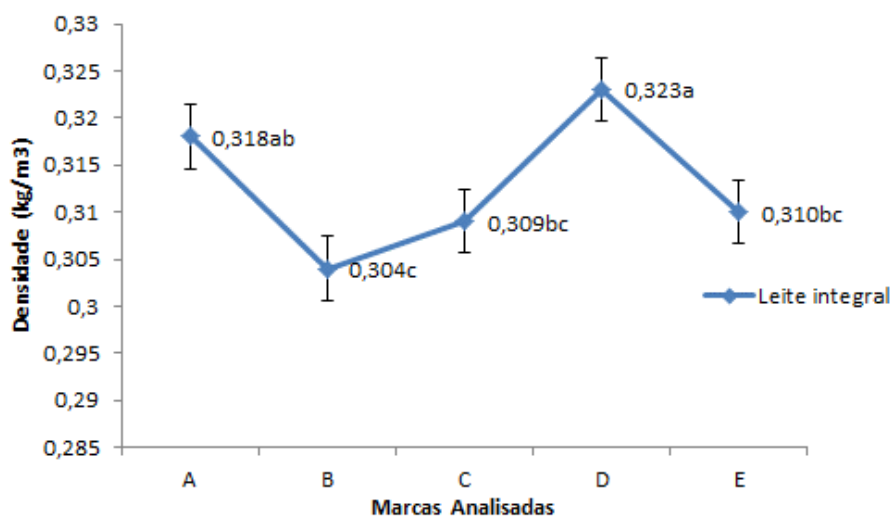


Figura 3. Resultados obtidos para a densidade do leite integral UHT das marcas (A, B, C, D, e E).

A Figura 3 expressa que, a densidade relativa dos leites analisados varia de 0,304 a 0,323 kg/m³. Portanto, todas as amostras estão adequadas a legislação brasileira com relação a este parâmetro, que estabelece que a densidade relativa do leite deve ser de 0,280 a 0,340 kg/m³. A amostra D apresenta a maior densidade (0,323 kg/m³) e não diferiu da amostra A, mas diferiu das amostras B, C e E.

Na Figura 4 estão apresentados os resultados obtidos para o teor de proteínas das 5 amostras de leite UHT integral de marcas comerciais.

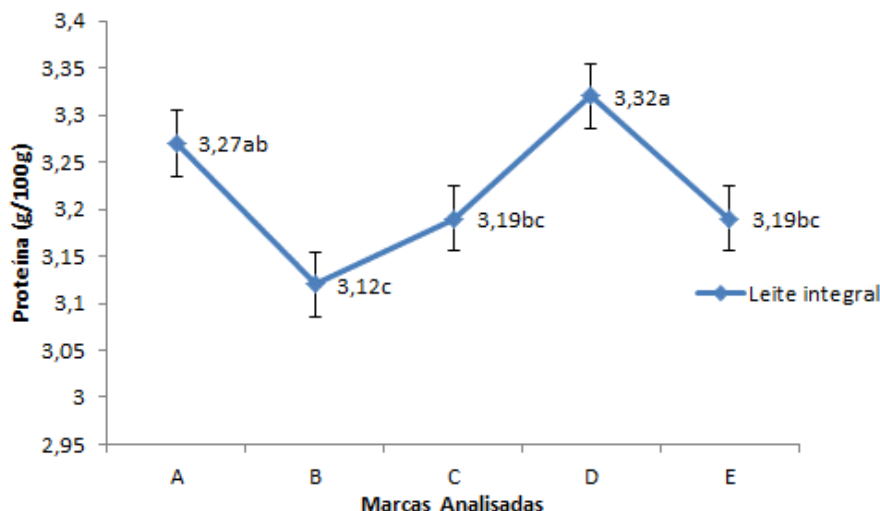


Figura 4. Resultados obtidos para o teor de proteínas do leite integral UHT das marcas (A, B, C, D, e E).

Todas as amostras apresentam um teor proteico superior ao valor mínimo estabelecido pela legislação brasileira, que é de 2,9% de proteína para leite cru refrigerado. As amostras avaliadas apresentam teor proteico que varia entre 3,12 e 3,32%. A amostra D apresenta valor superior com relação a este parâmetro quando comparada as demais amostras, porém não há diferença significativa com relação a amostra A. A amostra B apresenta menor valor obtido sendo este de 3,12g/100g, no entanto, não apresenta diferença significativa quando comparada as amostras C e E.

Na Figura 5 estão apresentados os resultados obtidos para a lactose das 5 amostras de leite UHT integral de marcas comerciais.

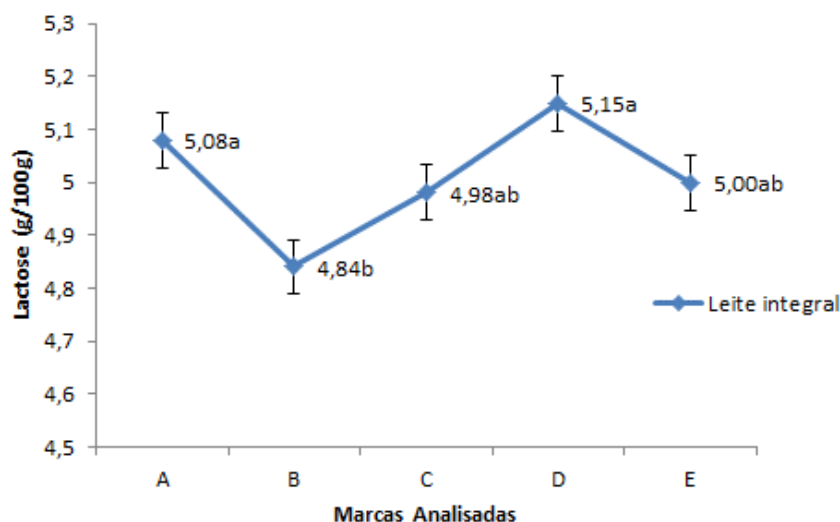


Figura 5. Resultados obtidos para o teor de lactose do leite integral UHT das marcas (A, B, C, D, e E).

Apesar da legislação brasileira não determinar quais são os teores de Lactose aceitáveis para o leite, Guandalim e Machado (2014) estimaram que, se obtém geralmente de 4 a 5g/100g nos leites integrais. As amostras analisadas apresentam valores que variam de 4,84 a 5,15g/100g, a amostra D

apresenta maior quantidade de lactose quando comparada com as demais, mas difere significativamente apenas da amostra B.

Segundo Lima et al. (2006), a redução na biossíntese da lactose pode indicar a ocorrência de mastite nos alvéolos mamários da vaca, que ao causar dano nesse tecido e alterar os sistemas enzimáticos nas células secretoras, tem como consequência a diminuição da biossíntese deste constituinte que é sintetizada pelo aparelho de Golgi das células epiteliais secretoras.

Na Figura 6 estão apresentados os resultados obtidos para o potencial hidrogeniônico das 5 amostras de leite UHT integral de marcas comerciais.

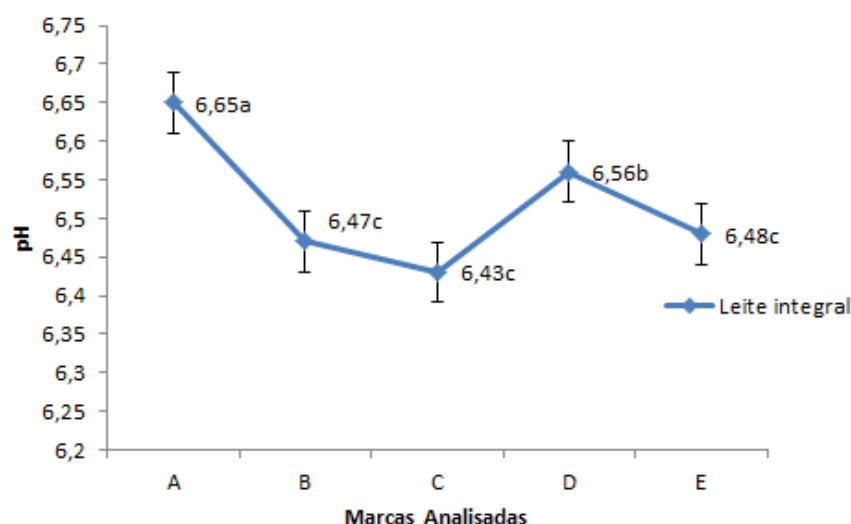


Figura 6. Resultados obtidos para potencial hidrogeniônico do leite integral UHT das marcas (A, B, C, D, e E).

Segundo a Instrução Normativa 62, os leites considerados aptos para o consumo devem apresentar pH entre 6,4 a 6,9. As amostras apresentam valores entre 6,43 a 6,65, estando assim dentro dos valores previstos pela legislação. Pode-se inferir que, o produto possui pH adequado ao leite, possibilitando que o leite permaneça estável ao longo do período de embalagem e armazenamento. A amostra A apresenta maior potencial hidrogeniônico, diferindo significativamente das demais amostras em um nível de significância de 5%. Estes valores são próximos aos obtidos por Robim et al. (2012), para leite UHT (6,65 e 6,74) e desnatado (6,5 e 6,6), comercializados no estado do Rio de Janeiro.

A determinação do pH do leite é de extrema importância, pois o desequilíbrio do pH pode ocasionar a redução da vida de prateleira, devido ao aumento no grau de fermentação e as condições de equilíbrio ácido-base. A estabilidade térmica do leite varia em função do pH inicial e da disponibilidade de oxigênio. Se o leite for proveniente de glândulas mamárias inflamadas, como mastite, O pH do leite torna-se levemente alcalino (pH= 7,3 a 7,5). Estes problemas podem ocorrer devido a um tratamento térmico inadequado, a um erro de formulação e/ou aprovação de produtos que não são conformes as normas em vigência (RODAS et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015).

A Figura 7 apresenta os resultados obtidos para o teor de sais minerais das 5 amostras de leite UHT integral de marcas comerciais.

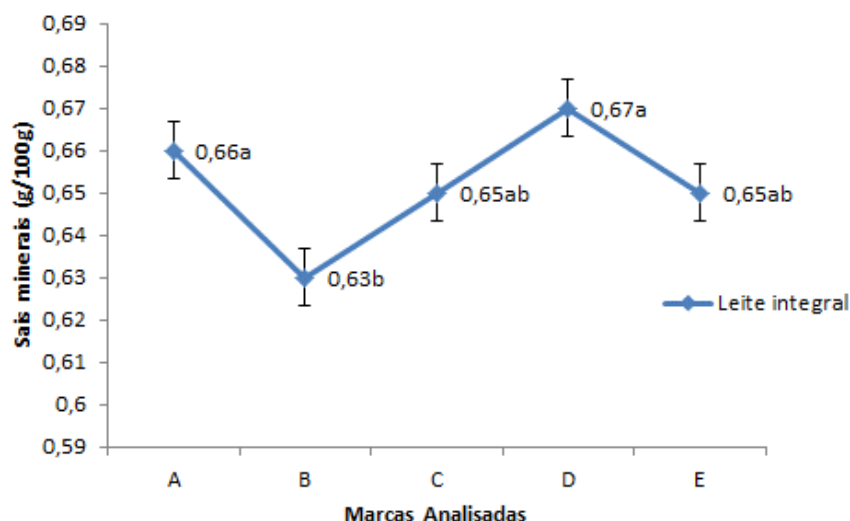


Figura 7. Resultados obtidos para o teor de sais minerais do leite integral UHT das marcas (A, B, C, D, e E).

Conforme expresso por meio da Figura 7, constata-se que as amostras apresentam um teor de sais minerais similar quando comparadas, variando entre 0,63 e 0,67g/100g, o maior teor de sais minerais é observado na amostra D, porém difere significativamente apenas da amostra B que apresenta um valor inferior de sais minerais.

A legislação não estabelece um valor mínimo para o teor de sais minerais presentes no leite, porém estes compostos são benéficos para a saúde humana e são, portanto, desejáveis na composição do produto (SILVA et al., 2012).

Segundo Luiz et al. (2010) e Robim et al. (2012), a qualidade do leite UHT pode ser determinada através da avaliação de alguns parâmetros de qualidade, entre eles o índice crioscópico.

Na Figura 8 se apresenta os resultados para o ponto de congelamento das 5 amostras de leite UHT integral de marcas comerciais.

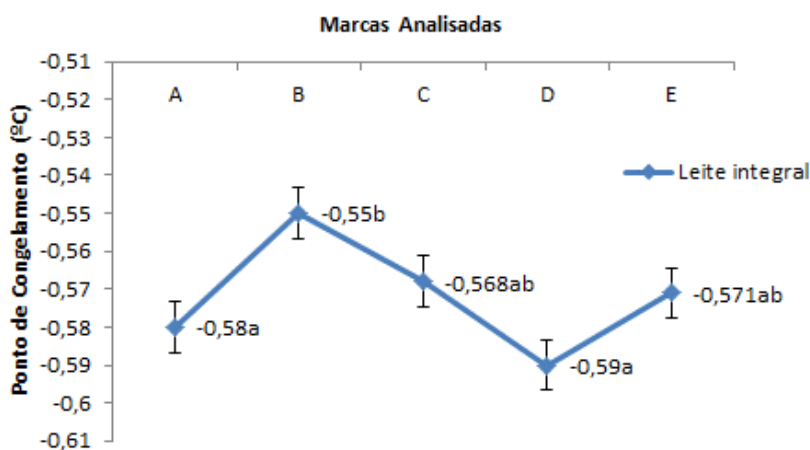


Figura 8. Resultados obtidos para o ponto de congelamento do leite integral UHT das marcas (A, B, C, D, e E).

As amostras estudadas apresentam valores que variam entre -0,55 e -0,59°C, todas as amostras apresentam valores inferiores ao limite máximo estabelecido pela legislação para o leite cru e pasteurizado e, portanto, podem ser consideradas adequadas com relação a este parâmetro. No entanto, a legislação brasileira, não estabelece um limite para o ponto de congelamento em leite do tipo UHT, porém prevê que em leite cru e pasteurizado o limite máximo aceitável para o ponto de congelamento do leite é de -0,512°C (BRASIL, 2011).

O ponto de congelamento é correspondente ao valor da temperatura (°C) na qual o leite congela, e isto ocorre em -0,55°C. Através deste parâmetro é possível detectar adição fraudulenta de água ao leite ou ineficiência no sistema de ordenha e por isto é considerada como uma prova de precisão. Qualquer alteração acarreta prejuízos à indústria, visto que há menor rendimento de produção, com perda da qualidade dos subprodutos, além de ser sério problema de saúde pública. A legislação não prevê determinar ponto de congelamento no leite UHT, apenas no leite fresco e pasteurizado (RODAS et al., 2014).

Na Figura 9 se apresenta os resultados obtidos para a condutividade elétrica das 5 amostras de leite UHT integral de marcas comerciais.

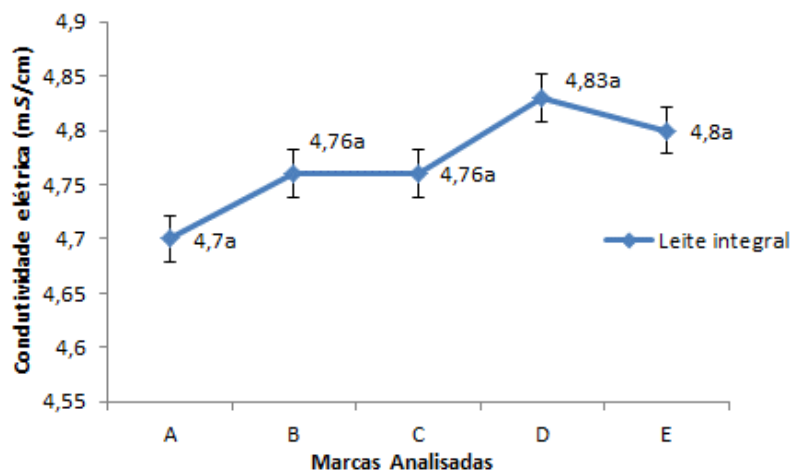


Figura 9. Resultados obtidos para a condutividade elétrica do leite integral UHT das marcas (A, B, C, D, e E).

Todas as amostras se apresentam adequadas à legislação vigente com relação a condutividade, variando de 4,7 a 4,83 mS/cm, não apresentando diferença significativa entre as marcas analisadas.

Segundo Ribeiro et al. (2016), a condutividade elétrica é um parâmetro que indica a contaminação do leite devido a mastite que pode acometer a vaca. Em animais saudáveis a condutividade elétrica pode variar entre 4 a 5,5 mS/cm a 25°C, e o aumento deste índice é proporcional ao aumento das células somáticas presentes. Em vacas com mastite ocorre um aumento na concentração dos íons sódio e uma diminuição na concentração do potássio e cloro no leite, alterando a condutividade.

Com relação ao teste de estabilidade álcool 68°GL, todas as amostras se apresentaram estáveis, o mesmo ocorreu para o teste de cocção do leite, em que todas as amostras estudadas analisadas não apresentaram coagulação.

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados obtidos para as análises microbiológicas das 5 amostras de leite UHT integral de marcas comerciais.

Tabela 1. Avaliação microbiológica de leites UHT comercializados em Campina Grande-PB

Microrganismos	A	B	C	D	E
Coliformes 30°C (NMP/mL)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Coliformes 45°C (NMP/mL)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
<i>E. coli</i>	Ausência	Ausência	Ausência	Presença	Ausência
<i>Mesófilos aeróbios</i> (UFC/mL)	2,0 x 10 ¹	0,9 x 10 ²	1,7 x 10 ¹	1,8 x 10 ¹	3 x 10 ⁰
<i>Salmonella</i> sp.	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência

Legenda: NMP- Número Mais Provável; UFC – Unidades Formadoras de Colônias.

Com relação às análises microbiológicas, nas 5 marcas de leite comercializadas no Brasil todas as amostras estão de acordo com os critérios microbiológicos e tolerância do leite UHT estabelecido pela

Instrução Normativa 62 (BRASIL, 2003) apresentando contagem de coliformes inferior a 0,3 NMP/mL, como também ausência de *salmonella sp* e de *E. coli*. A ausência destes tipos de bactérias indica processamento adequado e ausência de contaminação posterior, devido ao processo eficiente de ultra pasteurização, esterilização e envase.

Conclusão

Através das análises físico-químicas foi possível constatar que todas as marcas de leite estudadas, apresentaram-se adequadas aos padrões exigidos pela legislação vigente, para os seguintes parâmetros: densidade, gordura, estabilidade ao etanol, pH, sais minerais, extrato seco desengordurado (ESD), lactose, condutividade térmica e ponto de congelamento. Por estes resultados indicam que, os produtos estudados possuem a qualidade necessária para que não ocorra desenvolvimento de DTA (doenças transmitidas por alimentos), além de observado uma boa estabilidade durante o armazenamento, que se tornou possível devido à redução de microrganismos deteriorantes através da aplicação de um eficiente tratamento térmico. Pode-se inferir-se também que não ocorreram adulterações durante o processamento do leite.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado ao primeiro autor, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado dos demais autores.

Referências

- ABRANTES, M. R.; CAMPELO, C. S.; SILVA, J. B. A. Fraude em leite: Métodos de detecção e implicações para o consumidor. Revista Instituto Adolfo Lutz, v.73, n.3, p.244-251, São Paulo, 2014.
- BRASIL. Instrução Normativa no 51, de 18 de setembro de 2003. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Brasília, 2003.
- BRASIL. Instrução Normativa Nº49, de 16 de setembro de 2008. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Brasília, 2008.
- BRASIL. Instrução Normativa Nº62, de 29 de dezembro de 2011. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Brasília, 2011.
- CNA. Confederação Nacional da Agricultura. Indicadores Rurais, ano 11, n. 85, abr. 2008.
- COUNCIL, D. E. Ingredientes lácteos para uma alimentação saudável. Leite e Derivados, n.63, março/abril 2002.
- DALPIAZ, T.; PINTO, A. T. Avaliação físico-química e microbiológica do leite UHT e suas adequações a legislação brasileira. In: Salão de Iniciação Científica da UFRGS, 28, 2016, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, 2016.
- FAO. Composição do leite. Disponível em: <<http://www.fao.org/fao-stories/article/en/c/1174186/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. 1ª ed. Digital, São Paulo, 2008. 1020p.
- KOBLITZ, M. G. B. Bioquímica de Alimentos: Teoria e Aplicações Práticas. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- KOBLITZ, M. G. B. Matérias primas alimentícias: composição e controle de qualidade. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
- LUIZ, D. J.; SIMÕES, B. N.; TAMOSTU, S. S. R.; CASALE, A.; WALTER, S. E. H. Avaliação físico-química e microbiológica do leite UHT comercializado em três países do Mercosul (Brasil, Argentina e Paraguai). Archivo Latinoamerica de Nutrición, v.60, n.3, p.261-269, 2010.
- OLIVEIRA, A. L.; VANELI, N. R.; VARGAS, P. O.; MARTINS, A. D. O.; CÓCARO, E. S.; S COELHO, A. D. F. S. Evaluation physical and chemical characteristics, microbiological and pasteurized milk labeling marketed in Ubá – Minas Gerais. Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes, v.70, n.6, p.301-315, 2015.
- ROBIM, M. S.; CORTEZ, M. A. S.; SILVA, A. C. O.; FILHO, R. A. T.; GEMAL, N. H.; NOGUEIRA, E. B. Research fraud in UHT whole milk marketed in the state of Rio de Janeiro and comparison between the methods of physicochemical officers and the method of ultrasound. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, v.67, n.389, p.43-50, 2012.

- RODAS, M. A. B.; SARUWTARI-SATO, J. C.; TAKAHASHI, A. A.; TEMERLOGLOU, D. P.; SEPAROVIC, L.; NARDINI, G. S. Leite Pasteurizado e ultra alta temperatura (UAT): Avaliação do índice crioscópico e valor de pH. Revista Instituto Adolfo Lutz, v.24, n.1, p.57-59, 2014.
- RODRIGUES, E.; CASTAGNA, A. A.; DIAS, M. T.; ARONOVICH, M. Qualidade do leite e derivados: processos, processamento tecnológico e índices. Rio de Janeiro, 2013.
- SANTOS, F. F.; QUEIROZ, R. C. S.; ALMEIDA NETO, J. A. Avaliação da aplicação das técnicas da Produção Mais Limpa em um laticínio no Sul da Bahia. Gest. Prod., v.25, n.1, p.117-131, 2018.
- SILVA, G.; SILVA, A. M. A. D.; FERREIRA, M. P. B; Processamento de leite. Curso técnico em alimentos. Recife, 2012.
- TRONCO, V. M. Manual para inspeção da qualidade do leite. 3. ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 2008.
- WILLERS, C. D.; FERRAZ, S. P.; CARVALHO, L. S.; RODRIGUES, L. B. Determination of indirect water consumption and suggestions for cleaner production initiatives for the milk-producing sector in a Brazilian middle-sized dairy farming. Journal of Cleaner Production, v.72, p.146- 152, 2014.

VARIAÇÃO TEMPORAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO SUBMETIDO À OPERAÇÃO DE GRADAGEM NO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ

Alberto Bentes Brasil Neto¹

Nilza Martins de Queiroz Xavier²

Norberto Cornejo Noronha³

Arystides Resende Silva⁴

Marcos André Piedade Gama⁵

¹Professor, IFPA/Campus Óbidos, alberto.neto@ifpa.edu.br

²Professora, IFPA/Campus Óbidos, nilza.xavier@ifpa.edu.br

^{3,5}Professor Área de Solos, UFRA/ICA/Campus Belém,

norberto.noronha@hotmail.com; gama_map@yahoo.com.br

⁴Pesquisador A da EMBRAPA Amazônia Oriental, arystides.silva@embrapa.br

Introdução

O surgimento de camadas compactadas no solo devido à intensificação das práticas agrícolas tem gerado grandes limitações na produtividade das culturas, pois altera a estrutura do solo, afetando o crescimento e desenvolvimento das raízes. Visando reduzir os efeitos da compactação solo, o preparo convencional tem sido muito utilizado na busca de boas condições para o desenvolvimento das culturas agrícolas (ALVARENGA et al., 2006).

A operação de gradagem é uma prática de manejo com potencial de alteração das propriedades físicas do solo e é bastante utilizada em muitas regiões do Brasil, principalmente para solos arenosos, sendo muitas vezes a única operação de preparo do solo (BALLONI & SIMÕES, 1979). No entanto, o preparo convencional tem sido muito contestado por pesquisadores, pois prejudica a qualidade estrutural do solo, pelo revolvimento e rompimento dos agregados, além de ser bastante influenciado pelas condições edafoclimáticas (COSTA et al., 2003). Em regiões de clima tropical, fatores como a temperatura e o índice pluviométrico podem alterar rapidamente os efeitos do preparo do solo (REICHERT et al., 2009), conduzindo o solo à degradação se manejados inadequadamente.

As instabilidades dos agregados ocasionadas pela operação de gradagem, somada aos agentes edafoclimáticos, tendem a mudar os benefícios do revolvimento do solo em um certo período de tempo, isto por que altera o padrão das partículas, proporcionando, muitas das vezes, formação de selos, o que afeta a infiltração de água no solo, interferindo no armazenamento de gases, água, nutrientes, etc (PANINI, 1997).

Ainda são poucos os estudos que analisam os efeitos temporais dos sistemas de preparo do solo. Silva (2011) observou que, os benefícios da escarificação foram ligeiramente perdidos em menos de 1 ano, chegando à conclusão que não seria necessário fazer a operação. Costa et al. (2003) verificaram que, o rendimento das culturas de soja e milho foi 42 e 22% superior em sistema de preparo direto, do que em preparo convencional. O manejo inapropriado pode levar a condições até mesmo inferiores à de um solo sem manejo (BRANDÃO et al., 2006).

O clima é um dos principais agentes que alteram os padrões das partículas no solo (COSTA et al., 2003). Na Amazônia as condições edafoclimáticas são diferentes das outras regiões do país. Não há estações do ano definidas, mas a ocorrência de clima quente e úmido, além de alto índice pluviométrico na maior parte do ano. Neste contexto, é importante verificar a rentabilidade do sistema de preparo convencional nos solos da região.

A compreensão das mudanças temporais causadas pelo preparo convencional é fundamental para o planejamento e manejo adequado do solo, isto porque haverá alterações nas propriedades físicas, hidráulicas e conseqüentemente na produção e nos custos da atividade agrícola (REICHERT et al., 2009). Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar a variação temporal da infiltração de água, densidade e porosidade em um Latossolo Amarelo submetido à operação de gradagem cruzada na Amazônia Oriental.

Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida em área da sede da Embrapa Amazônia Oriental, município de Belém, Estado do Pará ($1^{\circ}27'40''$ S e $48^{\circ}26'59''$ W) (Figura 1). Segundo o Anuário Estatístico do Município de Belém (2012), o clima é quente e úmido, com precipitação média anual de 2.834mm e temperatura média de 25°C em fevereiro e 26°C em novembro. Está localizada na zona climática Afi (Classificação de Köppen), com ausência de estação fria e temperatura do mês menos quente, acima de 18°C . Há a ocorrência de períodos mais chuvosos, de dezembro a maio, e outra menos chuvosa que vai de junho a novembro.

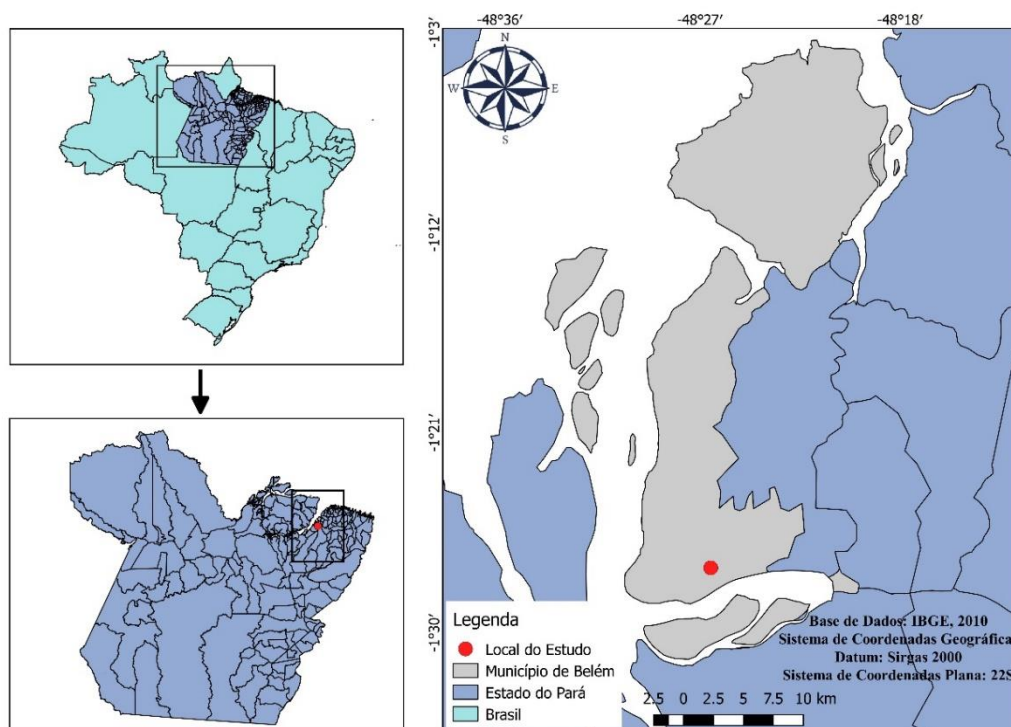


Figura 1: Localização da área experimental no município de Belém, estado do Pará.

Segundo Santos et al. (1983), o solo da área do estudo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, apresentando horizonte A moderado, textura média, relevo plano, com altitude de 12 metros, formado sobre sedimentos areno-argilosos do quaternário, pedregosidade ausente, erosão laminar ligeira e bem drenado. A composição granulométrica está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Granulometria de um Latossolo Amarelo Distrófico da sede Embrapa Amazônia Oriental

Prof. (cm)	Composição granulométrica (%)			
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila Total
0 – 12	60	21	7	12
20 – 30	53	22	9	16
30 – 53	52	21	7	18
53 – 85	54	21	8	19
85 – 140	55	20	6	19

Fonte: Santos et al. (1983).

A unidade experimental foi estabelecida em uma área de pousio com plantas perenes e de ciclo curto abandonada há mais de 10 anos e com predomínio de *Brachiaria* spp., com aproximadamente 10,5 km². Em junho de 2013 essa área foi submetida ao processo de gradagem cruzada superficial, atingindo cerca de 15 cm de profundidade, sendo efetuada em duas operações com cortes transversais. Após a gradagem o solo ficou descoberto e sujeito ao crescimento de plantas invasoras e às interferências climáticas durante todo o período de avaliação.

Os testes de infiltração e coleta de amostras indeformadas para análises de densidade do solo (DS) e porosidade total (PT), foram realizadas na área de pousio antes da operação de gradagem (T0) e posteriormente aos dois e cinco meses após a gradagem (T2 e T5 respectivamente). A gradagem e as avaliações nos tempos T2 e T5 foram realizadas no período considerado menos chuvoso na Amazônia, junho a novembro.

Para a avaliação da infiltração de água no solo, foram realizados testes de infiltração com quatro repetições para cada período de amostragem (T0, T2 e T3), assim como coleta de amostras indeformadas para obtenção da densidade do solo (DS) e porosidade total (PT) antes (T0), dois (T2) e cinco meses (T5) após a operação de gradagem.

Para as análises de DS e PT, foram realizadas coletas de amostras indeformadas utilizando-se anéis volumétricos de aço nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm em dez repetições por período amostral (T0, T2 e T5) e por profundidade, perfazendo 30 amostras por período, totalizando 90 amostras de solo. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural da Amazônia, no qual foi determinada a densidade do solo e porcentagem total de poros {TP=1- (DS/DP)}, considerando a densidade da partícula $2,65 \text{ g cm}^{-3}$, a qual é recomendada para solos minerais (REICHARDT, 1987).

A infiltração de água do solo foi determinada pelo método dos anéis concêntricos, composto por um anel metálico maior, com 50 cm de diâmetro e 20 cm de altura e um anel menor, com 25 cm de diâmetro e 20 cm de altura, cravados ao solo de maneira concêntrica. Foi utilizada uma régua graduada em 10 cm e a reposição da água foi feita quando o nível de água nos anéis chegou próximo dos cinco cm de altura. Quando o valor da leitura repetiu ao menos três vezes, a velocidade de infiltração foi tida como constante, atingindo-se a velocidade de infiltração básica (VIB), e o teste encerrado.

Com os dados de infiltração foi determinada a infiltração acumulada (IA), a qual corresponde à função entre a lâmina de água infiltrada acumulada no solo em função do tempo acumulado. Com os dados de IA foram obtidos os parâmetros (k, a) da equação de regressão não linear proposto por Kostiakov (Eq.1).

$$IA = k T^a \quad (\text{Eq.1})$$

Derivando-se a infiltração pelo tempo (Eq.1), obteve-se equação da velocidade de infiltração de água no solo (Eq.2).

$$VI = k a T^{a-1} \quad (\text{Eq.2})$$

A análise estatística dos dados de DS e TP, de IA e VIB de cada repetição foram submetidas à análise de variância com a aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação das médias obtidas.

Resultados e Discussão

Os valores de DS e PT variaram significativamente ao longo do período de avaliação na camada 0-0,01 m (Tabela 2) do solo. A DS que é de $1,29 \text{ g cm}^{-3}$ no T0 foi reduzida para $1,17 \text{ g cm}^{-3}$ no T2, enquanto que os valores de PT de 51,14% em T0 passaram para 56% em T2, o que era esperado devido ao revolvimento do solo, o qual promove a redução da densidade e aumento da porosidade total do solo.

Tabela 2. Valores de densidade do solo (DS) e porosidade total (PT) de um Latossolo Amarelo Distrófico antes (T0), dois meses (T2) e cinco meses (T5) após a operação de gradagem

Tratamento	DS (g cm^{-3})			PT (%)		
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
T0	1,29 A	1,43 B	1,44 B	51,14 B	45,20 A	45,70 A
T2	1,17 B	1,42 B	1,50 AB	56,00 A	45,60 A	43,43 AB
T5	1,20 AB	1,65 A	1,57 A	54,80 B	38,64 B	40,91 B

Os resultados demonstram que, cinco meses após a gradagem (T5) na camada 0-10 cm, os valores de DS e PT não se diferenciam dos obtidos antes da calagem (T0). Isso indica que o efeito da gradagem sobre esses dois atributos físicos não se perpetua por mais que cinco meses após a operação de preparo do solo.

Não houve diferença significativa entre T0, T2 e T5 na camada 10-20 cm para DS e PT, tendo em vista que, a operação e gradagem cruzada foi realizada em cerca de 15 cm de profundidade. Na camada 20-40 cm, o aumento no valor da DS e redução da PT de T0 para T2 apresenta como não significativo. Porém cinco meses após a gradagem (T5), os valores de DS e PT aumentaram significativamente em relação a T0, passando a valores de 1,57 g cm³ e 40,91%, respectivamente.

Os resultados obtidos sugerem que, o preparo do solo promove movimento de partículas das camadas superiores para a inferior, causando adensamento por obstrução de poros por partículas sólidas iluviadas (CARVALHO, 1976; 1999). A instabilidade e a movimentação de partículas individualizadas contribuem para a vedação de camadas com o entupimento dos poros e a consequente formação de selos, sendo a intensidade das chuvas um dos principais responsáveis por estas alterações no solo (PANINI et al., 1997).

O entupimento de poros por partículas iluviadas provoca restrições à infiltração de água no solo. Na Figura 2 observa-se as curvas de infiltração acumulada (IA) com suas respectivas equações de ajustes dos dados, e Na Tabela 3 observa-se os valores médios da VIB. As curvas de IA expressam as alterações na permeabilidade do solo promovidas pela operação de gradagem. Através da análise das curvas de IA (Tabela 4), constata-se a ocorrência de diferenças significativas entre os três tratamentos (T0, T2 e T5).

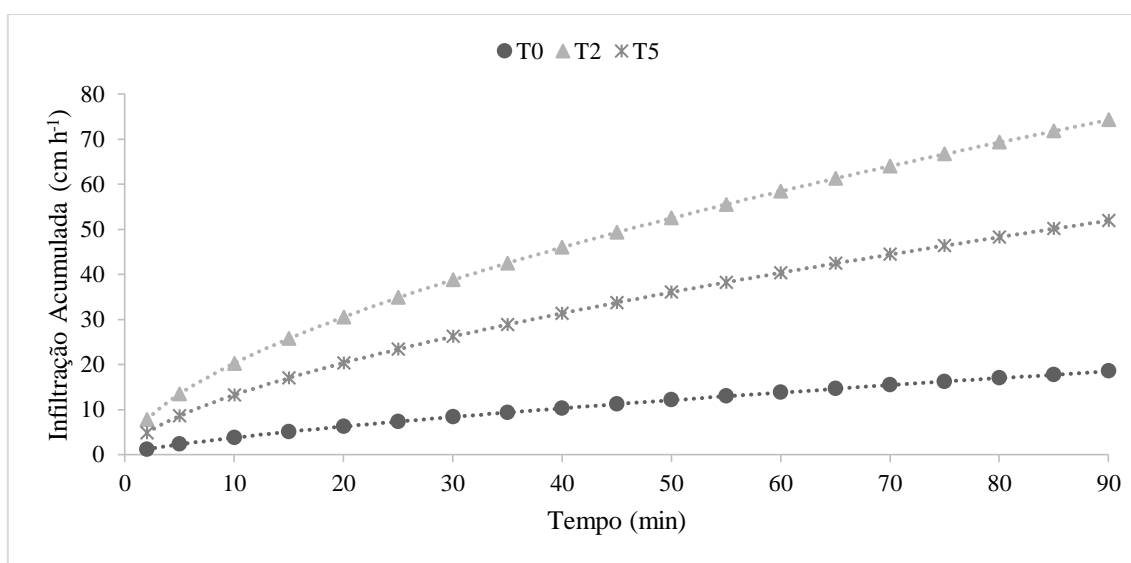


Figura 2. Infiltração Acumulada de água no solo (cm) em função do tempo de avaliação, com suas respectivas equações de ajustes.

Tabela 3. Valores médios da Velocidade de Infiltração Básica (VIB), equação de ajuste da infiltração Acumulada e Coeficiente de Determinação (R²)

	VIB (cm h ⁻¹)	Infiltração Acumulada	R ²
T0	78,80 C	IA (T0) = 0,7209 T ^{0,7211}	0,9876
T2	222,26 A	IA (T2) = 5,1971 T ^{0,591}	0,9803
T5	172,75 B	IA (T5) = 3,1586 T ^{0,6222}	0,9938

Tabela 4. Valores médios da Infiltração Acumulada nos tempos 8, 25, 60, 100 e 130 minutos

Tratamentos	Tempo (min)				
	8	25	60	100	130
T0	2,85 C	7,15 C	13,58 C	20,30 C	24,33 C
T2	18,42 A	40,28 A	62,20 A	78,58 A	86,73 A
T5	11,5 B	21,18 B	42,43 B	56,30 B	62,70 B

Em T0, a infiltração estimada nos primeiros 2 minutos de teste é de 1,19 cm. Ao final do teste a IA apresenta cerca de 25,3 cm de água em 148 minutos e a VIB de 77,4 mm h⁻¹.

No T2, a infiltração de água no solo estimada nos primeiros 2 minutos é de 7,8 cm. Ao final do teste a IA apresenta cerca de 96,3 cm de água em 189 minutos e a VIB de 215,99 mm h⁻¹. Este aumento considerável na taxa de infiltração de água no solo em T2 era esperado, tendo em vista que, a gradagem

promove a redução da densidade e aumento da porosidade total do solo, causa este aumento fluxo hidráulico no solo, quando comparado com T0 (Figura 2).

No T5 a infiltração de água no solo estimada nos primeiros dois minutos é de 4,9 cm. Ao final do teste a IA apresenta cerca de 71,3 cm de água em 169 minutos, e a VIB de 169,8 mm h⁻¹. Todas as VIBs são consideradas muito altas segundo a classificação de Mantovani et al. (2009).

A redução da PT e o aumento da DS, observadas na camada 20-40 cm no T5, tem como consequência a redução da infiltração de água no solo. As diferenças da IA e VIB entre T2 e T5 podem ter ocorrido devido à influência dos fatores edafoclimáticos somados à instabilidade estrutural do solo promovidos pela operação de gradagem, já que na camada 20-40 cm de profundidade há um aumento considerável da DS e redução significativa da PT em T5 quando comparados com T0. Estes resultados evidenciam que abaixo da camada em que houve o preparo convencional, as propriedades físicas apresentam comportamento inverso ao da superfície.

Segundo Mermut et al. (1995), a maior taxa de infiltração somada à alta intensidade de chuva contribuem para um movimento maior das partículas e rápida formação de selos. Panini et al. (1997) observaram que a redução da infiltração de água no solo foi mais acentuada em uma terra cultivada nua, e foi atribuído à redução do tamanho dos poros alongados na camada superior.

Conclusão

A gradagem promoveu aumento da infiltração de água no solo e da porosidade total, bem como a redução da densidade do solo em superfície dois meses após a operação. No entanto, estes importantes benefícios foram perdidos em menos de cinco meses, indicando que os efeitos da operação de gradagem não se perpetuaram no tempo.

Referências Bibliográficas

- ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; NOVOTNY, E. H. Manejo do solo: preparo convencional do solo. Embrapa Milho e Sorgo. Versão Eletrônica. 2ª Edição, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35332/1/Preparo-convencional.pdf>. Acesso em: 04 de janeiro de 2019.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. Implantação de povoamentos florestais com espécies do Gênero Eucalyptus. IPEF, Circular Técnica Nº 60, 1979. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr060.pdf>. Acesso em: 04 de janeiro de 2019.
- BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. Infiltração da água no solo. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120p.
- CARVALHO, M. C. S. Práticas de recuperação de uma pastagem degradada e seus impactos em atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo. 103f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1999.
- CARVALHO, S. R. Influência de dois sistemas de manejo de pastagens na compactação de uma terra roxa estruturada. 89f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1976.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.27, n.3, 2003.
- HU, W.; SHAO, M.G.; WANG, Q.J.; FAN, J.; HORTON, R. Temporal changes of soil hydraulic properties under different land uses. Geoderma, v.149, p.355–366, 2009.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 3 ed. Viçosa: UFV, 2009. 355p.
- MARK, W. S.; TIMOTHY, R. G.; JAME, S C. A. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the Science. Soil & Tillage Research, v.99, p.4–48, 2008.
- MERMUT, A. R.; LUK, S.H.; RIJMKENS, M. J. M.; POESEN, J. W. A. Micromorphological and mineralogical components of surface sealing in loess soils from different geographic regions. Geoderma, v.66, p.71-84, 1995.
- PANINI, T.; TORRI, D.; PELLEGRINI, S.; PAGLIAI M.; SANCHIS, M. P. S. A theoretical approach to soil porosity and sealing development using simulated rainstorms. Catena, v.31, p.199-218, 1997.
- REICHARDT, K. A água nos sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

REICHERT, J. M.; KAISER, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.3, 2009.

SANTOS, P. C. T. C.; VIEIRA, L. S.; VIEIRA, M. N. F.; CARDOSO, A. Os solos da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Belém: FCAP. Informe Didático 5, 1983. 60p.

SILVA, S. G. G. Variação temporal da densidade do solo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2011.

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA FARINHA DE BETERRABA EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva¹
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro²
Newton Carlos Santos³
Sâmela Leal Barros⁴
Amanda Priscila Silva Nascimento⁵
Raphael Lucas Jacinto Almeida⁶

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/Campus Campina Grande - PB, virginia.mirtes2015@gmail.com

²Mestrando em Ciências Agrárias (Agroecologia) da Universidade Federal da Paraíba, UFPB/Campus III Bananeiras – PB, victor_herbert@hotmail.com

^{3,4,5}Mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEA/Campus Campina Grande – PB, newtonquimicoindustrial@gmail.com; samelaleal7@gmail.com; amandapricila@yahoo.com.br

⁶Mestrando em Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, raphaelqindustrial@gmail.com

Introdução

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é originária da Europa, pertencente à família *Cheopodiaceae*. Existem diferentes espécies, sendo apenas cultivadas em determinadas partes do mundo, devido às condições ambientais dessas áreas (CFIA, 2012). A produtividade média da beterraba é de 30 a 40 toneladas por hectare, sendo, no Brasil, os maiores produtores os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, onde se encontram 42% das propriedades produtoras (GRANGEIRO et al., 2007).

A beterraba de mesa ou hortícola (*Beta vulgaris* L. var. *crassa* (Alef.) J. Helm) destaca-se, dentre as hortaliças, por sua composição nutricional, sobretudo em açúcares, e pelas formas de consumo da raiz tuberosa, além das folhas (AQUINO et al., 2006). A beterraba é uma importante espécie olerícola, que apresenta as raízes como o mais importante produto comercial. Nos últimos dez anos pode-se observar um aumento crescente na procura por esta hortaliça, tanto para utilização nas indústrias de conservas e alimentos infantis, como para consumo in natura (SOUZA et al., 2003).

Além da grande quantidade de açúcares, a beterraba destaca-se pelos teores de sais minerais e vitaminas A, B1, B2 e C, além do alto valor nutricional e conteúdo de vitaminas e minerais, como K, Na, Fe, Cu e Zn (FERREIRA & TIVELLI, 1990). Ela se destaca como uma das hortaliças mais ricas em ferro, tanto nas raízes quanto nas folhas. A coloração característica é resultante de pigmentos denominados betalaínas, os quais são semelhantes às antocianinas e flavonóides (BRAGA, 1981).

Esta substância é um ótimo antioxidante natural, que age contra o envelhecimento celular e reduz o risco de alguns tipos de câncer (KLUGE et al., 2006). As betalaínas são pigmentos solúveis em água importantes na dieta humana por agirem como antioxidantes, no combate aos radicais livres e na proteção contra algumas doenças relacionadas ao stress oxidativo (KANNER et al., 2001; STRACK et al., 2003).

Pesquisas indicam que, o consumo de vegetais previne uma série de doenças, entre elas as ligadas ao coração e alguns tipos de cânceres (PITALUA et al., 2010). As betalaínas são encontradas principalmente na ordem de vegetais *Centrospermeae*, a qual pertence à beterraba (*Beta vulgaris*) que constitui excelente fonte de pigmentos, e em algumas variedades contêm valores superiores a 200 mg por 100g do produto fresco, o que representa conteúdo de sólidos solúveis superior a 2% (HENRY, 1996).

As betalaínas, pigmento da beterraba, é totalmente instável em determinadas faixas de pH, atividade de água, temperatura e na presença e ausência de luz. Por isso controlar estes parâmetros, tanto in natura, quanto processada, é extremamente importante (DRUNKLER et al., 2004).

Devido a perecibilidade deste tipo de alimento, deve-se utilizar algum tipo de processamento para que o mesmo tenha uma maior vida útil. Uma das formas de minimizar a perda de alimentos

perecíveis é através da secagem do alimento, que consiste num processo de retirada do máximo de água contida no produto visando preservar a sua qualidade (PALACIN et al., 2005). A forma de farinha constitui boa opção tecnológica de aproveitamento da matéria-prima e como fonte nutricional para possíveis formulações de produtos alimentícios (CAPELLA et al., 2009).

Neste sentido, a produção da farinha de vegetais, através da secagem, pode ser uma alternativa para o reaproveitamento do vegetal não conforme e para a agregação de valor comercial ao produto (ENGEL et al., 2016). Considera-se como farinha, o produto obtido pela moagem da parte comestível de vegetais, podendo sofrer previamente processos tecnológicos adequados. Para ser considerada farinha, o produto deve apresentar uma umidade inferior ao teor de 15% (ANVISA, 1978).

A eliminação da umidade por processos de secagem permite a redução de peso e, geralmente, também é acompanhada de diminuição de volume, fato que incide na redução dos custos de transporte, embalagem e armazenamento de produtos desidratados, sendo estes fatores de estímulo para a sua produção e sua comercialização (FELLOWS, 1994).

Após a desidratação, é possível a obtenção de farinha depois de serem submetidos a um processo de trituração ou moagem. A moagem e a trituração são operações unitárias de redução de tamanho dos alimentos sólidos pela aplicação de forças de impacto, compressão ou abrasão (ARAÚJO FILHO et al., 2011).

Os parâmetros de controle podem variar de acordo com o processo, mas em geral a temperatura, tempo de secagem e a dimensão do alimento são fatores que influenciam em qualquer processo de secagem, pois exercem efeitos sobre a taxa de secagem, teor de umidade final e encolhimento do produto, características estas relacionadas com a preservação e qualidade do alimento (BORGES et al., 2008).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar os parâmetros físico-químicos de teores de umidade, sólidos totais, atividade de água, cinzas, proteínas, lipídeos e carboidratos da farinha de beterraba submetida a diferentes temperaturas de secagem, como também avaliar os efeitos da temperatura de secagem sobre esses mesmo parâmetros, a fim de agregar valor as farinhas de beterraba obtidas.

Material e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) e no Laboratório de Secagem (LS), ambos localizados no Centro de Recursos Naturais e Tecnologia (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – Paraíba.

As beterrabas foram adquiridas na feira de livre da cidade de Campina Grande-PB e foram transportadas para o laboratório (LEA), onde inicialmente foram lavadas em água clorada a 2,5% e enxaguadas com água corrente da rede de abastecimento. De forma manual as beterrabas foram descascadas com auxílio de facas domésticas e posteriormente cortadas em fatias de forma a facilitarem o processo de remoção de água.

As amostras foram colocadas em bandejas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina e submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação de ar com velocidade de 1,5 m/s, na temperatura de 50°C (T2), 60°C (T3) e 70°C (T4). Após desidratadas, as amostras foram trituradas em moinho de facas onde ficaram com texturas de farinha com granulometria irregular. Em seguida, empacotadas e armazenadas em embalagens laminadas e seladas a vácuo.

As beterrabas in natura (T1) e desidratadas (T2, T3 e T4) foram analisadas quanto aos teores de umidade, sólidos totais, atividade de água, cinzas e proteínas de acordo com BRASIL (2008). O teor de lipídeos foi realizado através do método de Folch et al. (1957).

Métodos analíticos

A análise do Teor de umidade e sólidos Totais foi realizada em estufa (marca TECNAL, modelo TE-393/2) pela técnica de secagem gravimétrica a 105°C, por 24 horas (BRASIL, 2008).

Atividade de Água (Aw) - a atividade de água foi determinada através de leitura direta da amostra na temperatura de 25°C, em higrômetro Aqua-Lab.

Teor de cinzas - quantificado por gravimetria após incineração em mufla (marca FORNETEC, modelo F1 - DM Monofásico) a 550°C. O método de baseia na perda de peso que ocorre quando o produto é incinerado a 550°C, com destruição da matéria orgânica (BRASIL, 2008).

Teor de proteínas - realizado através da quantidade de nitrogênio da amostra, por digestão *Kjeldahl*. As três etapas importantes para a determinação de proteínas são: digestão, onde a amostra é

submetida a altas temperaturas juntamente com a mistura catalítica em um digestor (marca TECNAL, modelo TE 007A); destilação realizada em destilador (marca TECNAL, modelo TE 007A) com Hidróxido de Sódio concentrado e por fim titulação, onde o nitrogênio é transformado em amônia, resultando em g de protídios e se aplicando um fator de 6,25 (BRASIL, 2008).

Teor de lipídeos - realizada empregando clorofórmio e metanol. As vantagens sobre a maioria dos métodos é que se consegue a extração e purificação dos lipídios, pela mistura de solventes (FOLCH et al., 1957).

Teor de carboidratos - O valor de carboidratos totais, incluindo fibras, foi obtido por diferença centesimal com a soma dos resultados encontrados em percentagem de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos, conforme apresentado na Equação (1) (BRASIL, 2008).

$$\text{Carboidratos totais (g/100g)} = 100 - [\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteínas} + \text{lipídeos}] \quad \text{Eq. [1]}$$

Análise estatística

Foi realizada para os dados experimentais em triplicata e os resultados foram submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e os resultados qualitativos significativos foram submetidos ao teste de *Tukey* adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas o software STATISTICA versão 10.

Resultados e Discussão

Na Figura 1 estão apresentados os dados referentes aos teores de umidade e sólidos totais para beterraba in natura (T1) e para as farinhas obtidas nos demais tratamentos (T2, T3 e T4).

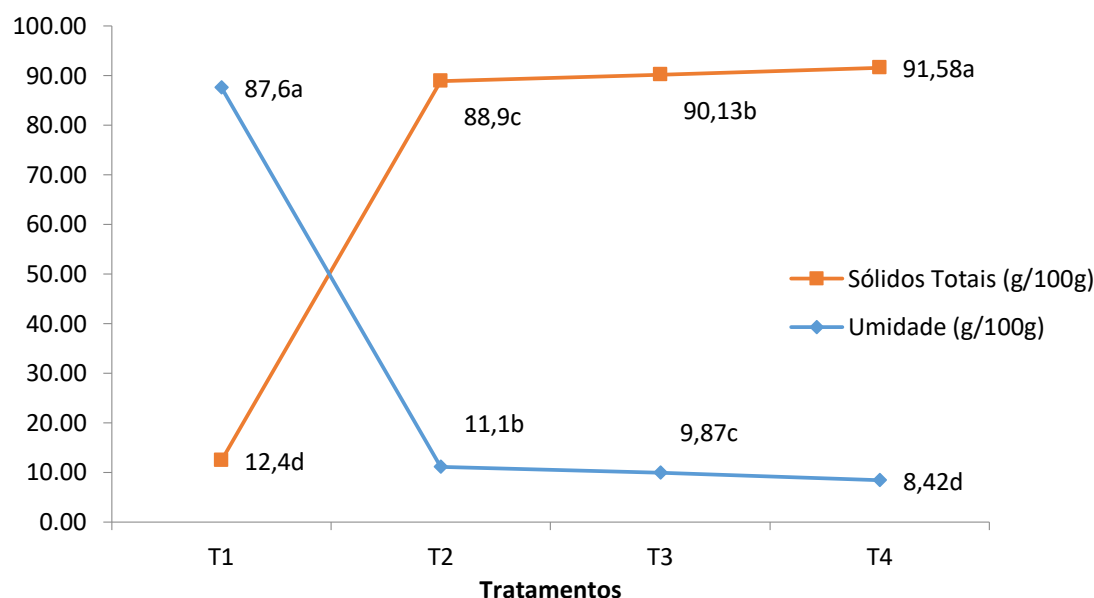


Figura 1. Valores obtidos para os teores de umidades e sólidos totais expressos em (g/100g) para os tratamentos (T1, T2, T3 e T4).

Para o teor de umidade o valor encontrado para ambas as farinhas se encontram dentro do valor máximo estipulado pela legislação (BRASIL, 2005) para farinhas, que é de 15,0 g/100g. Estatisticamente os tratamentos diferiram significativamente entre si, no qual houve uma diminuição do teor de umidade de 79,18g/100g entre o tratamento (T1) e (T4). O teor de umidade constatado é inversamente proporcional à temperatura aplicada, ou seja, quanto maior a temperatura de secagem menor o teor de umidade na farinha obtida.

Bassetto et al. (2011), ao analisarem a farinha de beterraba, desidratada na temperatura de 100°C, obtiveram teor de umidade de (3,72g/100g). Os resultados do presente trabalho estão próximos aos obtidos por Nunes et al. (2017) que obtiveram os seguintes teores de umidade para os resíduos de abacaxi após secagem 9,25g/100g (50°C), 7,12g/100g (60°C) e 5,41g/100g (70°C). Alcântara et al. (2012) ao obterem farinhas na temperatura de 55°C do pedúnculo de caju e da casca do maracujá, as mesmas apresentaram teor de umidade respectivamente de 14,73g/100g e 6,04g/100g. Em estudos,

Silva e Souza (2017), obtiveram uma umidade de 10,06% para farinha de resíduo de jamelão obtida por secagem a 60°C, temperatura está próxima a temperatura estudada no presente trabalho.

Verifica-se que, a quantidade de sólidos totais é maior quando utilizado temperaturas mais altas, tratamento (T4), apresentando 91,58g/100g. Tal crescimento é causado pela redução no teor de água, no entanto, todos os tratamentos avaliados apresentam diferença significativa entre si.

Os teores de umidade apresentam uma diferença mínima significativa de 0,378 e coeficiente de variação de 0,48% entre os tratamentos, no entanto, os teores de sólidos totais apresentam uma proximidade na diferença mínima significativa (0,3705), visto que estes dois parâmetros apresentam uma correlação. Estatisticamente o teor de sólidos totais apresenta coeficiente de variação inferior sendo este de 0,20%.

Na Figura 2 estão apresentados os dados referentes a atividade de água para beterraba in natura (T1) e para as farinhas obtidas nos demais tratamentos (T2, T3 e T4).

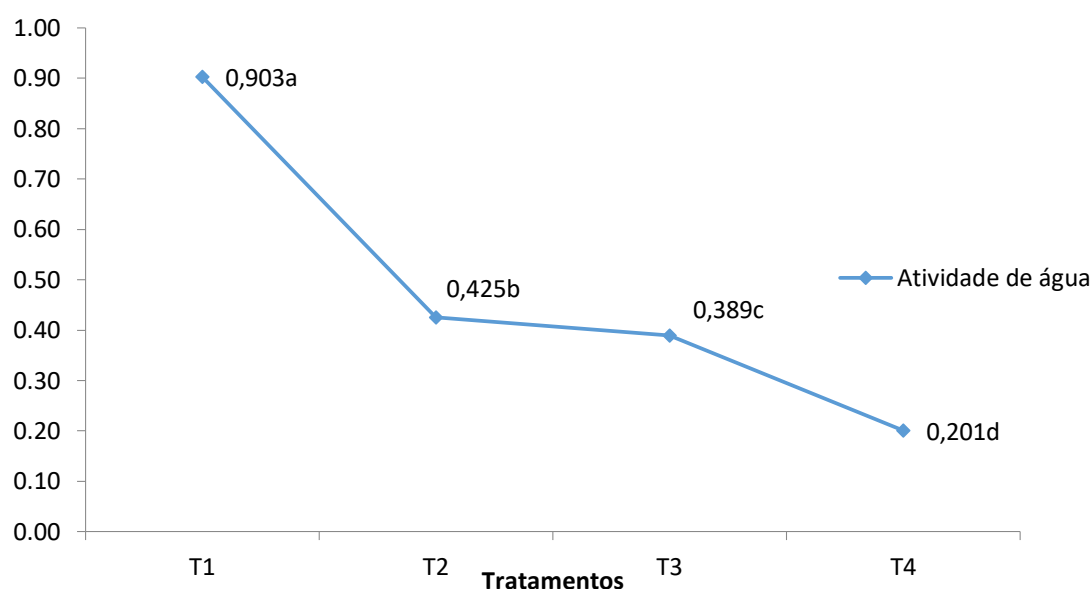


Figura 2. Valores obtidos para atividade de água dos tratamentos (T1, T2, T3 e T4).

A atividade de água é uma das principais propriedades quando se considera as etapas de processamento, conservação e armazenamento de alimentos. Para assegurar o tempo de conservação e garantir qualidade é preciso ter conhecimento da atividade de água do produto desidratado. Oliveira (2012) classifica como produtos de umidade intermediária aqueles que apresentam atividade de água entre 0,6 e 0,85 e produtos com baixa umidade são aqueles que apresentam valores de atividade de água até 0,6.

Sendo assim, pode-se classificar a beterraba in natura como de alta umidade, pois apresenta atividade de água de 0,903, havendo diferença mínima significativa entre os tratamentos avaliados de 0,0205 com coeficiente de variação de 2,01%. Conforme observa-se na Figura 2, na medida em que se teve um aumento na temperatura, esta trouxe consigo uma redução na atividade de água, sendo assim classificando os tratamentos (T2, T3 e T4) como produtos de baixa umidade. A disponibilidade de água nos alimentos dá condições para o crescimento microbiano, e a ocorrência de reações químicas e enzimáticas (SILVA, 2017).

Na Figura 3 estão apresentados os dados referentes ao teor de cinzas para beterraba in natura (T1) e para as farinhas obtidas nos demais tratamentos (T2, T3 e T4).

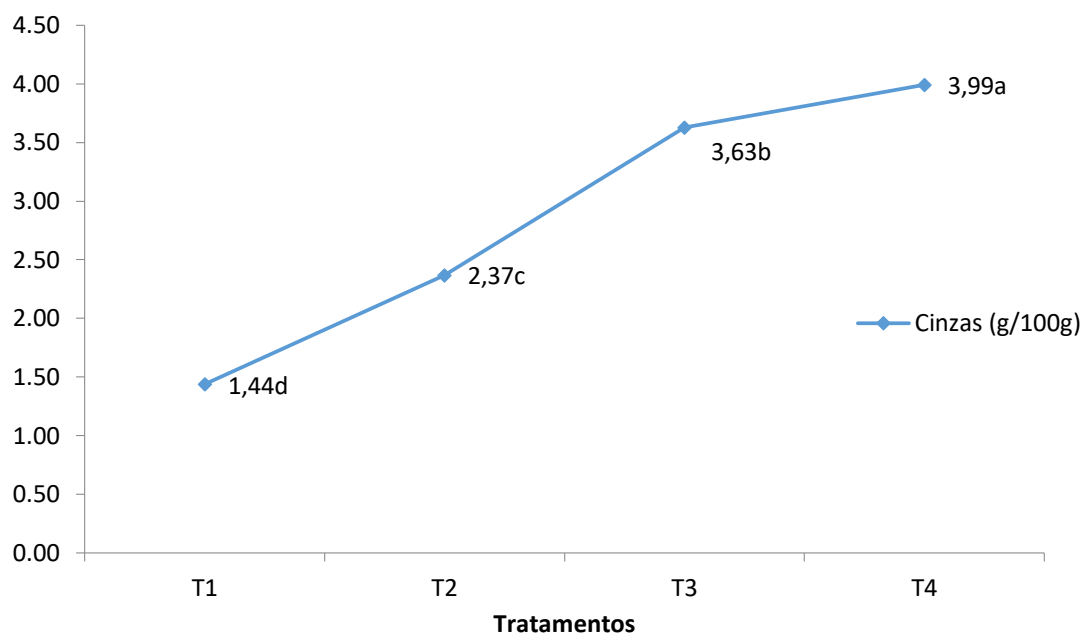


Figura 3. Valores obtidos para o teor de cinzas expressos em (g/100g) para os tratamentos (T1, T2, T3 e T4).

Observa-se que o aumento do teor de cinzas é proporcional à temperatura, onde a amostra que foi submetida a uma temperatura mais elevada no processo, apresentando um maior teor de cinzas de 3,99g/100g, enquanto a amostra que foi exposta a uma temperatura mais branda apresenta 2,37g/100g de cinzas.

Moreno (2016), em seus estudos com farinha dos resíduos de manga obteve um teor de cinzas de 3,42 g/100g valor próximo ao obtido no tratamento (T3) do presente estudo. Basetto et al. (2017) ao utilizarem a temperatura de 100°C para obtenção da farinha de beterraba a mesma apresenta teor de cinzas de 6,71g/100g. Borges et al. (2009) ao desidratarem a casca da banana verde na temperatura de 70°C obtiveram 2,59 g/100g.

Observa-se na Figura 3 que, entre a amostra *in natura* (T1) e o tratamento (T4) há um ganho de 2,55g/100g, com uma diferença mínima significativa de 0,292 entre as médias dos tratamentos para este parâmetro com coeficiente de variação de 3,91%. No entanto todos os tratamentos diferem entre si ao teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 4 estão apresentados os dados referentes ao teor de proteínas para beterraba *in natura* (T1) e para as farinhas obtidas nos demais tratamentos (T2, T3 e T4).

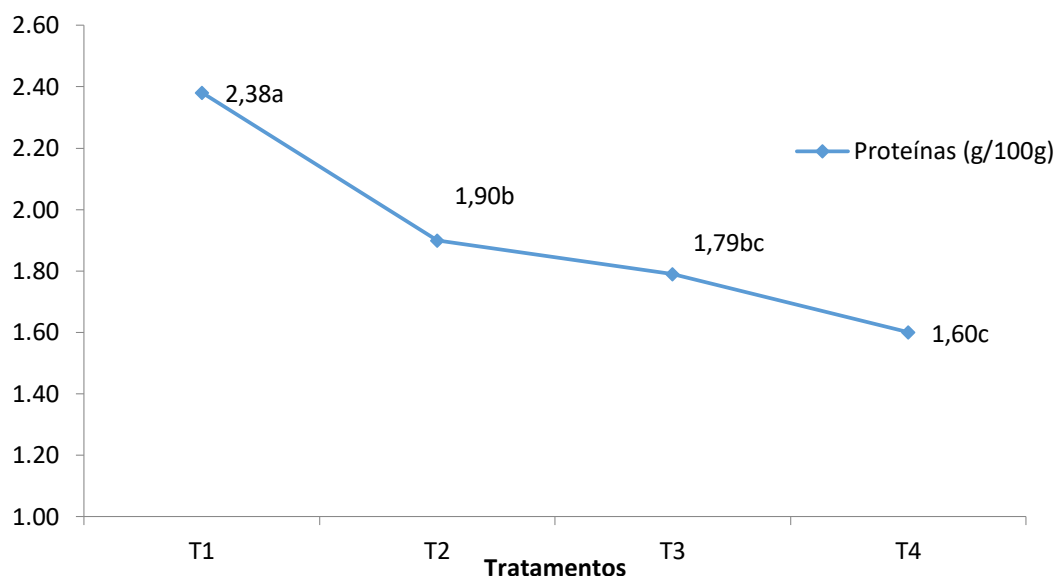


Figura 4. Valores obtidos para o teor de proteínas expressos em (g/100g) para os tratamentos (T1, T2, T3 e T4).

O teor de proteínas apresenta diferença significativa entre os tratamentos analisados. O tratamento (T4) apresenta o menor valor de proteínas (1,60 g/100g), fato este esperado, devido que, altas temperaturas provocam a degradação das proteínas. Os valores obtidos no presente trabalho são inferiores aos obtidos por Garmus et al. (2009) na farinha da casca da batata inglesa (2,5 g/100g) e superiores aos obtidos por Silva e Souza (2017), para farinha da casca de jamelão (0,80 g/100g). Para este mesmo parâmetro há uma diferença mínima significativa de 0,238 com coeficiente de variação 4,75% entre os tratamentos avaliados.

Na Figura 5 estão apresentados os dados referentes ao teor de lipídeos para beterraba in natura (T1) e para as farinhas obtidas nos demais tratamentos (T2, T3 e T4).

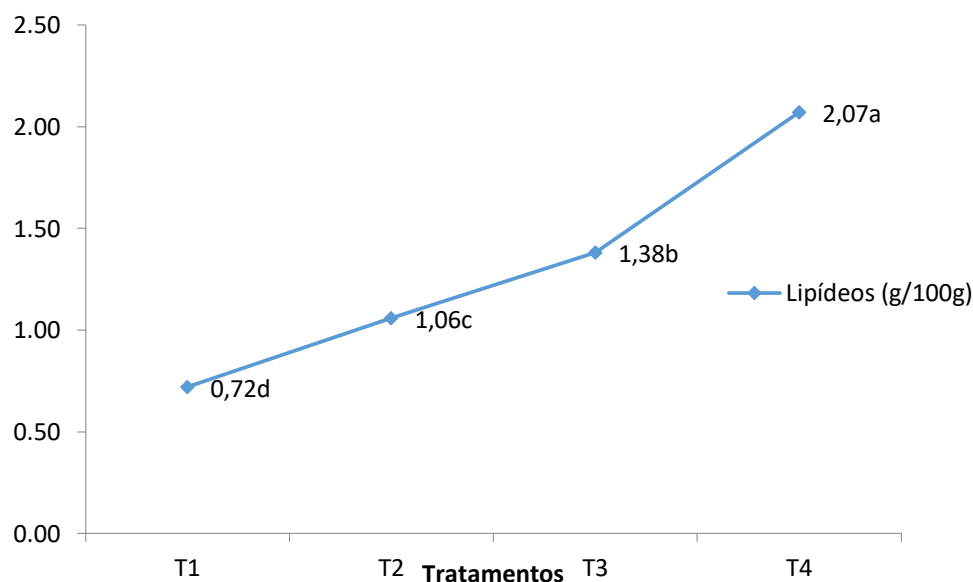


Figura 5. Valores obtidos para o teor de lipídeos expressos em (g/100g) para os tratamentos (T1, T2, T3 e T4).

Em relação ao teor lipídico, os tratamentos (T1, T2, T3 e T4) apresentam diferença mínima significativa de 0,264 com coeficiente de variação de 7,70%. À medida que se aumentou a temperatura de secagem houve um pequeno aumento do teor lipídico em até 1,35g/100g. Os valores obtidos no presente trabalho melhor se aproximam ao obtido para farinha de berinjela (1,85g/100g) por Scorsatto et al. (2017), e superior ao obtido para farinha de beterraba (0,36g/100g) por Croceti et al. (2016).

A determinação de lipídios torna-se importante, pois os lipídios desempenham papel importante na qualidade do alimento, contribuindo com atributos como textura, sabor e valor calórico (ALMEIDA et al., 2018).

Na Figura 6 estão apresentados os dados referentes ao teor de carboidratos para beterraba in natura (T1) e para as farinhas obtidas nos demais tratamentos (T2, T3 e T4).

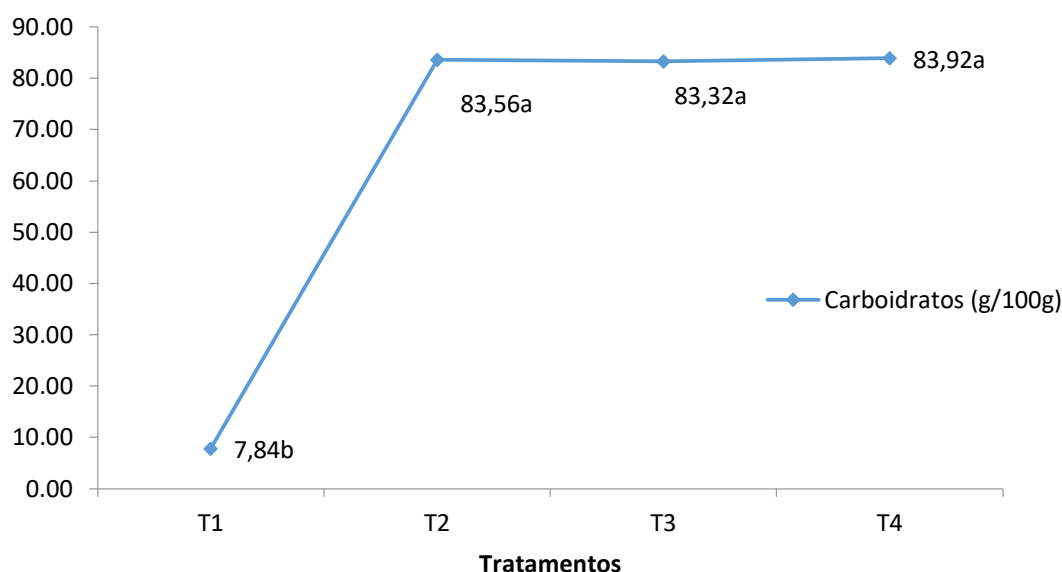


Figura 6. Valores obtidos para o teor de lipídeos expressos em (g/100g) para os tratamentos (T1, T2, T3 e T4).

Os resultados obtidos em relação ao teor de carboidrato totais são relativamente elevados, variando de 85,56g/100g (T2) a 83,92g/100g (T4), no qual, a análise de carboidratos totais está inclusa o teor de fibras totais, evidenciam que, a farinha da beterraba, é um pó com alto teor de fibras, não havendo diferença significativa entre os tratamentos (T2, T3 e T4), no entanto, quando comparado ao tratamento (T1), há uma diferença mínima significativa de 0,673 entre as médias dos tratamentos.

Basetto et al. (2011), ao fabricarem cookies elaborados com farinha de beterraba, concluíram que, a utilização da mesma, é uma alternativa viável, sendo rica fonte de antocianinas e poderoso antioxidante. Além dos cookies terem sido bem aceitos pelo público tornando uma excelente opção, pois agrega valor ao produto, além de manter as propriedades funcionais desejáveis.

Teixeira et al. (2017), ao elaborarem cookies adicionados de farinha da casca de beterraba, concluíram que, a adição de 18,75% de farinha de casca de beterraba em *cookies* proporcionou um aumento no aporte de cinzas e fibras, porém reduziu o teor de umidade, lipídios e calorias melhorando o perfil nutricional do produto.

Conclusão

A partir dos resultados apresentados pode-se concluir que, a caracterização físico-química das farinhas de beterraba atendeu a legislação em relação ao teor de umidade, fator que deve ser levado em consideração já que interfere na conservação do produto final.

As demais análises efetuadas também apresentaram valores propícios à viabilidade das farinhas, além de apresentarem valores semelhantes aos obtidos por outros autores ao trabalharem com vários subprodutos oriundos de frutas e vegetais.

Para o teor de sólidos totais, cinzas e de lipídeos houve um aumento quando se aplicou temperaturas mais altas.

Os resultados obtidos em relação ao teor de carboidrato totais foram relativamente elevados evidenciando que a farinha de beterraba é um pó com alto teor de fibras.

Foi perceptível que a farinha de beterraba é uma alternativa viável, podendo ser utilizada para o enriquecimento e desenvolvimento de novos produtos alimentícios.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de doutorado ao primeiro autor e a CAPES (À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado do segundo e demais autores.

Referências

- ALCÂNTARA, S. R.; SOUSA, C. A. B.; ALMEIDA, F. A. C.; GOMES, J. P. Caracterização físico-química das farinhas do pedúnculo do caju e da casca do maracujá. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.14, n. Especial, p.473-478, 2012.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; LUIZ, M. R.; PEREIRA, T. S. Viabilidade da adição do resíduo seco da casca de abacaxi para fabricação de cookie funcional. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 3, 2018, Campina Grande. Anais... Campina Grande, 2018.
- AQUINO, L. A.; PUIATTI, M.; PEREIRA, P. R. G.; PEREIRA, F. H. F.; LADEIRA, I. R.; CASTRO, M. R. S. Produtividade, qualidade e estado nutricional da beterraba de mesa em função de doses de nitrogênio. *Hortic. Bras.*, v.24, n.2, p.199-203, 2006.
- ARAÚJO FILHO, D. G.; EIDAM, T.; BARSOTO, A. V.; RAUPP, D. S. Processamento de produto farináceo a partir de beterrabas submetidas à secagem estacionária. *Acta Scientiarum. Agronomy*, n.2, v.33, p.207-214, 2011.
- BASETTO, R. Z.; SAMULAK, R.; MISUGI, C. T.; BARANA, A. C.; BIANCARDI, C. R. Flour of beetroot residue usage like feature for cookies manufacture. *Revista Techonoeng.* 3. ed. 2011.
- BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; LUCENA, E. M. P. Caracterização da farinha de banana verde. *Ciências e Tecnologia dos Alimentos*, v.29, n.2, p.333-339, 2009.
- BRAGA, C. S. Grande manual de agricultura, pecuária e receituário industrial. 4. ed. Porto Alegre: Globo, 1981.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº263, de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. Disponível em: <<https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MjIwMw%2C%2C>>. Acesso em: 14 ago. 2018.
- CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY. The Biology of *Beta Vulgaris* L. (*Sugar Beet*). Disponível em: <http://www.inspection.gc.ca/plants/plants-with-novel-traits/applicants/directive-94-08/biology-documents/beta-vulgaris-l-/eng/1330725373948/1330725437349>. Acesso em: 02/01/2019.
- CAPELLA, A. C. V.; PENTEADO, P. T. P. S.; BALBI, M. E. Semente de Araucária *Angustifolia*: aspectos morfológicos e composição química da farinha. *Boletim da CEPPA*, v.27, n.1, p.135-142 2009.
- CROCETI, A.; OGLEARI, C. H.; GOMES, G.; SARE, I.; CAMPOS, F. R.; BALBI, M. E. Determining the chemical composition based on two drying methods to beetroot (*beta vulgaris*, l. Família *aranthaceae*) flour production. *Visão Acadêmica*, v.17, n.4, 2016.
- ENGEL, B.; BACCAR, N. M.; MARQUARDT, L.; OLIVEIRA, M. S. R.; ROHLFES, A. L. B. Tecnologias de atomização e desidratação: alternativas para a produção de farinhas a partir de vegetais. *Revista Jovens Pesquisadores*, v. 6, n. 1, p. 31-44, 2016.
- FELLOWS, P. Tecnologia del processado de los alimentos: principios y prácticas. Traducido por F. J. S. Trepat. Zaragoza: Acribis, 1994. 549p.
- FERREIRA, M. D.; TIVELLI, S. W. Cultura da beterraba: Recomendações gerais. 3. ed. Guaxupé: COOXUPÉ, 1990. 14p. Boletim Técnico Olericultura, 2.
- FOLCH, J.; LESS, M.; STANLEY, S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, v.226, n.497, 1957.
- GARMUS, T. T.; BEZERRA, J. R. M. V.; RIGO, M.; CORDOVA, K. R. V. Elaboration of cookie with potato skin flour (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v.3, n.2, p.56-65, 2009.
- HENRY, B. S. Natural food colours. In: HENDRY, G. A. F.; HOUGHTON, J. D. (Ed.). Natural food colorants. 2. ed. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1996. p.40-79.
- IAD. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. 1ª ed. Digital, São Paulo, 2008. 1020p.
- KLUGE, R. A.; COSTA, C. A.; VITTI, M. C. D.; ONGARELLI, M. G.; JACOMINO, A. P.; MORETTI, C. L. Armazenamento refrigerado de beterraba minimamente processada em diferentes tipos de corte. *Ciência Rural*, v.36, n.1, p.263-270, 2006.
- GRANGEIRO L. C.; NEGREIROS, M. Z.; SOUZA, B. S.; AZEVÊDO, P. E.; OLIVEIRA, S. L.; MEDEIROS, M. P. Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. *Ciência Agrotec.*, v.31, n.2, 2007.

- KANNER, J.; HAREL, S.; GRANIT, R. Betalains - A New Class of Dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.49, n.11, p.5178-5185, 2001.
- MORENO, J. S. Obtenção, caracterização e aplicação de farinha de resíduos de frutas em cookies. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga – BA, 2016.
- NUNES, J. S.; LINS, A. D. F.; GOMES, J. P.; SILVA, W. P.; SILVA, F. B. Influência da temperatura de secagem nas propriedades físico-química de resíduos abacaxi. *Revista Agropecuária Técnica*, v.1, n.1, p.41-46, 2017.
- OLIVEIRA, G. S. Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cája em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2012.
- SCORSATTO, M.; PIMENTEL, A. C.; SILVA, A. J. R. SABALLY, K.; ROSA, G.; OLIVEIRA, G. M. M. Assessment of bioactive compounds, physicochemical composition, and in vitro antioxidant activity of eggplant flour. *International Journal of Cardiovascular Sciences*, v.30, n.3, p.235-242, 2017.
- SILVA, A. K. N.; BECKMAN, J. C.; DA CRUZ RODRIGUES, A. M.; DA SILVA, L. H. M. Composição nutricional e capacidade antioxidante da polpa de Açaí (*Euterpe oleracea* M.). *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v.11, n.1, p.2205-2216, 2017.
- SILVA, S. S.; SOUZA, S. M. A. Aproveitamento da casca e polpa de Jamelão (*Syzygium Cumini* Lamarck) para produção de farinha com potencial antioxidante para uso em barra de mel contendo derivados de mandioca e cereal. In: Seminário de Iniciação Científica, 21, 2017, Feira de Santana. Anais...Feira de Santana–BA, 2017.
- SOUZA, R. J. de; FONTANETTI, A.; FIORINI, C. V. A.; ALMEIDA, K. de. Cultura da beterraba: cultivo convencional e cultivo orgânico. Lavras: UFLA, 2003. 37p.
- STRACK, D.; VOGT, T.; SCHLIEMANN, W. Recent advances in betalain research. *Phytochemistry*, v.62, p.247-269, 2003.
- TEIXEIRA, F.; SANTOS, M. M. R.; CANDIDO, C. J. SANTOS, E. F.; NOVELLO, D. Cookies adicionados de farinha da casca de beterraba: análise físico-química e sensorial entre crianças. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v.15, n.1, p.472-488, 2017.
- USDA. United States Department of Agriculture Agricultural Research Service. National Nutrient Database for Standard Reference. Release 27, 2014. Disponível em: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>. Acesso em: 03/01/2019.

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA DO SOLO DO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA, BELÉM, PARÁ

Nilza Martins de Queiroz Xavier¹

Alberto Bentes Brasil Neto²

Arllen Élide Aguiar Paumgartten³

Josiane Martins de Queiroz Xavier Silveira⁴

^{1,2}Professores EBT, IFPA/Campus Óbidos, nilza.xavier@ifpa.edu.br; alberto.neto@ifpa.edu.br

³Professora EBT, IFPA/Campus Breves, arllen.aguiar@ifpa.edu.br

⁴Acadêmica em Licenciatura em Matemática, UFPA/Campus Castanhal, josianexv@gmail.com

Introdução

O Parque Estadual do Utinga (PEUt) abrange uma área de 1.393,088 ha e foi criado com o objetivo de proteger os mananciais de abastecimento de água da região metropolitana de Belém (PARÁ, 2013). Localizado em uma área urbana da capital paraense, o espaço tem como marca uma grande e é muito utilizado em atividades de educação Ambiental e ecoturismo como trilhas, passeios e caminhadas.

O parque é uma área de proteção integral, em que, conforme a Lei 6.902/81, que dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental, sendo, portanto, uma área representativa dos ecossistemas brasileiros, destinadas à realização de pesquisas básicas e aplicadas de Ecologia, à proteção do ambiente natural e ao desenvolvimento da educação conservacionista (PARÁ, 2013).

A problemática desta unidade de conservação é decorrente da ação e expansão histórica de atividades antrópicas ocorridas ao seu redor. Menezes et al. (2013) afirmam que, a ocupação desordenada nos arredores do PEUt e outras atividades relacionadas a pressão urbana, desencadeou processos de degradação do solo e poluição de seus cursos d'água. O desmatamento e a poluição são ameaças constantes para o abastecimento de água da região metropolitana de Belém, isso porque é real o perigo de assoreamento do lago e à conservação da biodiversidade do parque.

O monitoramento da cobertura do solo é um aspecto fundamental para o controle dos impactos ambientais promovidos por ações antrópicas ao redor do parque, possibilitando o aumento da eficiência na gestão da Unidade de Conservação do Utinga (BRASIL NETO et al., 2014). Porém, a grande extensão e a vulnerabilidade às pressões urbanas ao redor do parque, torna difícil um controle concreto e eficaz do mesmo, o que exige a adoção de novos métodos de controle do patrimônio. Estima-se que, cerca de 131.253 habitantes residem imediatamente ao entorno do PEUt (PARÁ, 2013).

Neste contexto, as técnicas de sensoriamento remoto têm sido bastante eficazes no monitoramento das alterações na cobertura dos solos, tendo como vantagem a rapidez, simplicidade e eficiência na obtenção de informações digitais. Outra grande vantagem é o monitoramento de áreas extensas com baixos custos, a qual torna a sua utilização uma ferramenta indispensável para controle de atividades que podem provocar algum dano para o parque do Utinga, como invasão irregular, desmatamento, despejo de lixo, etc.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise da dinâmica da cobertura vegetal e uso do solo no Parque Estadual do Utinga nos anos de 1984, 1999 e 2013 por meio do processamento digital de imagens.

Material e Métodos

O estudo foi realizado no Parque Estadual do Utinga (Figura 1), localizado entre os municípios de Belém e Ananindeua, estado do Pará, Brasil (1°27'40" S e 48°26'59" W). O clima do tipo Afi, de acordo com a classificação de Köppen, temperatura média de 25°C em fevereiro e 26°C em novembro e precipitação média anual de 2.834mm (FAPESPA, 2016).

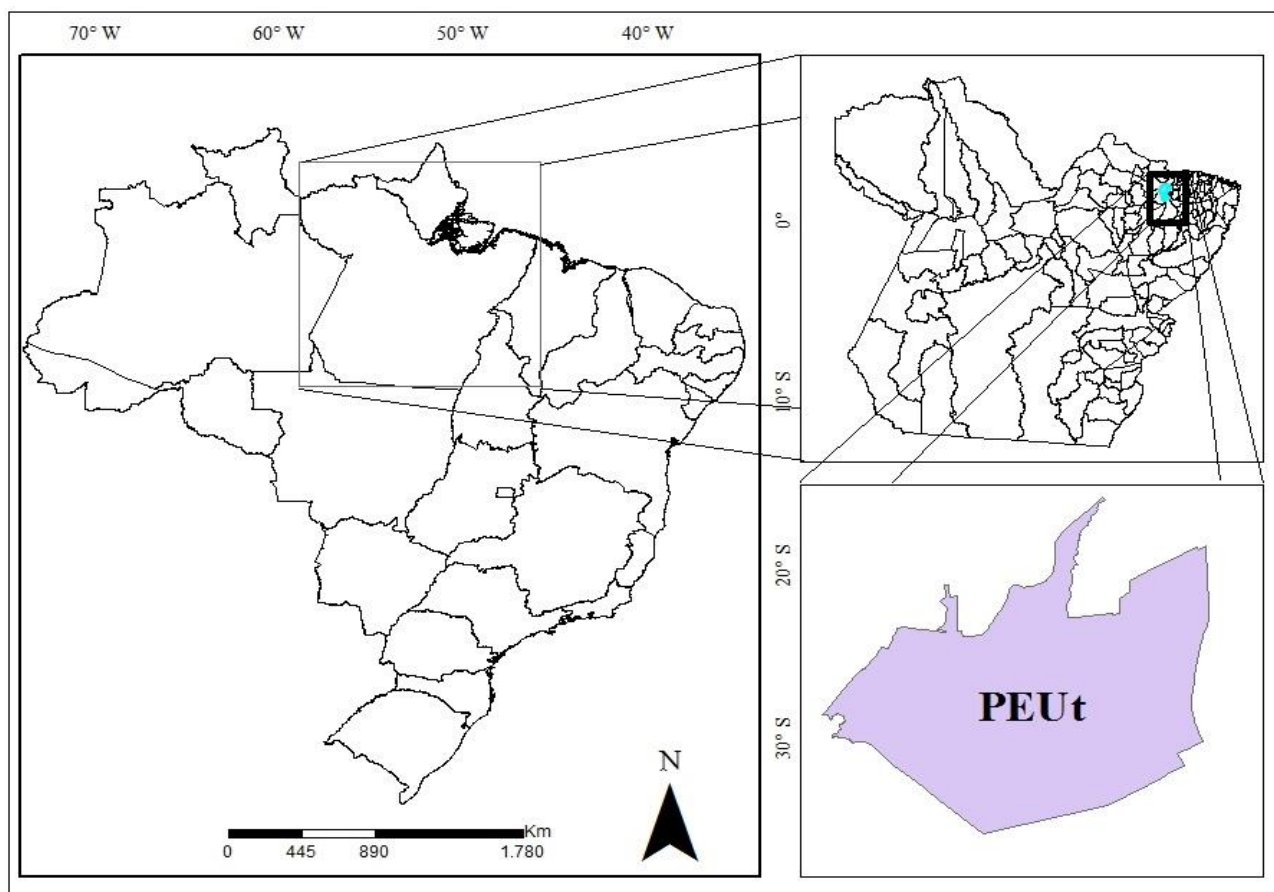


Figura 1. Localização do Parque Estadual do Utinga.

No Parque Estadual do Utinga há a ocorrência dos solos Latossolo Amarelo Distrófico de textura média; Plintossolo Pétrico concrecionário; Plintossolo Háplico de textura média e Gleissolo de textura argilosa a muito argilosa (PARÁ, 2013). A topografia do parque é plana a suave ondulada, constituída por tabuleiros, terraços e várzeas.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram adquiridas imagens orbitais do satélite LANDSAT-5 órbita/ponto 224/62; bandas 3, 4 e 5 (RGB) do sensor TM, resolução espacial de 30 metros dos anos 1984 e 1999, por meio do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. A imagem de 2013 foi oriunda do satélite LANDSAT 8 órbita/ponto 224/62, bandas 6-5-4 (RGB) do sensor Operacional Terra Imager (OLI), resolução especial de 30 metros, obtida no site Earth Explorer. Posteriormente as imagens foram submetidas ao recorte nas dimensões do Parque na etapa de pré-processamento das imagens, conforme as coordenadas descritas no Plano de Manejo do Parque do Utinga (PARÁ, 2013).

No que se refere à etapa de processamento das imagens, foi efetuada a classificação supervisionada pelo algoritmo da Máxima Verossimilhança e a determinação das classes de uso e cobertura do solo da seguinte forma: Vegetação densa – fragmento de Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme e de Várzea e fragmentos de florestas em estágio avançado de sucessão ecológica); Floresta secundária; Vegetação rasteira (herbáceas); Degradada/Antropizada (Construções e áreas com pavimentação asfáltica e solo exposto); macrófitas e Outras (corpos d’água e outros).

Posteriormente foi realizada a pós-classificação, por meio da computação da área ocupada por cada classe pré-determinada. O software utilizado no pré-processamento das imagens orbitais foi o ArcGis 9.3. Já a etapa de processamento foi realizada no software Environment for Visualizing Images (Envi) versão 4.5.

Resultados e Discussão

Os valores referentes à quantificação das classes temáticas: Floresta Densa, Capoeira, Vegetação Rasteira, Área degradada/Antropizada e Macrófitas, assim como a imagem de classificação da cobertura do solo do Parque Estadual do Utinga podem ser observados na Figura 2 e na Tabela 1, respectivamente.

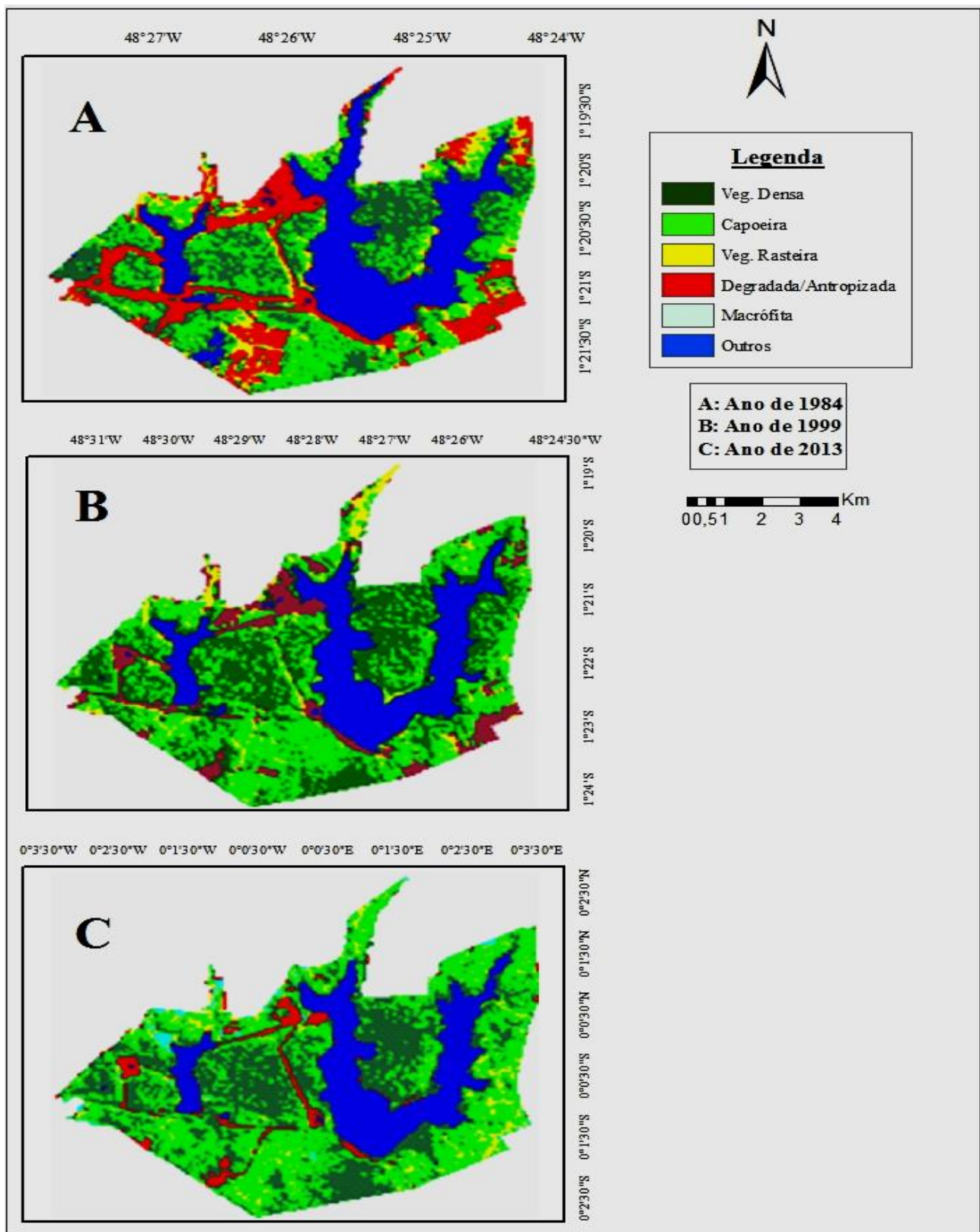


Figura 2. Mapa de classificação do Parque Estadual do Utinga (A) ano 1984, (B) ano 1999 e (C) ano de 2013.

A classe Floresta Densa apresenta 3,29 km² em 1984, aumentando para 4,36 km² e 4,48 km² em 1999 e 2013, respectivamente. No que se refere à classe capoeira, observa-se um aumento entre os anos de 1984 a 2013, sendo que, em 1984 a área total desta classe era de 3,51 km², passando para 4,65 e 5,52 km² nos anos de 1999 e 2013. Estes resultados evidenciam o aumento da regeneração natural nas florestas sob diferentes estágios sucessionais. De acordo com PARÁ (2013), as florestas secundárias encontradas no Parque Estadual do Utinga se encontram em avançado processo de recuperação. Ao

realizar um levantamento florístico da Floresta secundária do parque do Utinga. Rocha et al. (2012) observaram uma floresta com características de ambiente em sucessão.

Tabela 1. Quantificação das classes de vegetação do Parque Estadual do Utinga, Belém, Pará

Classes	1984		1999		2013	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Floresta Densa	3,30	23,7	4,36	31,3	4,48	32,2
Floresta Secundária	3,51	25,2	4,65	33,4	5,52	39,6
Veg. Rasteira	1,04	7,40	0,75	5,4	0,65	4,6
Degradada/Antropizada	2,70	19,4	1,36	9,8	0,60	4,4
Macrófitas	0	0	0	0	0,20	1,4
Outros	3,39	24,3	2,81	20,2	2,48	17,8

Para a vegetação rasteira, observa-se que há uma redução de 0,39 km² entre os anos de 1984 e 2013. No ano de 1984, o parque apresentava 1,04 km², aproximadamente 7,44% da área total, em virtude da ocorrência de atividades agropecuárias, a qual reduziu para 0,75 e 0,65 km² nos anos de 1999 e 2013, respectivamente. Isto pode ser atribuído ao processo de regeneração natural, na qual as áreas de vegetação rasteira dão lugar a florestas em estágio inicial de sucessão ecológicas (florestas secundárias).

Estas mudanças ocorridas na vegetação devem ao fato que, o parque do Utinga passou a ser uma unidade de proteção integral com o Decreto Estadual Nº 1.330/2008, o qual não pode ser habitado pelo homem e nem ser utilizado para uso direto, como atividades agrícolas. Portanto, quaisquer atividades que promova alguma ameaça à biodiversidade do parque, é proibida por lei. O aumento das classes de vegetação densa e capoeira, somado à redução da vegetação rasteira pode estar relacionada com a maior vigor da legislação no intuito de proteger os mananciais de abastecimento da região metropolitana de Belém.

Porém, a situação do Parque Estadual do Utinga é especialmente preocupante em virtude de sua grande vulnerabilidade mediante à pressão urbana, especialmente no caso de mananciais sujeitos ao lançamento de esgotos advindos de diversos pontos da cidade. Somado a isso, historicamente uma série de atividades econômicas ocasionaram uma grande devastação ambiental, resultando em diversos pontos com ocorrência de áreas muito degradadas (BORDALO, 2006).

Observa-se que, em 1984, a extensão de áreas com indícios de degradação ou ação de atividades antrópicas, como moradias, pistas, solo exposto, etc., apresenta 2,7 km², cerca de 19,38% da área total do parque. No entanto, há uma boa redução destas áreas ao longo dos anos, 1,39 e 0,6 km² em 1999 e 2013. Observa-se que há ocorrência de locais que necessitam de intervenção, principalmente visando a recuperação de áreas degradadas. De acordo com PARÁ (2013), cerca de 1,3% da área do Parque Estadual do Utinga encontra-se em avançado estágio de degradação e ocorrem principalmente às margens dos Lagos Bolonha e Água Preta.

No ano de 2013 foi observada uma nova classe no parque do Utinga: as macrófitas, ocupando cerca de 0,2 km², cerca de 1,43% da área total do Parque Estadual do Utinga. Estes resultados são indicadores de degradação ambiental nos mananciais de abastecimento (MENEZES et al., 2013). É importante considerar que uma grande limpeza de Macrófitas foi realizada no Lago Bolonha no período próximo à coleta da imagem do ano de 2013, na qual foi retirada cerca de 70% do total das macrófitas. Segundo COSAMPA (2013), ao final da operação foram retirados cerca de 371.000 e 1.200 m² de vegetação aquática dos lagos Bolonha e Água Preta, respectivamente, ou seja, grande parte dos mananciais estavam cobertos por macrófitas antes do período de obtenção da imagem do ano de 2013, o que indica a grande quantidade de poluentes, principalmente esgoto, nos lagos que abastece grande parte da região Metropolitana de Belém.

Conclusão

O aumento das classes Floresta Densa e Capoeira indicaram o aumento da regeneração natural e estabelecimento de uma floresta secundária densa ao longo de aproximadamente duas décadas. Grande parte dos mananciais estavam cobertos por macrófitas no ano de 2013.

Referências Bibliográficas

- BENTES, A. L. S.; BRASIL NETO, A. B. B.; ANDRADE, P. C.; BRAGA, A. N.; PERES, V. C.; SANTOS JÚNIOR, R. A. T.; FRANCO, M. J. B.; SANTOS, A. B. S. Dinâmica do uso do solo na ilha de Caratateua, Belém, Pará. *Agroecossistemas*, v.9, n.2, p.360-369, 2017.
- BORDALO, C. A. L. O desafio das águas numa metrópole Amazônica: uma reflexão das políticas de proteção dos mananciais da Região Metropolitana de Belém-PA (1984-2004). Tese (Doutorado). Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido. Universidade Federal do Pará. Belém, 2006.
- BRASIL NETO, A. B.; PAUMGARTTEN, A. E. A.; BRAGA, A. N.; MACIEL, M. N. M.; SILVA, P. T. E. Dinâmica da cobertura vegetal e uso do solo no entorno do Parque Estadual do Utinga (PEUt), Belém-PA. *Enciclopédia Biosfera*, v.10, p.2120-2128, 2014.
- COSANPA. Companhia de Saneamento do Estado do Pará. COSANPA encerra a limpeza dos Lagos Bolonha e Água Preta. 2013. Disponível em: <http://www.aesbe.org.br/conteudo/9124>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2014.
- FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. Estatísticas Municipais Paraenses: Belém. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. Belém, 2016. Disponível em: <http://www.fapespa.pa.gov.br/upload/Arquivo/anexo/1008.pdf?id=1473720676>. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.
- GOMES, D. D. M.; MENDES, L. M. S.; MEDEIROS, C. N.; VERÍSSIMO, C. U. V. Análise multitemporal do processo de degradação da vegetação da bacia hidrográfica do rio Jaibaras no estado do Ceará. *Geografia, Ensino e Pesquisa*, v.15, n.2, p.41-61, 2011.
- IMAZON. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Relatório de atividades 2001-2002. Belém: Imazon, 2003. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/relatorio-de-atividades-2003-2004>. Acesso em: 13 de janeiro de 2019.
- MENEZES, L. B. C.; CARVALHO, E. A. DE; NUÑEZ, Y. T.; BRITO, L. B.; SEMBER, N. B. G.; VASCONCELOS, E. F. Parques urbanos de Belém (PA): situação atual e problemáticas socioambientais. *Revista Ciência e Tecnologia*, v.1, n.1, 2013.
- PARÁ. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Revisão do Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Belém: SEMA: Belém: Imazon, 2013.
- ROCHA, N. C. V.; ALVEZ, M. N. C. B.; MOURA, Q. L.; SOUZA, A. P. S.; ROCHA, M. M. B. Levantamento florístico de floresta tropical secundária na área do Parque Ambiental do Utinga, Belém-PA. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.14, p.1299-1309, 2012.
- SODRÉ, S. S. V. Hidroquímica dos lagos Bolonha e Água Preta mananciais de Belém/Pará. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Instituto de Geociências. Museu Paraense Emílio Goeldi, EMBRAPA. Universidade Federal do Pará. Belém, 2007.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE POLPAS DE CUPUAÇU E GRAVIOLA

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva¹
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro²
Newton Carlos Santos³
Sâmela Leal Barros⁴
Amanda Priscila Silva Nascimento⁵
Raphael Lucas Jacinto Almeida⁶

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/Campus Campina Grande-PB, virginia.mirtes2015@gmail.com

² Mestrando em Ciências Agrárias (Agroecologia) da Universidade Federal da Paraíba, UFPB/Campus III Bananeiras-PB, victor_herbert_cg@hotmail.com

^{3,4,5}Mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEA/Campus Campina Grande-PB, newtonquimicoindustrial@gmail.com; samelaleal7@gmail.com; amandapricila@yahoo.com.br

⁶Mestrando em Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, raphaelqindustrial@gmail.com

Introdução

No Brasil, a qualidade de polpas de fruta é regulamentada pela Instrução Normativa n.1, de 07 de janeiro de 2000, que determina os Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ). Esta resolução define polpa de fruta, como sendo o produto não fermentado, não concentrado e não diluído, obtido de frutos polposos através de processo tecnológico adequado, com um teor mínimo de sólidos totais, proveniente da parte comestível do fruto (BRASIL, 2000).

A qualidade da polpa também está relacionada à preservação dos nutrientes e às suas características físico-químicas e sensoriais, que devem ser próximas da fruta *in natura*, de forma a atender às exigências do consumidor e da legislação vigente. Desse modo, aspectos como pH, sólidos solúveis, acidez titulável, e sólidos totais, são determinados nas normas específicas de cada tipo de polpa de fruta, conforme as suas características específicas (BRASIL, 2000; 2001).

A produção de polpas de frutas congeladas é um importante segmento da cadeia produtiva, favorecendo o aproveitamento integral das frutas, também na entressafra (SANTOS et al., 2014; SANTOS & BARROS, 2012).

O cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum) trata-se de uma espécie vegetal pertencente à família das Sterculiaceas, de origem amazônica, frequentemente encontrada ao Sul e Sudeste da Amazônia Oriental e ao Noroeste do Estado do Maranhão. A polpa do cupuaçu é intensamente consumida pela população brasileira para a produção de alimentos. A extração da polpa de forma artesanal, geralmente ocorre sem nenhum tipo de tratamento específico, com o auxílio de tesouras. Esta prática de despulpamento, aumentam as possibilidades de contaminação por microrganismos deteriorantes do alimento e/ou por patógenos humanos que podem causar inúmeras doenças de origem alimentar (DTA's) (SANTOS et al., 2017).

A graviola (*Annona muricata* L.), pertence à família Annonacea que compreende cerca de 80 gêneros e 850 espécies nativas da América Tropical e das Índias Ocidentais. Ela produz frutos esverdeados com espinhos flexíveis, ovais ou irregulares, com 15-30 cm de comprimento e pesando cerca de 0,5 kg. Sua polpa é branca e pegajosa, com sabor e aroma agradáveis (OKIGBO & OBIRE, 2009; LIMA et al., 2006). A graviola *in natura* apresenta baixa expressão comercial diante de outras frutas. No entanto, a transformação da fruta em polpa faz com que, a de sabor graviola, seja a quinta mais vendida na região Nordeste do Brasil, com total de 12%, ficando em volume atrás apenas das polpas de acerola, goiaba, maracujá e caju (LEMOS, 2014).

Por apresentarem altas concentrações de açúcar simples e elevada atividade de água, as frutas são susceptíveis a uma rápida deterioração (GONÇALVES et al., 2014; FARIA et al., 2012).

A fim de minimizar perdas, aliado a crescente demanda de pessoas que tem buscado por uma alimentação mais saudável, realizando dietas ricas em frutas, na qual se deseja manter o sabor e cor da fruta *“in natura”*, assim como a composição nutricional e funcional dela, surge a polpa de fruta

congelada, por apresentar eficiência e praticidade ao consumidor, além de apresentar maior tempo de validade quando comparado com a fruta fresca, a polpa garante que o consumidor possa consumir em qualquer época do ano, não ficando refém do período de colheita (QUEIROGA et al., 2018).

Na análise de alimentos, é de extrema importância a determinação do pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais, cinzas, entre outros parâmetros; podendo ter diferentes finalidades, como a avaliação nutricional de um produto, controle de qualidade do alimento, desenvolvimento de novos produtos e a monitoração da legislação (AMORIM et al., 2012).

Devido ao aumento na produção e comercialização de polpas de frutas industrializadas e da ausência de trabalhos caracterizando estes produtos já inseridos no mercado, há a necessidade do estudo das polpas. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo realizar análises físico-químicas em polpas de frutas congeladas de cupuaçu e graviola industrializadas de três diferentes marcas comercializados na cidade de Campina Grande-PB, e verificar os parâmetros estão de acordo com as legislações federais vigentes.

Material e Métodos

As polpas de frutas de duas diferentes variedades de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e Graviola (*Annona muricata* L.) de 3 marcas comerciais diferentes, foram adquiridas em supermercados com maior fluxo de vendas localizados na cidade de Campina Grande-PB, em seguida foram transportadas em caixas térmicas para posterior análise.

As análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), localizado no Centro de Recursos Naturais e Tecnologia (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – Paraíba.

As amostras foram identificadas por letras sendo para cupuaçu (AC, BC, CC) e para graviola (AG, BG, CG). As determinações de pH, acidez, sólidos solúveis, umidade, sólidos totais, atividade de água e cinzas seguiram a metodologia de acordo com BRASIL (2008). A determinação de ácido ascórbico (Vitamina C) foi realizada através do método de Tillmans (BRASIL, 2008).

Métodos analíticos

A medida do pH foi conduzida introduzindo-se o eletrodo do pHmetro de bancada, previamente calibrado, diretamente na amostra homogênea.

A Acidez titulável foi determinada por titulometria e a Equação 1 foi usada para expressar os resultados em % de ácido cítrico.

$$\text{Acidez titulável} = \frac{v \times f \times M \times PM}{10 \times P \times n} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: v – volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação; f - fator de correção da solução de hidróxido de sódio; M - molaridade da solução de hidróxido de sódio; M – peso molecular do ácido correspondente em gramas- massa da amostra em gramas ou volume pipetado em ml – número de hidrogênio ionizáveis.

O Teor de sólidos solúveis totais (SST) foi determinado por refratometria, utilizando-se refratômetro digital de bancada, à temperatura ambiente, e os resultados foram expressos em °Brix.

A Ratio (SS/AT) foi determinada pelo equilíbrio entre doce-ácido do produto, foi calculada pela relação entre sólidos solúveis e a acidez titulável (SS/AT).

A determinação do Ácido ascórbico (vitamina C) baseou-se na redução do corante sal sódico de 2,6-diclorofenol indofenol por uma solução ácida de vitamina C. A equação 2 foi utilizada para expressar os resultados em % de ácido ascórbico.

$$\text{Ácido ascórbico} = \frac{v \times f \times 100}{m} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde: v – volume gasto na titulação; f – fator de correção; m – massa da amostra.

A atividade de água (Aw) foi determinada através de leitura direta da amostra na temperatura de 25°C, em higrômetro Aqua-Lab.

O Teor de cinzas foi quantificado por gravimetria após incineração em mufla a 550°C. O método de baseia na perda de peso que ocorre quando o produto é incinerado a 550°C, com destruição da matéria orgânica.

O Teor de umidade e sólidos totais (ST) foi realizada em estufa pela técnica de secagem gravimétrica a 105°C, por 24 horas.

Análise estatística

Foi realizada para os dados experimentais em triplicata e os resultados foram submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade, e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de *Tukey* adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas o software STATISTICA versão 10.

Resultados e Discussão

Todos os resultados obtidos no presente trabalho para polpa de cupuaçu e graviola são encontrados nas Figuras 1 a 9, apresentados em triplicatas, e os resultados encontrados em média.

De acordo com a Figura 1 os valores de acidez para polpas de cupuaçu e graviola apresentam diferença significativa entre as marcas analisadas. Para as polpas de cupuaçu os valores de acidez variam entre 1,20 – 1,98% ácido cítrico, sendo apenas a amostra “AC” não apresentando valores dentro dos padrões, valor mínimo de 1,5% ácido cítrico, estabelecidos pela legislação vigente. Para as polpas de graviola a legislação estabelece um valor mínimo de 0,6% de ácido cítrico, sendo assim a amostra “BG” não apresenta conformidade quanto a este parâmetro.

Maciel et al. (2016), determinaram acidez total titulável (ATT) de 0,53 ácido cítrico/100g para polpas de goiabas e 1,06 ácido cítrico/100g para polpas de acerola.

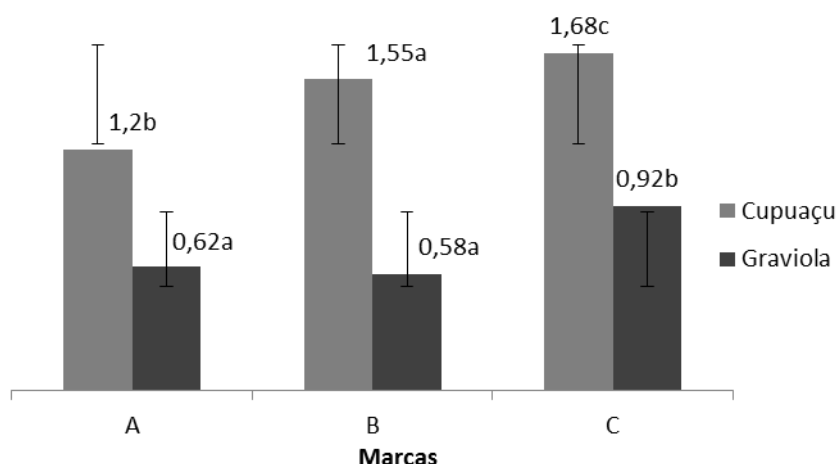


Figura 1. Valores obtidos para acidez titulável (% Ácido cítrico) para as polpas de cupuaçu e graviola.

Para os valores do potencial hidrogeniônico (Figura 2), as polpas de cupuaçu não apresentam diferença significativa entre as marcas A, B e C. Diferentemente das polpas de graviola que variam de 3,651 a 3,739, resultando em uma diferença significativa. Para este parâmetro ambas as polpas analisadas cupuaçu e graviola, apresentam variação dentro do limite estabelecido pela legislação. Fechine Neto et al. (2016), ao avaliarem polpas de frutas comercializadas na cidade de Missão Velha no estado do Ceará, obtiveram variação de pH de (3,26 -3,79) para polpas de maracujá, (2,75 – 3,24) para polpas de tamarindo, (3,49 – 3,75) para polpas de morango, e (3,43 – 3,68) para polpas de caju.

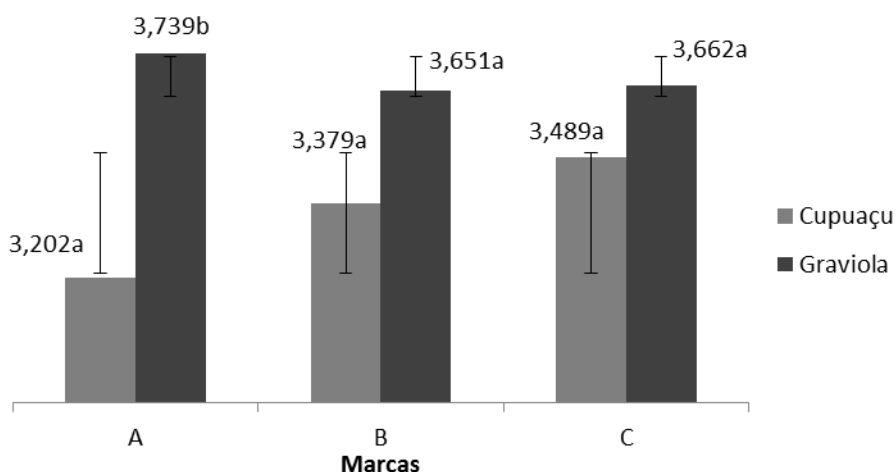


Figura 2. Valores obtidos para potencial hidrogeniônico (pH) para as polpas de cupuaçu e graviola.

Na Figura 3 estão apresentados os valores obtidos para os teores de sólidos solúveis das polpas de cupuaçu e graviola expressos em ($^{\circ}$ Brix).

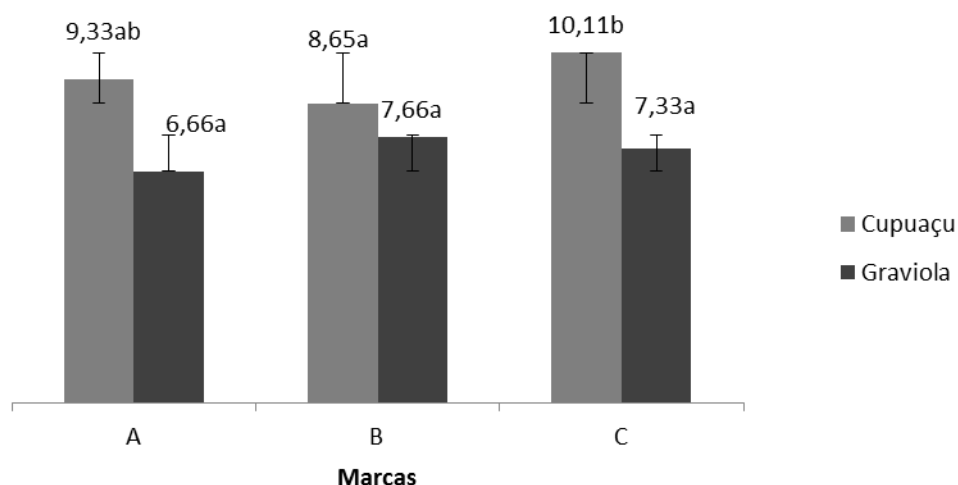


Figura 3. Valores obtidos para o teor de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) para as polpas de cupuaçu e graviola.

Os teores de sólidos solúveis para polpas de cupuaçu diferem significativamente entre si, variando entre 8,65 – 10,11 $^{\circ}$ Brix, sendo apenas a amostra “BC” com valor inferior ao mínimo aceitável pela legislação. Para as polpas de graviola, os teores de sólidos solúveis não apresentam diferença significativa (Figura 3), no entanto, entre as três marcas analisadas A, B e C, todas apresentam valores abaixo do mínimo estabelecido pela legislação, que é de 9 $^{\circ}$ Brix. BRASIL et al. (2016), ao determinarem o teor de sólidos solúveis em diferentes polpas comercializadas em Cuiabá-MT, obtiveram valores que variaram entre 6,50 -7,50 $^{\circ}$ Brix para polpas de acerola, 9,47 – 13,75 $^{\circ}$ Brix para polpas de caju, 10,86 – 16 $^{\circ}$ Brix para polpas de abacaxi, 8,92 – 11,97 $^{\circ}$ Brix para polpas de maracujá, e 8,42 – 10,19 $^{\circ}$ Brix para polpas de goiaba.

Na Figura 4 estão apresentados os valores obtidos para o parâmetro das polpas de cupuaçu e graviola.

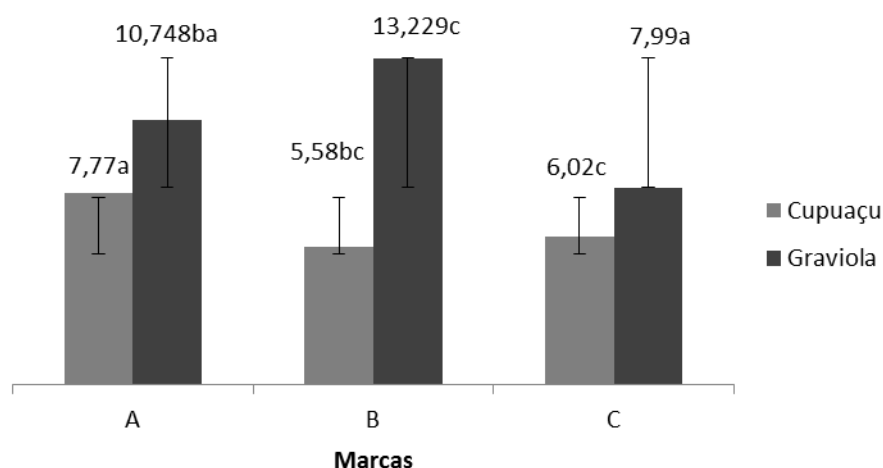


Figura 4. Valores obtidos para o parâmetro *ratio* (SS/AT) para as polpas de cupuaçu e graviola.

É possível observar que, a polpa que tem maiores valores de *ratio* foram às de graviola (Figura 6), destacando-se a amostra BG (13,229), logo, é possível afirmar que, a amostra BG tem um grau de doçura superior às demais marcas estudadas. Nas polpas de cupuaçu, é possível observar na Figura 4, uma variação entre 5,58 – 7,77 no qual apresentam uma diferença significativa entre as amostras, evidenciando assim, um grau de doçura inferior à polpa de graviola.

O parâmetro *ratio* é uma relação utilizada como indicação do grau de maturação da matéria prima utilizada para produção da polpa, evidenciando qual o sabor predominante, o doce ou o ácido, ou ainda se há equilíbrio entre eles (BRASIL, 1996).

Na determinação de ácido ascórbico todas as polpas cupuaçu e graviola apresentam diferença significativa entre as marcas analisadas, conforme observa-se na Figura 5.

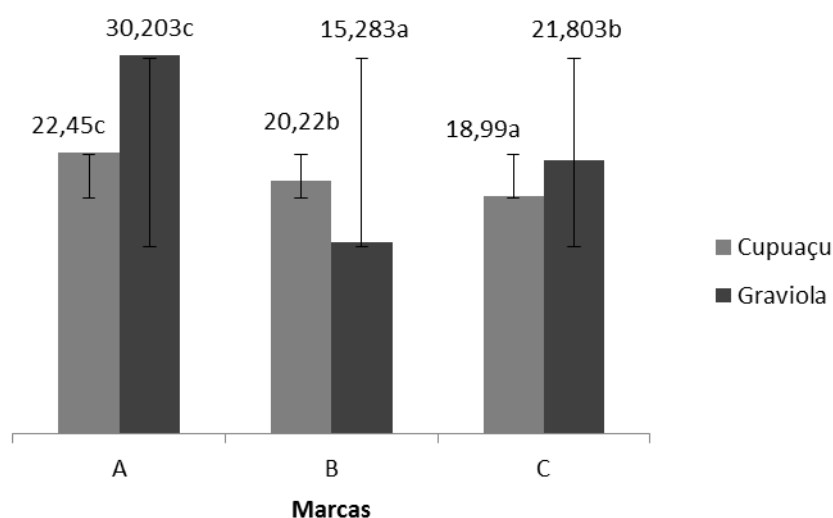


Figura 5. Valores obtidos para o teor de vitamina C (mg/100g) para as polpas de cupuaçu e graviola.

Para as polpas de cupuaçu todas as amostras, apresentam valores dentro do mínimo de 18mg/100g permitido pela legislação. Para as polpas de graviola obteve-se valor de vitamina C acima do mínimo aceitável pela legislação para todas as amostras analisadas. Ramos et al. (2016), ao determinarem o teor de vitamina C em polpas congeladas de graviola, obtiveram teor de 34,4mg de ácido ascórbico/100g, valor este próximo ao da amostra AG do presente trabalho.

Monção et al. (2010), ao avaliarem o teor de vitamina C em cinco diferentes marcas de polpas de cajá e manga consumidas na cidade de Teresina-PI, obtiveram valores de vitamina C que variaram de 53,2 – 109,5mg/100g para polpa de cajá e 10,64 – 284,62 mg/100g para polpa de manga. Oliveira et al. (2013), obtiveram 13,6mg/100g de vitamina C ao analisarem polpas de umbu.

A vitamina C no organismo tem suas funções variadas, dentre elas, no auxílio na resposta imunitária do organismo e na utilização eficiente do ferro, no crescimento saudável das células de ossos, dentes, gengiva, ligamentos e vasos sanguíneos, além de auxiliar no funcionamento dos leucócitos sanguíneos. Além disto, destaca-se o seu importante papel como antioxidantes, neutralizando a ação dos radicais livres, que são responsáveis por desencadear o processo de envelhecimento precoce, além de aumentarem o risco de desenvolvimento do câncer e doenças do coração (RAMOS et al., 2016).

A atividade de água e umidade são umas das principais propriedades quando se considera as etapas de processamento, conservação e armazenamento de alimentos. Na Figura 6, observa-se a atividade de água obtida para as polpas analisadas.

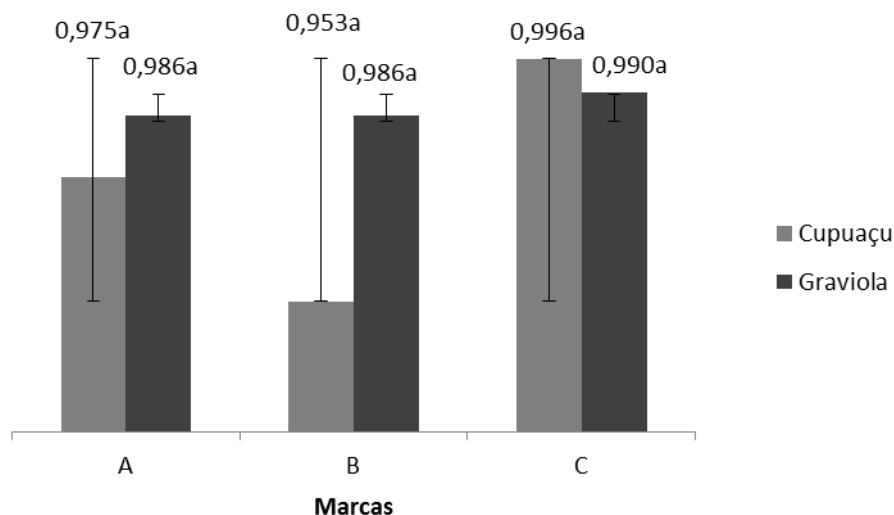


Figura 6. Valores obtidos para a atividade de água (A_w) das polpas de cupuaçu e graviola.

Para assegurar o tempo de conservação e garantir qualidade é preciso ter conhecimento da atividade de água das polpas de cupuaçu e graviola. Oliveira (2012), classifica como produtos de umidade intermediária, aqueles que apresentam atividade de água entre 0,6 e 0,85, e produtos com baixa umidade, são aqueles que apresentam valores de atividade de água até 0,6. Sendo assim, pode-se classificar as polpas de cupuaçu e graviola como de alta umidade, pois apresentam atividade de água que variam de 0,953 - 0,996 para cupuaçu, e de 0,986 - 0,990 para graviola, neste caso não havendo diferença significativa entre marcas e frutas.

Na Figura 7 estão apresentados os valores obtidos para os teores de cinzas (sais minerais) das polpas de cupuaçu e graviola expressos em g/100g.

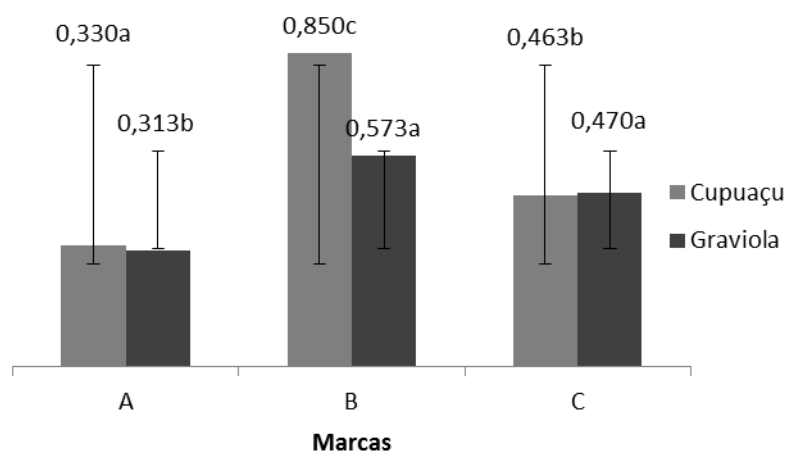


Figura 7. Valores obtidos para o teor de cinzas (sais minerais) das polpas de cupuaçu e graviola.

O teor de cinza (sais minerais) apresenta diferença significativa para polpas de cupuaçu e graviola. Para as polpas de cupuaçu a amostra "BC" é a que apresenta o maior teor de cinzas (Figura 7).

Assim como, para as polpas de graviola, onde também a amostra “BG” apresenta o maior teor (Figura 7) para o mesmo parâmetro. Para as duas frutas cupuaçu e Graviola, a amostra “AC” e “AG” são as que mais se aproximam aos resultados obtidos por Bastos et al. (2016), que obtiveram teor de cinzas de 0,37g/100g ao analisarem polpas de umbu. Cavalcante et al. (2016), obtiveram teor de cinzas de 0,33g/100g para polpas goiaba e 0,19g/100g para polpas de acerola. Bueno et al. (2002), ao avaliarem o teor de cinzas em polpas congeladas de açaí, também obtiveram teores 0,29g/100g inferiores aos obtidos no presente trabalho para as polpas de cupuaçu e graviola.

A umidade de um alimento está relacionada com sua estabilidade, qualidade e composição (CECCHI, 2003). Na Figura 8, estão apresentados os valores obtidos do teor de umidade (g/100g) para as polpas de cupuaçu e graviola.

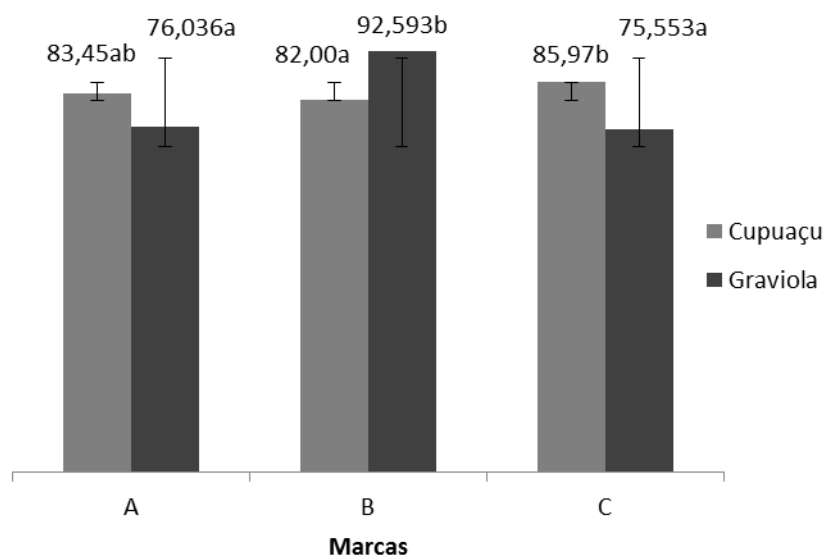


Figura 8. Valores obtidos para o teor de umidade das polpas de cupuaçu e graviola.

No caso das polpas de fruto, o parâmetro umidade não é tratado diretamente como um identificador de qualidade, por ser um produto que tem um alto teor de água. Das amostras analisadas, a que tem maior teor de umidade é a polpa de graviola BG (92,593%), como pode se observar na Figura 9, sendo esse um indício da adição de água no produto durante o processamento, já que as demais marcas da mesma fruta apresentam valores inferiores. Os valores observados para as polpas de cupuaçu são os mais próximos aos valores encontrados por Silva et al. (2017) para polpa de açaí (85,360%), e por Gazola et al. (2016) para polpa de pitanga (85,060%).

Na Figura 9 estão apresentados os valores obtidos para os teores de sólidos totais das polpas de cupuaçu e graviola, expressos em g/100g.

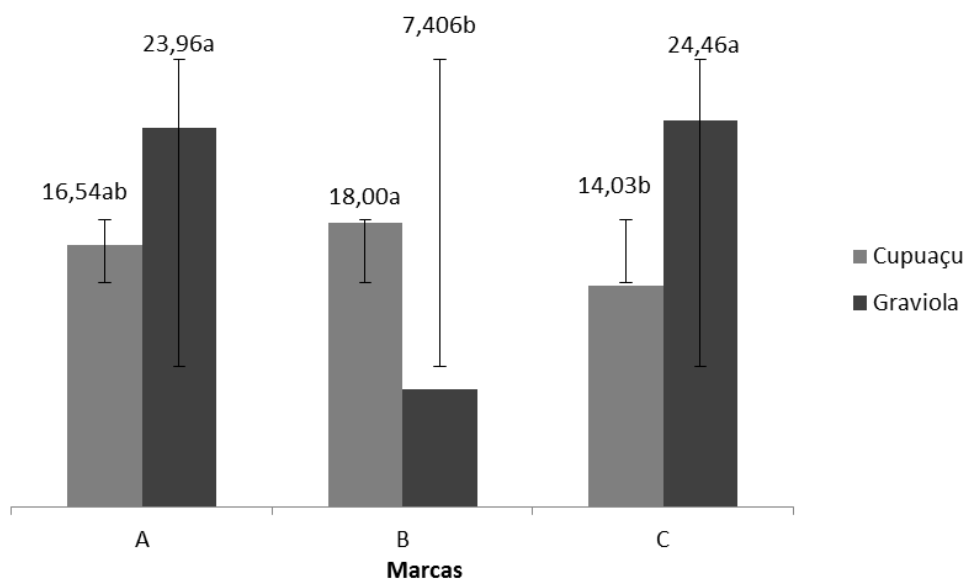


Figura 9. Valores obtidos para o teor sólidos totais das polpas de cupuaçu e graviola.

Quanto ao teor de sólidos totais, apenas a amostra BG (Figura 9) apresenta valores abaixo do estabelecido pelo padrão de identidade e qualidade (PIQ), sendo ela quantificada em 7,406% e o PIQ em 9,50%, podendo esse fenômeno ser explicado pela adição de água na polpa da marca correspondente, e consequentemente uma menor quantidade de sólidos. Para as polpas de cupuaçu obteve-se teores de sólidos totais acima do valor mínimo estabelecido pelo Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) que é de 12%, sendo esse um ponto positivo e que garante a qualidade e aceitabilidade do produto, no qual variarem de 14,03 até 18%, apresentando uma diferença significativa entre as marcas analisadas.

Conclusão

Os Padrões de Qualidade estabelecidos pela Instrução Normativa Nº 1, de 7 de janeiro de 2000 é uma importante ferramenta no controle da qualidade das polpas de frutas produzidas no Brasil. Baseado nesses padrões foi verificado que, dentro das três amostras de graviola nenhuma delas atendeu completamente o que rege a legislação para o limite mínimo estabelecido. No entanto, para as polpas de cupuaçu das três amostras analisadas, apenas as amostras “AC” e “BC” não atenderam todos os parâmetros estabelecidos ficando respectivamente a acidez titulável e o teor de sólidos solúveis abaixo do mínimo aceitável pela legislação. Constatou-se com esse trabalho, a necessidade de fiscalização constante e adequada por parte das autoridades competentes e a conscientização dos produtores durante a produção das polpas quanto à obtenção de um produto com qualidade.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado ao primeiro autor e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado dos demais autores.

Referências

- AMORIM, A. G.; SOUSA, T. A.; SOUZA, A. O. Determinação do pH e acidez titulável da farinha de semente de abóbora (*cucurbita máxima*). In: Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação, 7, 2012, Palmas. Anais...Palmas, 2012.
- BASTOS, J. S.; MARTINEZ, E. A.; SOUZA, S. M. A. Physicochemical characteristics of commercial umbu pulp (*Spondias Tuberosa* arruda câmara): concentration effect. J. Bioen. Food Sci., v.3, n.1, p.11-16, 2016.
- BRASIL, A. S.; SIGARINI, K. S.; PARDINHO, F. C.; FARIA, R. A. P. G.; SIGUEIRA, N. F. M. P. Avaliação da qualidade físico-química de polpas de fruta congeladas comercializadas na cidade de Cuiabá-MT. Rev. Bras. Frutic., v.38, n.1, p.167-175, 2016.
- BRASIL, Leis, Decretos, etc. - Portaria nº 76 de 27-11-86, do Ministério da Agricultura. Diário Oficial, Brasília, Seção I, p.18152-18173. 1996.

- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de frutas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2000.
- BRASIL. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 4º ed. 1ª edição digital. São Paulo, 2008. 1020p.
- BUENO, S. M.; LOPES, M. R. V.; FERNANDES, E. C. B.; GARCIA-CRUZ, C. H. Quality Evaluation of Frozen Fruit Pulp. Rev. Inst. Adolfo Lutz, v.62, n.2, p.121-126, 2002.
- CECCHI, H. M. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos, 2ª Ed. rev., Campinas - SP, Editora da UNICAMP, 2003, 202p.
- FARIA, M.; OLIVEIRA, L. B. D.; COSTA, F. E. C. Qualidade microbiológica de polpas de açaí congeladas. Alimentos e Nutrição, v.23, n.2, p.243-249, 2012.
- FECHINE NETO, J. L.; CALOU, V. C. R.; SILVA, J. R. A.; MENDES, R. C. Perfil microbiológico de amostras de polpas de frutas congeladas, comercializadas na cidade de Missão Velha-CE. Caderno de Cultura e Ciência, v.15, n.1, 2016.
- GAZOLA, M. B.; PEGORINI, D.; DE LIMA, V. A.; RONCATTI, R.; TEIXEIRA, S. D.; PEREIRA, E. A. Elaboração e caracterização de bebidas à base de extrato hidrossolúvel de soja com polpa de pitanga, amora e mirtilo. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v.34, n.2, 2017.
- GONÇALVES, M. V. V. A.; SILVA, J. P. L.; ROSENTHAL, A.; FURTADO, A. S. L.; CALADO, V. M. A. Incidência de fungos termo resistentes e propriedades microbiológicas da polpa de cupuaçu congelada (*Theobroma grandiflorum* Schum). Perspectivas Online: Biológicas & Saúde, v.14, n.4, p.41-49, 2014.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. 1ª ed. Digital, São Paulo, 2008. 1020p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agro 2017. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/sobre-censo-agro-2017.html>>. Acesso em: 09 de janeiro de 2019.
- LEMONS, E. E. P. The production of annona fruits in Brazil. Revista Brasileira de Fruticultura, v.36, n.1, p.77-85, 2014.
- LIMA, M. A. C.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C. Mudanças relacionadas ao amaciamento da graviola durante a maturação pós-colheita. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, p.1707-1713, 2006.
- MACIEL, C. E. P.; CAVALCANTE, G. C.; MACIEL, M. I. S.; BORGES, G. S. C.; DUTRA, R. L. T.; CONCEIÇÃO, M. M. Caracterização físico-química de polpas de goiaba e acerola para elaboração de doce cremoso diet. In: Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia dos Alimentos, 25, 2016, Gramado. Anais...Gramado, 2016.
- MONÇÃO, E. C.; SILVA, E. F.; SOUSA, P. B.; SILVA, M. J. M.; SOUSA, M. M. Avaliação físico-química e centesimal de polpas congeladas de cajá (*Spondias mombin* L.) e de manga (*Mangifera indica* L.) consumidas em Teresina-PI. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 5, 2010, Maceió. Anais...Maceió-AL, 2010.
- OKIGBO, R. N.; OBIRE, O. Mycoflora and production of wine from fruits of soursop (*Annona Muricata* L.). International Journal of Wine Research, v.1, p.1-9, 2009.
- OLIVEIRA, C. F. P.; SOUZA, S. M. A.; MARTINEZ, E. A.; GUANAIS, A. L. R.; SILVA, C. M. R. Study of the umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) osmotic dehydration process. Semina: Ciências Agrárias, v.34, n.2, p.727-738, 2013.
- OLIVEIRA, G. S. Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cajá em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE, 2012.
- QUEIROGA, A. P. R.; SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; LUIZ, M. R. Avaliação da qualidade microbiológica de polpas de morango (*fragaria vesca* l.). In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 3, 2018, Campina Grande. Anais...Campina Grande, 2018.
- RAMOS, B. A. A.; FERREIRA, J. H.; ALVES, L. S.; ALMEIDA, L. C.; DIAS, M. S.; ELLER, J. F. C. Teor de vitamina C presente na polpa natural e da polpa congelada da graviola. ÚNICA Cadernos Acadêmicos, v.3, n.1, 2016.

- SANTOS, D. P.; BARROS, B. C. V. Perfil higiênico sanitário de polpas de frutas produzidas em comunidade rural e oferecidas à alimentação escolar. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v.6, n.2, p.747-756, 2012.
- SANTOS, J. S.; SANTOS, M. L. P.; AZEVEDO, A. S. Validação de um método para determinação simultânea de quatro ácidos orgânicos por cromatografia líquida de alta eficiência em polpas de frutas congeladas. *Química Nova*, v.37, n.3, p.540-544, 2014.
- SANTOS, W. M. S.; CARDOS, T. S.; ANDRADE, S. P.; GUIMARÃES, A. P. M. Avaliação da qualidade microbiológica de polpas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum*) comercializadas no município de Guaraí-TO. In: *Jornada Científica da Biologia*, 2, Encontro Técnico Científico da Faculdade Guaraí, 1, 2017, Guaraí. Anais...Guaraí, 2017.
- SILVA, A. K. N.; BECKMAN, J. C.; DA CRUZ RODRIGUES, A. M.; DA SILVA, L. H. M. Composição nutricional e capacidade antioxidante da polpa de açaí (*Euterpe oleracea M.*). *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v.11, n.1, 2017.
- SILVA, D. G. Secagem de alimentos: uma abordagem teórica. 30f. Monografia (Graduação em Química Industrial). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande – PB, 2017.

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA APLICADA NA SECAGEM DO FEIJÃO BRANCO (*Phaseolus vulgaris*)

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva¹
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro²
Newton Carlos Santos³
Sâmela Leal Barros⁴
Amanda Priscila Silva Nascimento⁵
Ana Júlia de Brito Araújo⁶

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/Campus Campina Grande - PB, virginia.mirtes2015@gmail.com

² Mestrando em Ciências Agrárias (Agroecologia) da Universidade Federal da Paraíba, UFPB/Campus III Bananeiras – PB, victor_herbert@hotmail.com

^{3,4,5}Mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEA/Campus Campina Grande – PB, newtonquimicoindustrial@gmail.com; samelaleal7@gmail.com; amandapricila@yahoo.com.br

⁶Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEA/Campus Campina Grande – PB, a.juliaaraujo@gmail.com

Introdução

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta pertencente à família *Leguminosae*, sub-família *Papilionoideae*, gênero *Phaseolus*. É cultivado em quase todos os países de clima tropical e subtropical, assumindo uma grande importância na alimentação humana (RESENDE et al., 2012).

O feijão é um dos grãos mais importantes para a alimentação de mais de 500 milhões de pessoas, principalmente na América Latina e África. Constitui uma das principais culturas produzidas no mundo e no Brasil. Atualmente o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão e o estado do Mato Grosso tem se demonstrado um produtor em potencial, pois apresenta a terceira maior produção nacional (CONAB, 2018). A produção mundial de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é de 26,5 milhões de toneladas; o Brasil, com uma produção de 3,3 milhões de toneladas, compreende 12,4% do total, menor apenas que Mianmar e Índia, com produções de 4,6 e 4,1 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2014).

Uma das variedades do *Phaseolus vulgaris* L. é o feijão branco que tem sido alvo de estudos devido suas propriedades proteicas atuarem positivamente no controle da obesidade e das diabetes (MAZUR, 2014). Os feijões, especialmente o branco, possuem alta quantidade de proteínas, considerados fonte de proteína vegetal, além de fibras solúveis e insolúveis. É rico em ácido fólico, ferro, magnésio, zinco e antioxidantes (CAMPOS-VEJA et al., 2013). Os grãos também são ricos em algumas variedades de fitoquímicos com atividade antioxidante e uma extensa matriz de flavonóides, como antocianinas, flavonóides, proantocianidinas, flavonóis, ácidos fenólicos e isoflavonas (BENINGER & HOSFIELD, 2003; CHOUNG et al., 2003; APARICIO et al., 2005; GRANITO et al., 2008; LIN et al., 2008).

O feijão possui muitas variedades, e por mais que exista uma grande quantidade de estudos realizados sobre a cultura, as novas variedades se apresentam carentes de trabalhos, principalmente na área pós-colheita (RIBEIRO et al., 2014). Contudo, a aplicação de alguns princípios físicos ou químicos tais como: uso de altas e baixas temperaturas, eliminação de água, adição de substâncias químicas, uso de certas radiações e filtração. Resultam desses processos transformações físico-químicas capazes de prolongar a vida do alimento. Assim, alguns processos tecnológicos da conservação de alimentos conhecidos atualmente podem ser aplicados, como: altas temperaturas, baixas temperaturas, eliminação de água (desidratação osmótica, secagem, liofilização, concentração e prensagem), aditivos químicos e irradiação (PARK et al., 2011).

Na fase pós-colheita do feijão, a secagem é o processo mais utilizado para assegurar sua qualidade e estabilidade, já que a redução do teor de água do produto diminui a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem nos grãos durante o armazenamento (ALMEIDA et al., 2013; SIQUEIRA et al., 2012).

O processo de secagem, tem como princípio a diminuição do teor de água do produto e, por conseguinte, a redução da atividade de água, esta por sua vez, minimiza as razões de reações

microbiológicas, químicas e enzimáticas. Por isso, a qualidade e a estabilidade dos alimentos durante o armazenamento são asseguradas. A secagem é um dos processos largamente utilizados na conservação de grãos, uma vez que, possui um custo mais baixo e a operação é mais simples (PONTES, 2002). Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem dos tecidos, são utilizados modelos matemáticos que representam satisfatoriamente a perda do teor de água do produto durante o período de secagem (GONELI et al., 2014; SANTOS et al., 2013).

Nesse sentido, na literatura, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever a cinética de secagem para produtos agrícolas: sementes de crambe (FARIA et al., 2012), frutos de lichia (JANJAI et al., 2010), sementes de abóbora (SACILIK, 2007), sementes de amaranto (ABALONE et al., 2006), grãos de trigo parboilizados (MOHAPATRA & RAO, 2005), dentre outros.

Com a expansão da cultura do feijão nas principais regiões produtoras do país, técnicas modernas de secagem vêm sendo desenvolvidas para atender às crescentes necessidades dos produtores, com o objetivo de simplificar e reduzir os custos associados ao processo produtivo. Portanto, o presente trabalho tem por objetivo realizar a cinética de secagem do feijão branco, em diferentes temperaturas de ar de secagem, determinar a difusividade efetiva de massa e realizar a análise do melhor modelo matemático.

Material e Métodos

O feijão branco (*Phaseolus vulgaris*) foi adquirido no comércio local da cidade de Campina Grande-PB. As amostras foram encaminhadas e os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Alimentos, da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

Cinética de secagem

As amostras foram colocadas em telas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina (Figura 1). Para iniciar o experimento, as bandejas foram colocadas em um secador com circulação de ar com velocidade de ar de 1,5 m/s, para a realização das cinéticas de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C, no início e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com IAL (2008).



Figura 1. Amostra de feijão branco em telas de aço inoxidável.

Através dos dados experimentais, calculou-se os valores da razão do teor de água utilizando a Equação 1.

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs(\text{inicial})} - X_e} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: RX = Razão de umidade (Adimensional); X_e = Teor de água de equilíbrio em base seca; X_{bs} = Teor de água em base seca; $X_{bs(\text{inicial})}$ = Teor de água inicial em base seca.

Com o cálculo da razão de teor de água do feijão branco, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos, aplicando os modelos matemáticos (Tabela 1) de Parry, Page e Henderson, e Pabis para ajustar os dados experimentais.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem

Modelo	Equação	
Parry	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	(Eq.2)
Page	$RX = \exp(-k \times t^n)$	(Eq.3)
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-K \cdot t)$	(Eq.4)

RX: Razão de umidade (adimensional); k: constante de secagem; "a", "n" e "c": parâmetros dos modelos; t: tempo de secagem.

Análise estatística

Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional STATISTICA, versão 7, utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 5).

$$DQM = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pred}})^2}{N}} \quad (\text{Eq.5})$$

Em que: RX_{exp} = Razão de teor de água obtida experimentalmente; RX_{pre} = Razão de teor de água predita pelo modelo matemático; N = número de observações ao longo da cinética de secagem.

Cálculo da difusividade efetiva (Def)

A difusividade efetiva foi obtida por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida, descrita pela Equação (6), aos dados experimentais da secagem do feijão branco, fazendo uso de soluções analíticas e considerando a condição de contorno convectiva, considerando-se a forma geométrica do produto como cilindro infinito, devido a sua geometria, desconsiderando-se a contração volumétrica (LUIKOV, 1968).

A otimização foi feita usando o programa "Convectivo" (SILVA & SILVA, 2008). O Convectivo é usado para estudar processos de difusão de água com dados experimentais conhecidos, para as seguintes geometrias: parede infinita, cilindro infinito, esfera, cilindro finito e paralelepípedo, seguindo as Equações 6, 7, 8 e 9.

$$\bar{X}(t) = X_{eq} - (X_{eq} - X_0) \sum_{n=1}^{16} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{Def}{R^2} t\right) \quad (\text{Eq.6})$$

Onde: $\bar{X}(t)$ é o teor de umidade no instante t; X_{eq} é o teor de umidade para $t \rightarrow \infty$; X_0 é o teor de umidade para $t=0$; R é o raio; Def é a difusividade efetiva; t é o tempo.

O parâmetro B_n é dado pela Equação 7:

$$B_n = \frac{4Bi^2}{\mu_n^2 (Bi^2 + \mu_n^2)} \quad (\text{Eq.7})$$

O número de Biot é obtido de acordo com a Equação 8:

$$Bi = \frac{hR}{Def} \quad (\text{Eq.8})$$

Onde: h é o coeficiente convectivo de transferência de massa; R é o raio; Def é a difusividade.

Sabendo-se que a Equação (9) é característica de um cilindro infinito.

$$\frac{J_0(\mu_n)}{J_1(\mu_n)} = \frac{\mu_n}{Bi} \quad (\text{Eq.9})$$

Onde: J1 é função de Bessel do primeiro tipo e primeira ordem; J0 é a função de Bessel de primeiro tipo e ordem zero; Bi é o número de Biot; μ_n são raízes características de um cilindro infinito.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 se encontra expresso os valores dos parâmetros obtidos para os modelos matemáticos Parry, Page, Henderson e Pabis, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem do feijão branco, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvio quadrático médio (DQM), para a temperatura de 40, 50, 60, 70 e 80°C.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem do feijão branco nas temperaturas de 40, 50 60, 70 e 80°C

Modelos	Parâmetro de ajuste				
Parry	A	K	C	R^2	DQM
40°C	1,223194	0,002344	-0,262004	0,99865	1,70E-02
50°C	1,075179	0,003419	-0,124378	0,99747	6,27E-03
60°C	0,952614	0,004498	-0,051151	0,99268	3,61E-02
70°C	0,824771	0,007415	-0,038709	0,9803	4,36E-02
80°C	0,817045	0,013886	-0,077489	0,9779	5,87E-02
Page	N	K	-	R^2	DQM
40°C	1,008967	0,003626		0,99443	1,94E-02
50°C	0,924165	0,007009		0,99518	1,89E-02
60°C	0,769884	0,019167		0,99241	2,34E-02
70°C	0,622305	0,058543		0,99159	2,89E-02
80°C	0,646667	0,051083		0,99229	1,55E-02
Handerson e Pabis	A	K	-	R^2	DQM
40°C	0,984084	0,003714		0,9948	3,32E-02
50°C	0,966430	0,004434		0,996	2,90E-02
60°C	0,909580	0,005095		0,9923	3,70E-02
70°C	0,862031	0,006493		0,9903	5,70E-02
80°C	0,846572	0,010200		0,9728	6,51E-02

R^2 : coeficientes de determinação; DQM: desvios quadráticos médios; k: constante de secagem; "a", "c" e "n": parâmetros dos modelos matemáticos; E: expoente em base 10.

Analisando a Tabela 2, verifica-se que para o modelo de Parry, os valores do coeficiente de determinação (R^2) são valores superiores a 0,99, exceto para os grãos submetidos a temperaturas de secagem de 70 e 80°C no qual os valores obtidos, respectivamente são de 0,9803 e 0,9779, apesar de se ter obtido um coeficiente abaixo de 0,99, o melhor e menor DQM obtido nesse modelo é o da temperatura de 90°C (5,87E-02).

Para o modelo de Page, aplicado aos dados experimentais nas temperaturas de secagem se obteve ótimos coeficientes de determinação (R^2) onde apresenta valores superiores a 0,99, com melhor

coeficiente para temperatura de 50°C, no entanto, quando se avaliando os valores de DQM, o mesmo modelo para todas as temperaturas estudadas, apresenta os maiores valores deste parâmetro estatístico, quando se comparado com os modelos de Perry e o de Handerson e Pabis.

O modelo de Handerson e Pabis, assim como os demais, também obteve coeficientes de determinação superiores a 0,99, exceto para temperatura de 80°C que apresenta valor de 0,9728. Os valores de DQM para esse modelo são valores baixos e próximos aos obtidos para o modelo de Parry.

Observa-se ainda na Tabela 2 que, o modelo de Parry apresenta o melhor valor para o R^2 nas secagens a 40 e 50°C, e o menor DQM é observado para a secagem também a 80°C, mas neste caso no modelo de Handerson e Pabis, indicando assim uma representação satisfatória do processo de secagem nas condições estudadas para os dois modelos. De acordo com vários autores, é comum a obtenção de coeficientes de determinação maiores que 99% para os melhores modelos de secagem, como demonstrado por (GUNHAN et al., 2005; SACILIK & UNAL, 2005; DOYMAZ et al., 2006), em seus estudos sobre secagem.

Observa-se ainda que, em todos os modelos analisados os valores do parâmetro “k”, que representa a constante da taxa de secagem nos modelos empregados, aumenta com a elevação da temperatura, e os valores do parâmetro de “n” no modelo de Page, não apresenta comportamento específico de acordo com a temperatura variando entre 0,622305 a 1,008967.

Nas Figuras 2, 3, e 4 observa-se a cinética de secagem do feijão branco em camada fina a diferentes temperaturas de ar de secagem para os modelos de Parry, Page e Henderson e Pabis. Percebe-se que, o aumento da temperatura, reduz o tempo de secagem aumentando a taxa de perda de água. O tempo de secagem varia de 630 a 450 minutos, sendo o maior e menor tempo respectivamente para as temperaturas 40 e 80°C.

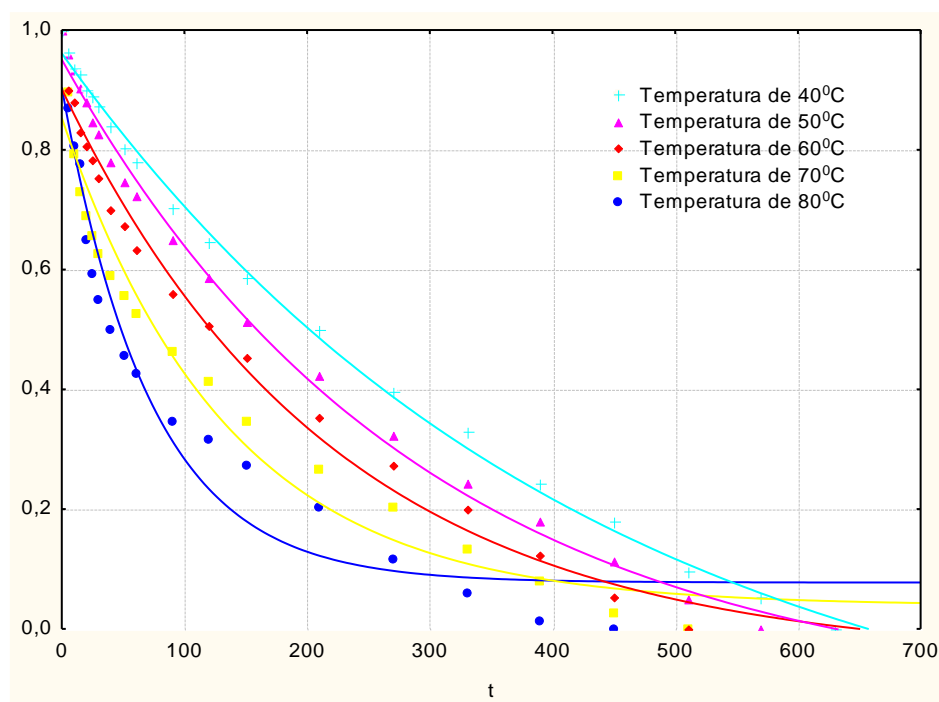


Figura 2. Curvas de secagem do feijão branco pelo modelo matemático de Parry.

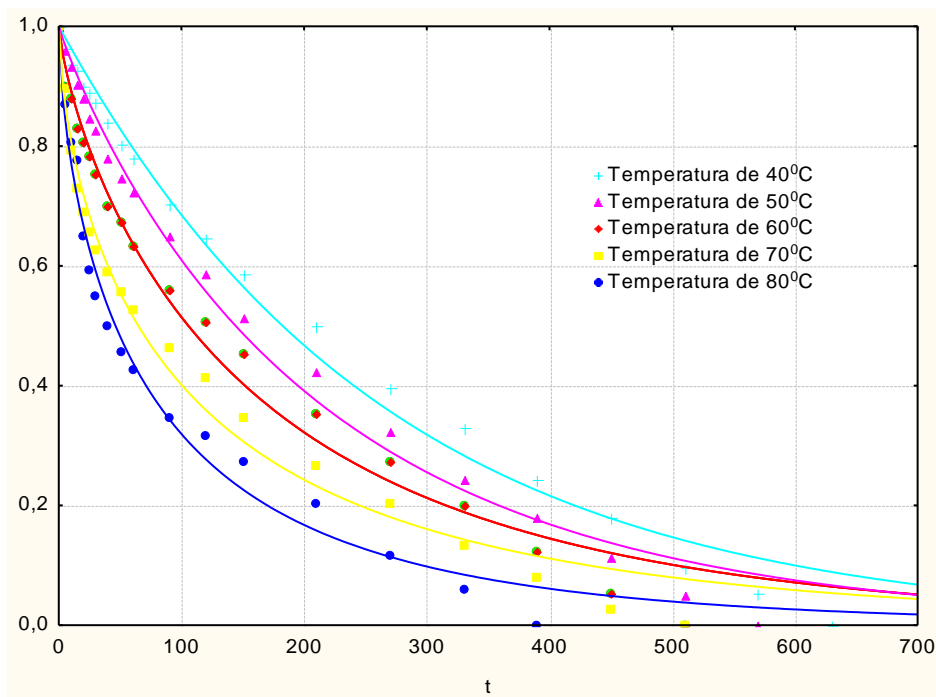


Figura 3. Curvas de secagem do feijão branco pelo modelo matemático de Page.

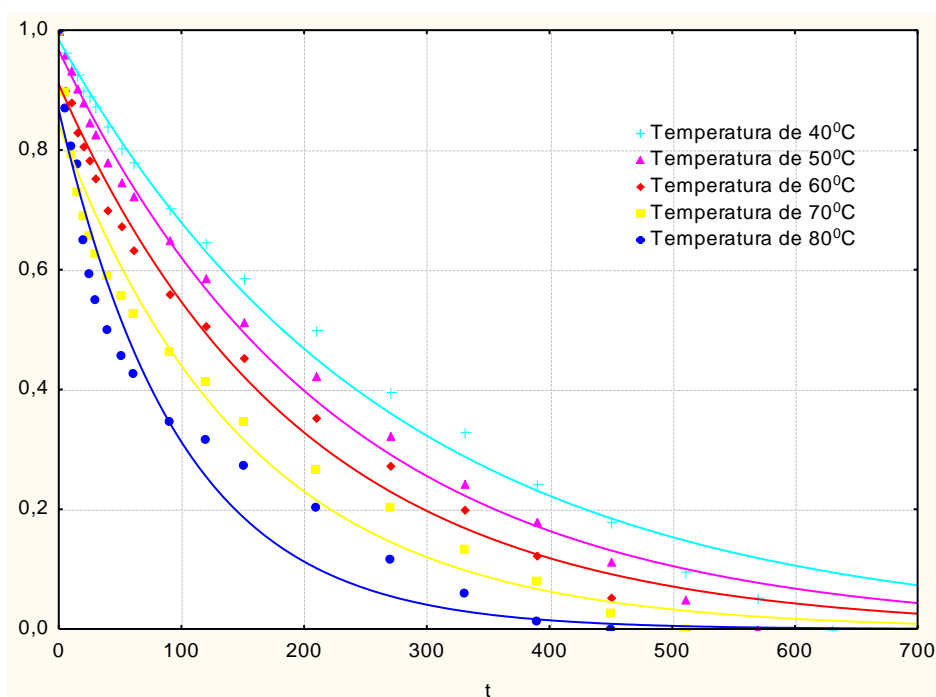


Figura 4. Curvas de secagem do feijão branco pelo modelo matemático de Henderson e Pabis.

Melo et al. (2016), ao obterem curvas de secagem para os grãos de feijão carioca, concluíram que, o modelo matemático Midilli é o mais recomendado para modelar o processo de secagem nas temperaturas de 35 e 65°C, e o de Aproximação da difusão para modelar o processo de secagem na temperatura de 55°C, para grãos de feijão da cultivar Estilo.

Moscon et al. (2017), ao estudarem a cinética de secagem de grãos de quinoa em diferentes temperaturas observaram que, os dados experimentais melhor se ajustaram ao modelo proposto por Page.

Os valores obtidos para difusividade efetiva de massa das cinco temperaturas estudadas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados das secagens utilizando o modelo de difusão líquida

Temperaturas (°C)	Difusividade efetiva (m ² /s)
40	3,46 x 10 ⁻⁸
50	3,95 x 10 ⁻⁸
60	5,71 x 10 ⁻⁸
70	6,19 x 10 ⁻⁸
80	10,3 x 10 ⁻⁸

Segundo Pereira et al. (2018), a difusividade efetiva representa o fluxo de água ao sair do produto durante a secagem. Sendo assim, observa-se na Tabela 3, que na medida em que, se aumenta o gradiente de temperatura, maior é o valor obtido para este parâmetro, pois em temperaturas inferiores, como a de 40°C, as moléculas de água sofrem maior resistência ao sair do corpo devido a sua composição e estrutura física, fazendo com que, a água seja mais ligada às moléculas que constituem a massa seca.

Camicia et al. (2015), em estudos com sementes de feijão-caupi, observaram que, o coeficiente de difusão aumentou com a elevação da temperatura, apresentando valores entre $5,047 \times 10^{-11}$ a $12,011 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para a faixa de temperatura de 30 a 50°C.

Segundo Santos et al. (2016), vários fatores influenciam a quantidade de calor que atravessa uma massa granular, desta forma, os valores da difusividade térmica podem variar entre produtos e variedades devido, principalmente, à sua composição, massa específica, porosidade e teor de água.

Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que, em relação ao coeficiente de determinação o modelo de Page apresentou os melhores valores para todas as temperaturas estudadas. No entanto, se levando em consideração o parâmetro DQM o modelo de Handerson e Pabis na temperatura de 80°C é o que melhor representa os dados experimentais. Os parâmetros dos modelos estudados foram significativamente afetados pela temperatura do ar de secagem e teores de umidade inicial das sementes. A temperatura de secagem é fortemente influenciada na cinética do feijão branco, com o menor tempo a 450 minutos e o maior a 630 minutos. E a difusividade efetiva de massa, apresentou valores satisfatórios, confirmando que as moléculas de água sofrem maior resistência ao sair do produto em baixas temperaturas.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq pela bolsa de doutorado ao primeiro autor, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado dos demais autores.

Referências

- ABALONE, R.; GASTÓN, A.; CASSINERA, A. Thin layer drying of amaranth seeds. *Biosystems Engineering*, v.93, p.179-188, 2006.
- ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C. Higroscopicidade das sementes de feijão adzuki. *Científica*, v.41, n.2, p.130-137, 2013.
- APARICIO, F. X.; YOUSEF, G. G.; LOARCA, P. G.; MEJIA, G. E.; LILA, M. A. Characterization of polyphenolics in the seed coat of black jamapa bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.*, v.53, p.4615-4622, 2005.
- BENINGER, C. W.; HOSFIELD, G. L. Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions, and pure flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. seed coat color genotypes. *J. Agric. Food Chem.*, v.51, p.7879-7883, 2003.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. 395p.
- CAMICIA, R. G. M.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M.; CAMICIA, R. F. M. Modelagem do processo de secagem de sementes de feijão-caupi. *Revista Caatinga*, v.28, n.3, 2015.
- CAMPOS-VEJA, R.; OOMAH, B. D.; LOARCAPIÑA, G.; VERGARA-CASTAÑEDA, H. A. Common beans and their non-digestible fraction: Cancer Inhibitory Activity-an overview. *Foods*, v.2, n.3, p.374-392, 2013.
- CHOUNG, M. G.; CHOI, B. R.; AN, Y. N.; CHU, Y. H.; CHO, Y. S. Anthocyanin profile of Korean cultivated kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.*, v.51, p.7040-7043, 2003.

- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. A cultura do feijão. (Org.), Brasília: CONAB, 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 14/07/2018.
- DOYMAZ, I.; TUGRUL, N.; PALA, M. Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, v.77, n.3, p.559-65, 2006.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Statistics Division. Roma: FAO, 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2019.
- FARIA, R. Q.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.5, p.573-583, 2012.
- GONELI, A. L. D.; NASU, A. K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W. D.; SARATH, K. L. L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordiaverbenácea* DC.). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v.16, n.2, p.434-443, 2014.
- GRANITO, M.; PALOLINI, M.; PEREZ, S. Polyphenols and antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* stored under extreme conditions and processed. *LWT*, v.41, p.994-999, 2008.
- GUNHAN, T. Mathematical modelling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, v.46, n.11-12, p.1667-79, 2005.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. 1ª ed. Digital, São Paulo, 2008. 1020p.
- JANJAI, S.; MAHAYOTHEE, B.; LAMLERT, N.; BALA, B. K.; PRECOPPE, M.; NAGLE, M.; MÜLLER, J. Diffusivity, shrinkage and simulated drying of litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn.). *Journal of Food Engineering*, v.96, p.214-221, 2010.
- LIN, L. Z.; HARNLY, J. M.; PASTOR-CORRALES, M. S.; LUTHRIA, D. L. The polyphenolic profiles of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.*, v.107, p.399-410, 2008.
- LUIKOV, A. V. Analytical Heat Diffusion Theory. Academic Press, Inc., Ltd. London, 1968.
- MAZUR, C. E. Efeitos do feijão branco (*Phaseolus vulgaris* L.) na perda de peso. *Revista Brasileira de Nutrição Esportiva*, v.8, n.48, p.404-411, 2014.
- MELO, P. C.; DEVILLA, I. A.; CAETANO, J. M.; REIS, V. B. S. X.; ANTUNES, A. M.; SANTOS, M. M. Modelagem matemática das curvas de secagem de grãos de feijão carioca. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.11, n.3, 2016.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, v.66, n.4, p.513-518, 2005.
- MOSCON, E. S.; MARTIN, S.; SPEHAR, C. R.; DEVILLA, I. A.; RODOLFO JUNIOR, F. Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista Engenharia na Agricultura*, v.25, n.4, p.318-325, 2017.
- PEREIRA, J. C. A.; SILVA, R. C.; ARAUJO, K. T. A.; GOMES, J. P.; SILVA, W. P. Cinética de secagem de diferentes frutas comuns em feiras orgânicas. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2018, Maceió. Anais... Maceió, 2018.
- PONTES, L. V. Desidratação de frutas. Curso de Semana do Fazendeiro UFV. Viçosa-MG, 2002. Disponível em: http://www.semanadofazendeiro.ufv.br/wp-content/uploads/PROGRAMACAO_87a_SEMANA_DO_FAZENDEIRO_2016.pdf. Acesso em: 23 de janeiro de 2019.
- RESENDE, O.; ALMEIDA, D. P.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C.; SALES, J. F. Adzuki beans (*Vigna angularis*) seed quality under several drying conditions. *Food Science and Technology*, v.32, n.1, p.151-155, 2012.
- RIBEIRO, N. D.; DOMINGUES, L. S.; GRUHN, E. M.; ZEMOLIN, A. E. M.; RODRIGUES, J. A. Desempenho agrônomo e qualidade de cozimento de linhagens de feijão de grãos especiais. *Revista de Ciências Agronômicas*, v.45, p.92-100, 2014.
- SACILIK, K. Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Food Engineering*, v.79, n.1, p.23-30, 2007.
- SACILIK, K.; UNAL, G. Dehydration characteristics of Kastamonu garlic slices. *Biosystems Engineering*, v.92, n.2, p.207-15, 2005.
- SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.2, p.223-231, 2013.
- SANTOS, M. M.; DEVILLA, I. A.; MELO, P. C.; ANTUNES, A. M. Determinação e modelagem das propriedades térmicas e aerodinâmicas do feijão carioca em diferentes teores de água. In: Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG, 3, 2016, Pirenópolis. Anais...Pirenópolis, 2016.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S. Convectivo Adsorção e Dessorção. Versão 3.2 (2008 - 2018). Disponível em: <<http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/Convective.htm>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2019.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Difusividade efetiva de grãos e frutos de pinhão-mansão. Semina: Ciências Agrárias, v.33, p.2919-2930, 2012.

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO ÁCIDO ASCÓRBICO EM SUCOS DE FRUTAS DURANTE ARMAZENAMENTO REFRIGERADO

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva¹
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro²
Newton Carlos Santos³
Sâmela Leal Barros⁴
Amanda Priscila Silva Nascimento⁵
Raphael Lucas Jacinto Almeida⁶

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/Campus Campina Grande - PB, virginia.mirtes2015@gmail.com

²Mestrando em Ciências Agrárias (Agroecologia) da Universidade Federal da Paraíba, UFPB/Campus III Bananeiras – PB, victor_herbert_cg@hotmail.com

^{3,4,5}Mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEA/Campus Campina Grande – PB, newtonquimicoindustrial@gmail.com; samelaleal7@gmail.com; amandapricila@yahoo.com.br

⁶Mestrando em Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB; raphaelqindustrial@gmail.com

Introdução

O Brasil é um dos três maiores produtores mundiais de frutas, e a base agrícola da cadeia produtiva das frutas abrange 2,6 milhões de hectares e gera 6,0 milhões de empregos diretos. Características relacionadas à perecibilidade das frutas e as perdas ocasionadas pelas condições climáticas, colheita ou condições de estocagem pós-colheita das frutas, têm estimulado a produção de polpas e sucos. A demanda dos consumidores por produtos seguros, funcionais, nutracêuticos e frescos tem aumentado continuamente, o que contribui para o aumento do consumo de suco de frutas e bebidas à base de suco de frutas (ANDRADE, 2016).

O ácido ascórbico é uma vitamina hidrossolúvel encontrada em muitos sistemas biológicos e alimentos. No qual, está relacionado diretamente nas defesas antioxidantes do organismo eliminando diretamente os radicais livres de oxigênio e de óxido nítrico, pois o mesmo encontra-se no meio intra ou extracelular da maior parte dos órgãos, como também está ligado na reciclagem de α -tocoferil em α -tocoferol (MORAIS, 2011). Em virtude da incapacidade de sintetizar o ácido ascórbico, devido a ausência de uma enzima conhecida como L-gulono-gama-lactona oxidase, o ser humano depende inteiramente da ingestão deste micronutriente. As principais fontes de ácido ascórbico são as frutas e hortaliças, particularmente as frutas cítricas e os vegetais folhosos (PHILLIPS et al., 2010).

As frutas tais como laranjas, tangerinas, limões, cerejas, acerola, melões, abacaxi, mamão e goiaba são especialmente ricas em vitamina C. Os legumes normalmente utilizados em saladas como tomate, couve, pimentão e brócolis, também têm considerável quantidade de vitamina C (PINEDO, 2007).

Frutas são consideráveis fontes nutricionais de vitaminas, minerais e carboidratos solúveis, sendo que algumas possuem teores mais elevados de um ou de outro nutriente como, por exemplo, a acerola, que apresenta elevada quantidade de vitamina C. Outras frutas não são ricas no fornecimento de algum nutriente específico, como é o caso do abacaxi, que inclusive possui baixo teor de vitamina C, entretanto, apresentam grande aceitação por parte dos consumidores (MATSUURA & ROLIM, 2002).

Os sucos de frutas são ricos, principalmente, em ácido ascórbico. Essa vitamina hidrossolúvel participa da síntese de colágeno, atua como antioxidante, facilita a absorção de ferro no trato intestinal e promove a prevenção e cura de resfriados. No sentido de obter o mínimo de perdas relacionadas às suas propriedades nutricionais as frutas e hortaliças podem ser consumidas por meio de sucos, mas, devido à instabilidade da vitamina C, a recomendação é de que, os sucos devem ser consumidos assim que prontos. Os sucos industrializados, para serem considerados de boa qualidade nutricional, devem apresentar atributos semelhantes ao do produto original (LIMA et al., 2000).

A literatura apresenta vários relatos sobre a estabilidade do ácido ascórbico em sucos de frutas (DIONÍSIO et al., 2015; CAMELO, 2014; CARDOSO, 2013; AQUINO et al., 2011). A degradação do ácido

ascórbico em sucos de frutas pode ocorrer em condições aeróbicas ou anaeróbicas, ambas causando escurecimento, descoloração de pigmentos endógenos, perda ou mudança do sabor ou do odor, e mudança na textura. Por sua instabilidade, sua presença no alimento indica que provavelmente os demais nutrientes também estão sendo preservados (MAIA et al., 2007). No processamento de frutas, o ácido L-ascórbico pode reprimir o escurecimento enzimático pela reversão da oxidação dos polifenóis em oquinonas, que através de polimerização formam pigmentos escuros (VIEIRA et al., 2000).

Os sucos de frutas são consumidos e apreciados em todo o mundo, não só pelo seu sabor, mas, também, por serem fontes naturais de carboidratos, carotenóides, vitaminas, minerais e outros componentes importantes. Uma mudança apropriada na dieta em relação à inclusão de componentes encontrados em frutas e suco de frutas pode ser importante na prevenção de doenças e para uma vida mais saudável (PINHEIRO et al., 2006).

Levando-se em consideração esse alto consumo de sucos e sabendo que os tratamentos térmicos e armazenamento destes podem degradar as vitaminas, o presente trabalho tem como por objetivo, analisar e avaliar a degradação do ácido ascórbico (vitamina C) em sucos de frutas industrializados no decorrer do seu armazenamento.

Material e Métodos

Coleta das amostras

Foram adquiridas em supermercados com maior fluxo de vendas localizados na cidade de Campina Grande–PB, sucos de frutas pasteurizados acondicionadas em embalagens originais, do tipo Tetra Pak®, dentro do prazo de validade. As amostras selecionadas foram do sabor caju, limão, laranja, abacaxi e uva. As amostras coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, para posterior realização em triplicata do teor de ácido ascórbico.

Método analítico

O teor de ácido ascórbico foi determinado pelo método de Tillmans (BRASIL, 2008). Este método baseia-se na redução do corante sal sódico de 2,6-diclorofenol indofenol (DCFI) por uma solução ácida de vitamina C. O DCFI em meio básico ou neutro é azul, meio ácido é rosa e sua forma reduzida é incolor.

O ponto final da titulação é detectado pela viragem da solução de incolor para rosa, quando a primeira gota de solução do DCFI é introduzida no sistema, com todo o ácido ascórbico já consumido. A Equação 1 foi utilizada para expressar os resultados (mg de ácido ascórbico/100mL de suco).

$$\text{Ácido ascórbico} = \frac{v \times f \times 100}{m} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: v – volume gasto na titulação; f – fator de correção; m – massa da amostra.

Análise estatística

Foi realizada para os dados experimentais em triplicata, e os resultados foram submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade, e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de *Tukey* adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas o software STATISTICA versão 10 foi utilizado.

Resultados e Discussão

Na Figura 1 estão apresentados os teores de ácido ascórbico para o suco de caju no decorrer dos dias 0, 7, 14 e 21 de armazenamento refrigerado.

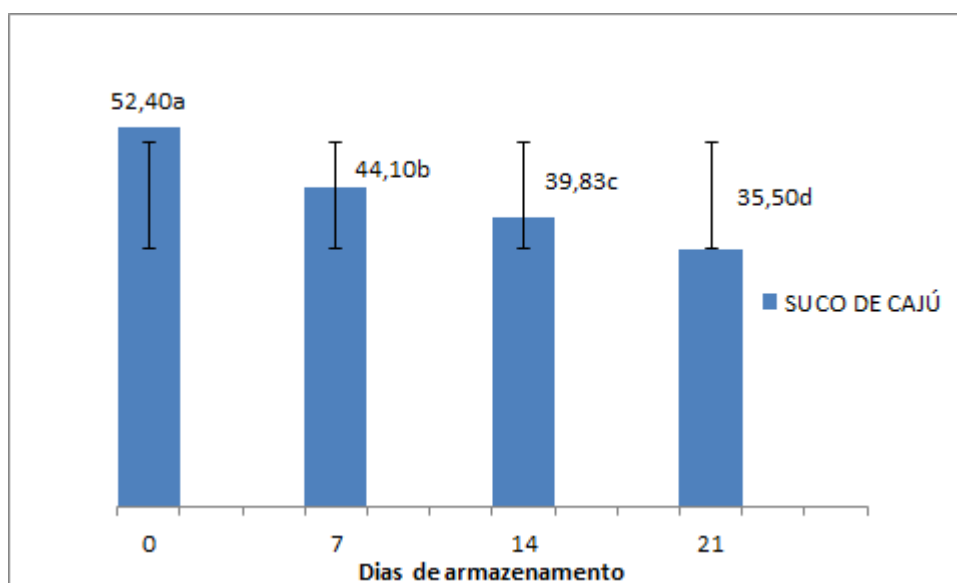


Figura 1. Estabilidade do ácido ascórbico em suco de caju.

Para o suco de caju, no decorrer do armazenamento, maiores degradações são observadas nos sete primeiros dias, onde o teor reduziu na faixa de 8,3mg/mL. Quando analisado em relação ao tempo, observa-se que houve menores degradações (Figura 1), entre o 7º e 14º dia há uma redução de 4,27mg/mL. No entanto, ao se comparar os valores do presente estudo aos obtidos por Souza et al. (2017), ao avaliarem o teor de ácido ascórbico de sucos industrializados de caju (20,34 a 72,68 mg/mL), se percebe que, os teores obtidos no presente estudo estão na faixa dos obtidos pela literatura citada em até 21 dias de armazenamento onde se enquadram.

Lavinas et al. (2006), em seus estudos com suco de caju, observaram redução do teor de ácido ascórbico nos sucos mantidos em temperatura ambiente por 24 h e estocados sob refrigeração por sete dias, ou sob congelamento por 120 dias, obteve o máximo de 8,12%. A taxa de redução do teor de ácido ascórbico é menor para o suco congelado do que para o refrigerado.

Na Figura 2 estão apresentados os teores de ácido ascórbico para o suco de limão no decorrer dos dias 0, 7, 14 e 21 de armazenamento refrigerado.

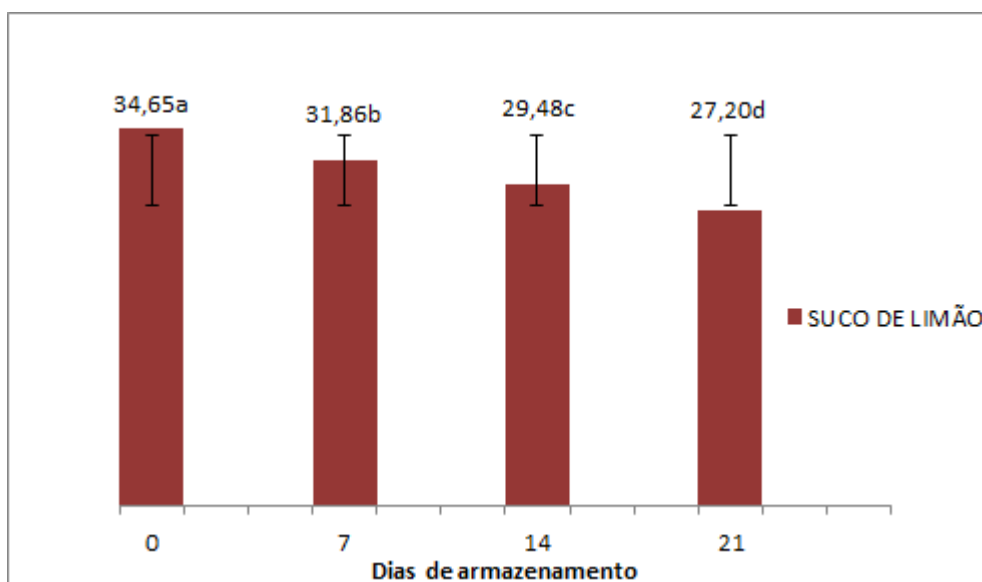


Figura 2. Estabilidade do ácido ascórbico em suco de limão.

O suco de limão é o que se apresenta as menores degradações do ácido ascórbico no decorrer do armazenamento, sendo esta degradação de 2,79mg/mL (7º dia), 2,38mg/mL (14º dia), 2,28mg/mL (21º dia), estatisticamente todos os dias de armazenamento apresentam diferença significativa entre si.

Na Figura 3 estão apresentados os teores de ácido ascórbico para o suco de laranja no decorrer dos dias 0, 7, 14 e 21 de armazenamento refrigerado.

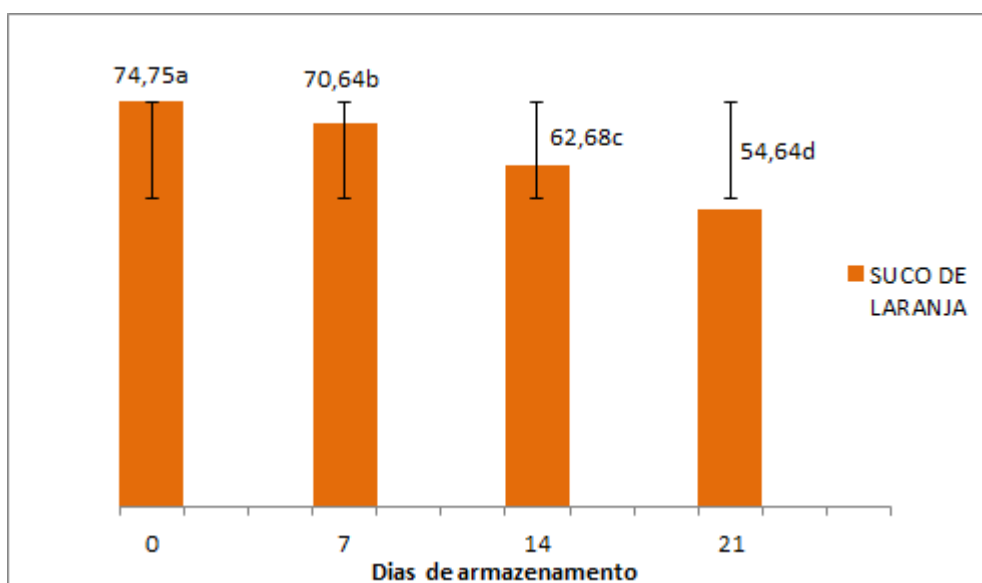


Figura 3. Estabilidade do ácido ascórbico em suco de laranja.

Na abertura da embalagem, o suco de laranja apresenta teor de ácido ascórbico de 74,74mg/mL. Valor este, inferior ao obtido por Silva et al. (2006) ao quantificarem o teor de ácido ascórbico em sucos de laranja, onde obtiveram teor de 83,78mg/mL; e superior ao teor inicial de todos os sucos analisados no presente estudo. No entanto, a degradação desse composto é maior nos dias 14 e 21 de armazenamento onde reduziram significativamente até 20,11mg/mL quando se comparado ao dia 0.

Os principais fatores que podem afetar a degradação da vitamina C em suco de fruta, incluem o tipo de processamento, condições de estocagem, tipo de embalagem, oxigênio, luz, catalisadores metálicos, enzimas e pH (TEIXEIRA & MONTEIRO, 2006).

Na Figura 4 estão apresentados os teores de ácido ascórbico para o suco de abacaxi no decorrer dos dias 0, 7, 14 e 21 de armazenamento refrigerado.

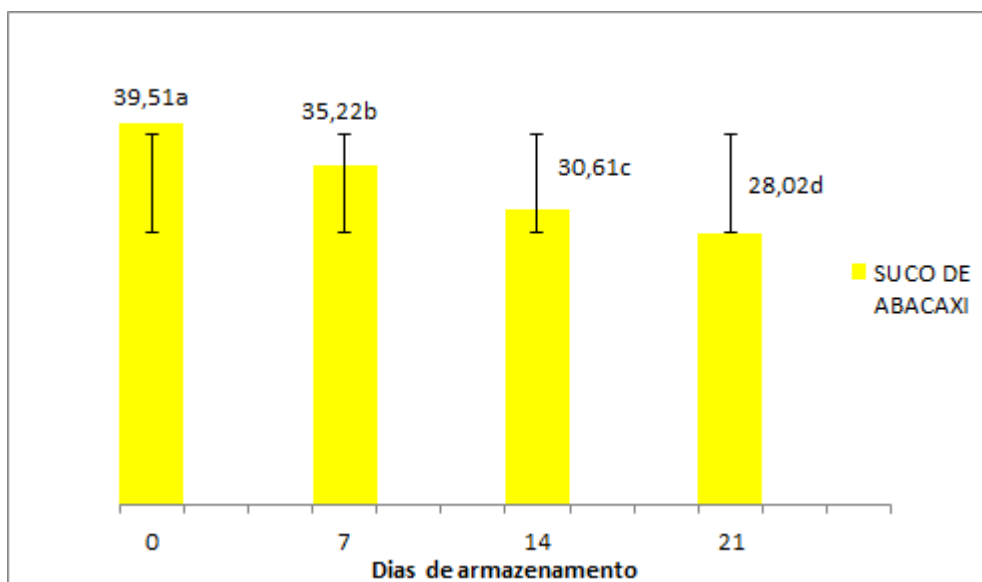


Figura 4. Estabilidade do ácido ascórbico em suco de abacaxi.

Observa-se que, ao decorrer do tempo de armazenamento, assim como nos demais sucos, há uma degradação do ácido ascórbico, quando se comparado os dias de armazenamento entre si, os mesmos apresentam diferença significativa. Havendo uma pequena redução de 4,19mg/mL entre o dia 0 e 7. Porém, ao se avaliar todo o armazenamento, se percebeu uma degradação de 11,49mg/mL ao fim do armazenamento do suco sob refrigeração.

Matsuura e Rolim (2002), ao avaliarem o suco de abacaxi integral e pasteurizado, obtiveram teor de ácido ascórbico de 20,9mg/mL, teor este, inferior ao obtido no presente estudo ao completar 21 dias

armazenamento sob refrigeração. Fato este, que pode estar relacionado devido às diferenças de acidez existentes entre as frutas.

Na Figura 5 estão apresentados os teores de ácido ascórbico para o suco de uva no decorrer dos dias 0, 7, 14 e 21 de armazenamento refrigerado.

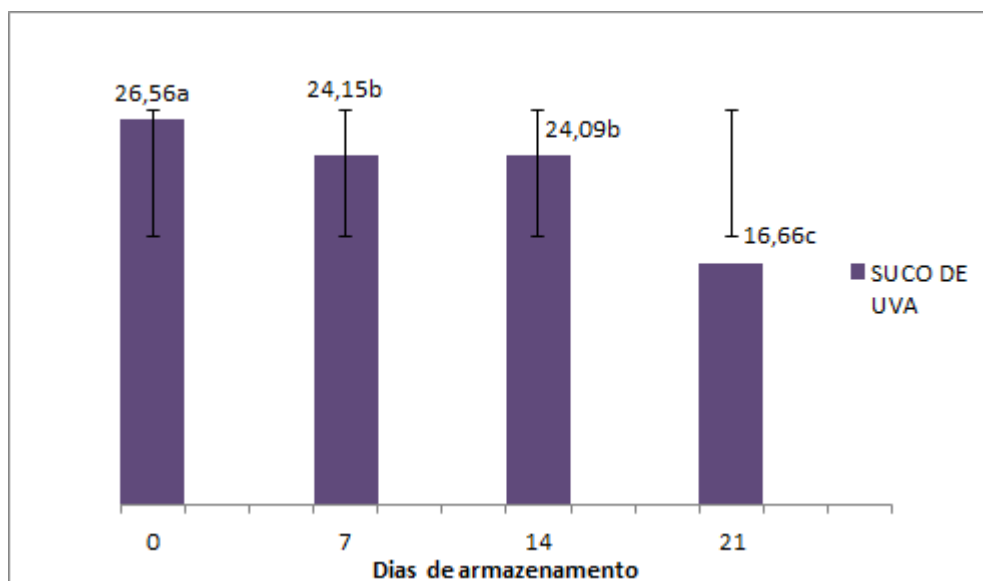


Figura 5. Estabilidade do ácido ascórbico em suco de uva.

No período de 7 a 14 dias de armazenamento, a degradação do ácido ascórbico não apresenta diferença estatística entre si, mas diferiu do dia 0 e 21 ao nível de 5% de probabilidade. No entanto do dia 0 aos 21 dias, observa-se uma degradação em até 9,9mg/mL. Contudo, os resultados obtidos no presente estudo, corroboram com os obtidos por Santana et al. (2008), ao caracterizarem diferentes marcas de sucos de uva comercializado em duas regiões do Brasil, obtiverem teores de ácido ascórbico que variou de 16,79 a 24,29 mg/mL.

Em função da instabilidade da vitamina C, recomenda-se que os sucos sejam consumidos logo após seu preparo. Entretanto, grande parte da população consome sucos fora do domicílio, principalmente em estabelecimentos comerciais onde nem sempre essa recomendação é seguida. Mesmo no próprio domicílio, por vezes as atribuições do cotidiano não permitem o consumo imediato do suco, o que poderia causar a perda da função do nutriente (LOPES et al., 2017).

Conclusão

Em todos os sucos analisados no decorrer do armazenamento, houveram perda nos teores de ácido ascórbico, sendo as maiores degradações ao fim de 21 dias de armazenamento, e menores nos 7 primeiros dias. Apenas o suco de uva apresentou uma pequena retenção desse composto, quando se comparou os dias 7 e 14 de armazenamento. Foi confirmado maiores degradações da vitamina C, para o suco de laranja (20,11mg/mL) e a menor para o suco de limão (7,45mg/mL), indicando pequena redução da vitamina durante o seu processamento.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela bolsa de doutorado ao primeiro autor e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado dos demais autores.

Referências

ANDRANDE, P. F. S. Análise da conjuntura agropecuária safra 2016/17. Estado do Paraná, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Departamento de Economia Rural, 2016. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2017/Fruticultura_2016_17.pdf. Acesso em: 26 de janeiro de 2019.

- AQUINO, A. C. M. S.; CARNELOSSI, M. A. G.; CASTRO, A. A. Estabilidade do ácido ascórbico e dos pigmentos da polpa de acerola congelada por métodos convencional e criogênico. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v.29, n.1, p.147-156, 2011.
- BRASIL. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 4º ed. 1ª edição digital. São Paulo, 2008. 1020p.
- CAMELO, C. O. Mercado internacional da amêndoa da castanha de caju: um panorama de 2003 a 2012. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gestão do Agronegócio). Universidade de Brasília. Brasília, 2014.
- CARDOSO, A. M. R.; SANTOS, A. M. S.; ALMEIDA, F. W. B.; ALBUQUERQUE, T. P.; XAVIER, A. F. C.; CAVALCANTI, A. L. Características físico-químicas de sucos de frutas industrializados: estudo in vitro. *Odonto*, v.21, n.41-42, p.9-17, 2013.
- DIONÍSIO, A. P.; SILVA, L. B. C.; VIEIRA, N. M.; GOES, T. S.; WURLITZER, N. J.; BORGES, M. F.; BRITO, E. S.; IONTA, M.; FIGUEIREDO, R. W. Cashew-apple (*Anacardium occidentale* L.) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) functional beverage improve the diabetic state in rats. *Food Research International*, v.77, p.171-176, 2015.
- LAVINAS, F. C.; ALMEIDA, N. D.; MIGUEL, M. A. L.; LOPES, M. L. M.; VALENTE-MESQUITA, V. L. Estudo da estabilidade química e microbiológica do suco de caju in natura armazenado em diferentes condições de estocagem. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.26, n.4, p.875-883, 2006.
- LIMA, V. L. A. G.; MÉLO, E. A.; LIMA, L. S. Avaliação da qualidade de suco de laranja industrializado. *Boletim Centr. Pesq. Process. Aliment.*, v.18, n.1, p.95-104, 2000.
- LOPES, F. M. C.; ROCHA, C. V. B.; ORSI, C. P. O. Araraquara como capital mundial do suco de laranja: uma abordagem interdisciplinar com enfoque na quantificação e estabilidade da vitamina C. In: Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica-EnICT, 2, 2017, Araraquara. Anais... Araraquara, 2017.
- MAHAN, L. K; ESCOTT, S. Alimentos, nutrição e dietoterapia (Tradução de Krause's food, nutrition e diet therapy, 12th ed.) São Paulo: Roca, 2010.
- MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; SANTOS, G. M.; SILVA, D. S.; FERNANDES, A. G.; PRADO, G. M. Efeito do processamento sobre componentes do suco de acerola. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, v.27, n.1, p.130-134, 2007.
- MATSUURA, F. C. A. U.; ROLIM, R. B. Avaliação da adição de Suco de acerola em suco de abacaxi visando à produção de um "blend" com alto teor de Vitamina C. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.24, n.1, p.138-141, 2002.
- MORAIS, A. L. F. Propriedades antioxidantes de bebidas e chás preparados a partir de diferentes formulações. 89f. Dissertação (Mestrado em Controle de Qualidade). Faculdade de Farmácia. Universidade do Porto. Porto, 2011.
- PHILLIPS, K. M.; TARRAGO-TRANI, M. T.; GEBHARDT, S. E.; EXLER, J.; PATTERSON, K. Y.; HAYTOWITZ, D. B.; PEHRSSON, P. R.; HOLDEN, J. M. Stability of vitamin C in frozen raw fruit and vegetable homogenates. *Journal of Food Composition and Analysis*, v.23, p.253-259, 2010.
- PINEDO, R. A. Estudo da estabilização da polpa de camu-camu (*Myciaria dubia* (N.B.K) Vc.Vaugh) congelada visando a manutenção de ácido ascórbico e antocianinas. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.
- PINHEIRO, A. M.; FERNANDES, A. G.; FAI, A. E. C.; PRADO, G. M.; SOUSA, P. H. M.; MAIA, G. A. Avaliação química, físico-química e microbiológica de sucos de frutas integrais: abacaxi, caju e maracujá. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, v.26, n.1, p.98-103, 2006.
- SANTANA, M. T. A.; SIQUEIRA, H. D.; REIS, K. C. D.; LIMA, L. D. O.; SILVA, R. J. L. Caracterização de diferentes marcas de sucos de uva comercializados em duas regiões do Brasil. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, n.3, p.882-886, 2008.
- SILVA, P. D.; LOPES, M. L. M.; VALENTE-MESQUITA, V. L. Efeito de diferentes processamentos sobre o teor de ácido ascórbico em suco de laranja utilizado na elaboração de bolo, pudim e geleia. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.26, n.3, p.678-682, 2006.
- SOUZA, L. F. S.; DOMINGOS, L. F.; FARIAS, V. L. S.; LUZIA, D. M. M. Avaliação físico-química e estabilidade do ácido ascórbico em sucos de frutas comercializados no município de Frutal, Minas Gerais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.12, n.4, p.791-787, 2017.
- TEIXEIRA, M.; MONTEIRO, M. Degradação da vitamina C em suco de fruta. *Alimentos e Nutrição*, v.17, n.2, p.219-227, 2006.
- VIEIRA, M. C.; TEIXEIRA, A. A.; SILVA, C. L. M. Mathematical modeling of thermal degradation kinetics of vitamin C in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar. *Journal of Food Engineering*, v.43, p.1-7, 2000.

DETERMINAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO NA SECAGEM DO SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

¹Virgínia Mirtes de Alcântara Silva

²Victor Herbert de Alcântara Ribeiro

³Newton Carlos Santos

⁴Sâmela Leal Barros

⁵Amanda Priscila Silva Nascimento

⁶Ana Júlia de Brito Araújo

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/Campus Campina Grande - PB, virginia.mirtes2015@gmail.com

² Mestrando em Ciências Agrárias (Agroecologia) da Universidade Federal da Paraíba, UFPB/Campus III Bananeiras – PB, victor_herbert@hotmail.com

^{3,4,5}Mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEA/Campus Campina Grande – PB, newtonquimicoindustrial@gmail.com; samelaleal7@gmail.com; amandapricila@yahoo.com.br

⁶Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEA/Campus Campina Grande – PB, a.juliaaraujo@gmail.com

Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), pertencente à família Poaceae, representa o terceiro maior cereal cultivado nos Estados Unidos e o quinto maior grão cultivado no mundo depois do trigo, do arroz, do milho e da cevada. É uma cultura agrícola rústica com aptidão para áreas tropicais, subtropicais e temperadas, tolerante a estresses abióticos e podendo ser cultivado em diferentes tipos de solos e sob condições salinas (ALMODARES & HADI, 2009; VASILAKOGLU et al., 2011).

É cultivada especialmente nas regiões áridas e semiáridas. As principais áreas de produção de sorgo hoje incluem grandes planícies da América do Norte, África Subsaariana, nordeste da China e o planalto Deccan da Índia central, Argentina, Nigéria, Egito e México (AWIKA & ROONEY, 2004). Em todo o mundo, existem mais de 7 mil genótipos do cereal, e o seu cultivo é de extrema importância nos continentes asiático e africano, além de outras regiões semiáridas do mundo, nas quais é utilizado diretamente na alimentação humana. Nos países ocidentais, como nos Estados Unidos, na Austrália e no Brasil, o sorgo é cultivado essencialmente para alimentação animal, podendo ser utilizado tanto na produção de silagem, biomassa, álcool ou grão (BORGHI et al., 2016).

A área cultivada de sorgo no Brasil está estimada em 626,5 mil hectares, com uma produção de grãos de 1,845 milhões toneladas e produtividade média de 2,97 toneladas. O Estado de Goiás lidera a produção nacional com 851,5 mil toneladas. Em segundo lugar, com 499,7 mil toneladas, está Minas Gerais, e em terceiro, Mato Grosso com 291,5 mil toneladas (CONAB, 2017).

Devido a adaptabilidade da cultura a diversas zonas climáticas, climas tropicais e temperados, a alta eficiência na utilização de água e a produção elevada de biomassa lignocelulósica, resistência a fungos e micotoxinas. Estas características são o diferencial do sorgo com relação a cultura dos outros cereais e permitem a sua expansão em regiões de cultivo com distribuição irregular de chuvas. A planta de sorgo se adapta a uma ampla variação de ambientes e produz sob condições desfavoráveis para a maioria dos outros cereais (MAGALHÃES et al., 2015).

O sorgo não possui glúten em sua composição e, portanto, torna-se uma boa fonte de energia livre de glúten ideal para as pessoas que sofrem de alergias de trigo ou glúten. É rico em fibras e minerais, além de possuir uma quantidade suficiente de carboidratos (72%), proteínas (11,6%) e gordura (1,9%). O amido é o principal constituinte do grão. O tamanho, a forma e a composição dos grânulos de amido do sorgo são similares aos do milho. A proteína do grão de sorgo contém globulina de albumina (15%), prolamina (26%) e glutelina (44%). O sorgo em geral é uma rica fonte de fibras e vitaminas do complexo B (GOPALAN et al., 2000; PATIL et al., 2010).

O sorgo vem despontando como uma alternativa altamente viável para uso na alimentação humana em razão principalmente de quatro fatores: 1) não possui glúten, por isso é totalmente seguro para o desenvolvimento de produtos para os celíacos, ou seja, indivíduos portadores de doença celíaca;

2) apresenta valor nutricional semelhante ao milho, porém o sabor é neutro, o que é uma grande vantagem na indústria de alimentos; 3) apresenta menor custo de produção, vislumbrando a possibilidade de redução dos custos na indústria alimentícia; 4) apresenta uma variedade de compostos bioativos com elevada capacidade antioxidante, com potencial para utilização em produtos com apelo funcional, ou seja, de promoção à saúde (PEREIRA FILHO & RODRIGUES, 2015).

As etapas referentes ao processo pré-colheita, colheita e pós colheita são decisivos para a qualidade dos produtos agrícolas em geral, bem como dos grãos de sorgo. Visando reduzir as perdas relacionadas as etapas pós-colheita, como também garantir a produção de alimentos de qualidade, a agroindústria tem investido em estudos e aplicações de tecnologias que proporcionam ao produto uma maior vida útil. Com a perspectiva de crescimento da cultura do sorgo, aumenta-se a necessidade do aprimoramento de técnicas de produção, colheita e secagem para garantir a sustentabilidade do sistema (BOTELHO et al., 2015; SILVA et al., 2018).

Na fase de pós-colheita, a secagem é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e estabilidade dos produtos vegetais, pois a diminuição do teor de água do material reduz a atividade biológica na massa de grãos, assim como as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento. Além da redução na deterioração dos alimentos, a secagem possibilita o desenvolvimento de novos produtos (ARAÚJO et al., 2014).

De acordo com Park (2001), a secagem é uma das operações unitárias aplicadas com o objetivo de melhorar a estabilidade do alimento por meio da retirada de água de um material mediante a evaporação. Neste processo, estão envolvidos mecanismos simultâneos de transferência de calor e massa. A troca de energia sob a forma de calor é motivada pela diferença de temperatura entre o alimento e o ar aquecido do aparelho, enquanto a de massa se dá devido à diferença da pressão parcial de vapor da corrente de ar e do produto ocasionando o arraste do vapor do alimento.

As curvas de secagem oferecem informações valiosas para entender o mecanismo de migração de água do produto, bem como seus parâmetros cinéticos de secagem (CHEN et al., 2012). O estudo do processo de secagem fornece informações relativas ao comportamento do fenômeno de transferência de calor e massa entre o material biológico e o elemento de secagem, normalmente ar atmosférico, aquecido ou não; essas informações são fundamentais para o projeto, operação e simulação de sistemas de secagem e secadores (CORRÊA et al., 2003).

O coeficiente de difusão é um importante parâmetro utilizado para analisar a cinética de secagem, pois permite avaliar e comparar a velocidade de secagem de produtos com tamanhos, formas e texturas diferentes. Além disso, por meio da análise da dependência do coeficiente de difusão com a temperatura, podem-se determinar alguns índices termodinâmicos que possibilitam avaliar energeticamente o processo de secagem. Através da segunda lei de Fick, que retrata a teoria da difusão líquida, se calcula o coeficiente de difusão teórico que estabelece uma relação do coeficiente de difusão com o gradiente de concentração de um meio (BOTELHO et al., 2015).

No caso específico do sorgo, a literatura é escassa apesar da espécie ter começado a despertar interesse, com ênfase nas características agrônômicas e alimentares devido às características do grão. Considerando a relevância do processo de secagem e as características do grão de sorgo, o presente trabalho tem o objetivo de realizar a cinética de secagem do sorgo, em diferentes temperaturas de ar de secagem de 40, 50, 60, 70 e 80°C, e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem, selecionando aquele que melhor descreve o fenômeno. Além de determinar a difusividade efetiva de massa considerando a geometria de um cilindro infinito.

Material e Métodos

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) foi adquirido no município de Sumé-PB. As amostras foram encaminhadas e os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Alimentos, da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande - PB.

Cinética de secagem

As amostras foram colocadas em bandejas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina. Para iniciar o experimento, as bandejas foram colocadas em um secador com circulação de ar com velocidade de ar de 1,5 m/s, para a realização das cinéticas de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C, no início e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com IAL (2008).

Através dos dados experimentais, foi possível calcular os valores da razão do teor de água (Equação 1). Com o cálculo da razão de teor de água do sorgo, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos, aplicando os modelos matemáticos (Tabela 1) de Newton, Page e Exponencial de dois termos para ajustar os dados experimentais.

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs(\text{inicial})} - X_e} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: RX = Razão de umidade (Adimensional); X_e = Teor de água de equilíbrio em base seca; X_{bs} = Teor de água em base seca; $X_{bs(\text{inicial})}$ = Teor de água inicial em base seca.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem

Modelo	Equação
Newton	$RX = \exp(-Kt)$ (Eq.2)
Page	$RX = \exp(-k \times t^n)$ (Eq.3)
Exponencial de dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$ (Eq.4)

Análise estatística

Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais foi utilizado o programa computacional STATISTICA, versão 7, utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 5).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pred}})^2}{N}} \quad (\text{Eq.5})$$

Em que: RX_{exp} = Razão de teor de água obtida experimentalmente; RX_{pre} = Razão de teor de água predita pelo modelo matemático; N = número de observações ao longo da cinética de secagem.

Cálculo da difusividade efetiva (Def)

A difusividade efetiva foi obtida por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida, descrita pela Equação (6), aos dados experimentais da secagem do sorgo, fazendo uso de soluções analíticas e considerando a condição de contorno convectiva, considerando-se a forma geométrica do produto como cilindro infinito, devido a sua geometria, desconsiderando-se a contração volumétrica (LUIKOV, 1968). A otimização foi feita usando o programa "Convectivo" (SILVA & SILVA, 2008). O Convectivo é usado para estudar processos de difusão de água com dados experimentais conhecidos, para as seguintes geometrias: parede infinita, cilindro infinito, esfera, cilindro finito e paralelepípedo, seguindo as Equações 6, 7, 8 e 9.

$$\bar{X}(t) = X_{eq} - (X_{eq} - X_0) \sum_{n=1}^{16} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{Def}{R^2} t\right) \quad (\text{Eq.6})$$

Onde: $\bar{X}(t)$: o teor de umidade no instante t; X_{eq} : o teor de umidade para $t \rightarrow \infty$; X_0 : o teor de umidade para $t=0$; R: o raio; Def: a difusividade efetiva; t: o tempo.

O parâmetro B_n é dado pela Equação 7:

$$B_n = \frac{4Bi^2}{\mu_n^2 (Bi^2 + \mu_n^2)} \quad (\text{Eq.7})$$

O número de Biot é obtido de acordo com a Equação 8:

$$Bi = \frac{hR}{Def} \quad (\text{Eq.8})$$

Onde: h: o coeficiente convectivo de transferência de massa; R: o raio; Def: a difusividade.

Sabendo-se que a Equação 9 é característica de um cilindro infinito.

$$\frac{J_0(\mu_n)}{J_1(\mu_n)} = \frac{\mu_n}{Bi} \quad (\text{Eq.9})$$

Onde: J_1 : função de Bessel de primeiro tipo e primeira ordem; J_0 : função de Bessel de primeiro tipo e ordem zero; Bi: número de Biot; μ_n : raízes característica de um cilindro infinito.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 se encontra expresso os valores dos parâmetros obtidos para os modelos matemáticos Newton, Page e Exponencial de dois termos, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem do sorgo, foram obtidos os coeficientes de determinação (R^2) e os desvio quadrático médio (DQM), para a temperatura de 40, 50, 60, 70 e 80°C.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem do sorgo nas temperaturas de 40, 50 60, 70 e 80°C

Modelos		Parâmetro de ajuste			
Newton	K	-	-	R^2	DQM
40 °C	0,004815			0,99886	1,71E-02
50 °C	0,006865			0,99323	2,92E-02
60 °C	0,011109			0,98203	5,83E-02
70 °C	0,015218			0,98659	5,09E-02
80°C	0,018929			0,98894	4,69E-02
Page	K	N	-	R^2	DQM
40 °C	0,003623	1,054283		0,99922	1,40E-02
50 °C	0,014225	0,850025		0,99784	2,29E-02
60 °C	0,032677	0,748537		0,99713	2,34E-02
70 °C	0,038874	0,762641		0,99775	2,21E-02
80°C	0,044168	0,773152		0,99701	2,44E-02
Exponencial de dois termos	K	a	-	R^2	DQM
40 °C	0,054936	0,003202		0,99876	1,77E-02
50 °C	0,057285	0,006039		0,99462	3,20E-02
60 °C	0,058300	0,100179		0,99863	1,86E-02
70 °C	0,777903	0,204860		0,99607	2,80E-02
80°C	1,493508	0,238488		0,9961	2,78E-02

R^2 : coeficientes de determinação; DQM: desvios quadráticos médios; k: constante de secagem; "a", "n": parâmetros dos modelos matemáticos; E: expoente em base 10.

Através da Tabela 2, se verifica que todos os dados obtidos para a secagem de sorgo se ajustam bem aos modelos matemáticos de Newton, Page e Exponencial de dois termos, apresentando coeficientes de determinação superiores a 98% e baixos valores de DQM.

O modelo de Page se adequa bem aos dados experimentais obtidos, resultando em coeficientes de determinação (R^2) superiores a 99%, o menor DQM obtido nesse modelo é na temperatura de 40°C (1,40E-02), valor inferior aos obtidos nos demais modelos estudados. O modelo Exponencial de dois

termos apresenta valores R^2 superiores a 99% e baixos valores de DQM ($1,77E-02$ a $3,20E-02$), em que, o menor valor para o DQM é o obtido também na temperatura de 40°C . Indicando assim uma representação satisfatória do processo de secagem nas condições estudadas para estes modelos.

Com relação ao modelo de Newton, os valores do coeficiente de determinação (R^2) se apresentam superiores a 99%. Contudo, quando a temperatura do ar aplicada no processo de secagem convectiva é superior a 60°C , ocorre uma diminuição no R^2 para 98%. Além de haver um coeficiente abaixo de 99% nas três temperaturas, este modelo apresenta valores superiores de DQM quando comparado aos demais modelos aplicados no processo, variando de $1,71E-02$ na temperatura de 40°C e $5,83E-02$ na temperatura de 60°C , indicando menor precisão na descrição da secagem do sorgo.

Pessoa et al. (2011), ao realizarem secagem convectiva em grãos de sorgo em camada fina, verificaram que, dentre os modelos ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem dos grãos de sorgo, a equação de Midilli apresentou os maiores valores de coeficientes de determinação e os menores desvios quadráticos médios. Esteca et al. (2017), ao estudarem a cinética de secagem do sorgo concluíram que, os modelos de Page e Overhults foram aqueles que melhor se ajustaram aos dados experimentais, fato comprovado pelo coeficiente de correlação (R^2).

Segundo Martins et al. (2014), ao selecionar um modelo não linear para descrever um processo de secagem, torna-se necessário avaliar não somente os valores de R^2 mas se deve considerar também os desvios quadráticos médios (DQM). Pode-se inferir que, dentre os modelos aplicados, o modelo de Page apresenta melhor ajuste aos dados experimentais, pois apresenta um R^2 mais próximo de 1 e o menor valor de DQM, representando maior confiabilidade do modelo na descrição do processo de secagem quando comparado aos demais modelos estudados.

Constata-se que, a temperatura do ar aplicada no processo de secagem, possui grande influência sobre o parâmetro “k” que corresponde a constante da taxa de secagem nos modelos matemáticos empregados, tal parâmetro aumenta com a elevação da temperatura evidenciando também a diminuição do tempo necessário para a realização do processo de secagem. Santos et al. (2018) obtiveram resultados semelhantes nos seus estudos sobre secagem.

Segundo Corrêa et al. (2007), no modelo de Page, o parâmetro “n” indica a resistência interna do produto estudado ao processo de transferência de massa. A maior resistência do produto ao processo de secagem ocorre na temperatura de 40°C , e a menor resistência do produto ocorre na temperatura de 70°C . Este parâmetro apresenta correlação com a temperatura aplicada e varia de 0,748537 a 1,054283, porém nas temperaturas de 70 e 80°C os dados obtidos para este parâmetro são semelhantes.

Nas Figuras 1, 2, e 3 observa-se a cinética de secagem do sorgo em camada fina a diferentes temperaturas de ar de secagem para os modelos de Newton, Page e Exponencial de dois termos. Observa-se que, o aumento da temperatura, reduz o tempo de secagem aumentando a taxa de perda de água. O tempo de secagem varia de 630 a 390 minutos, sendo o maior e menor tempo respectivamente para as temperaturas de 40 e 80°C .

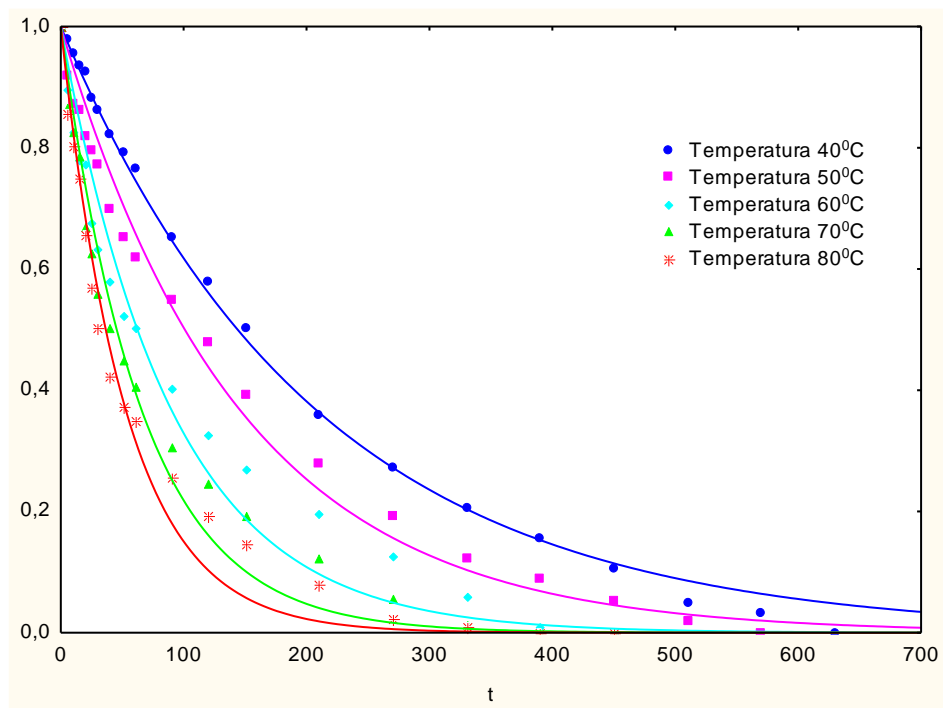


Figura 1. Curvas de secagem do sorgo obtido pelo modelo matemático de Newton.

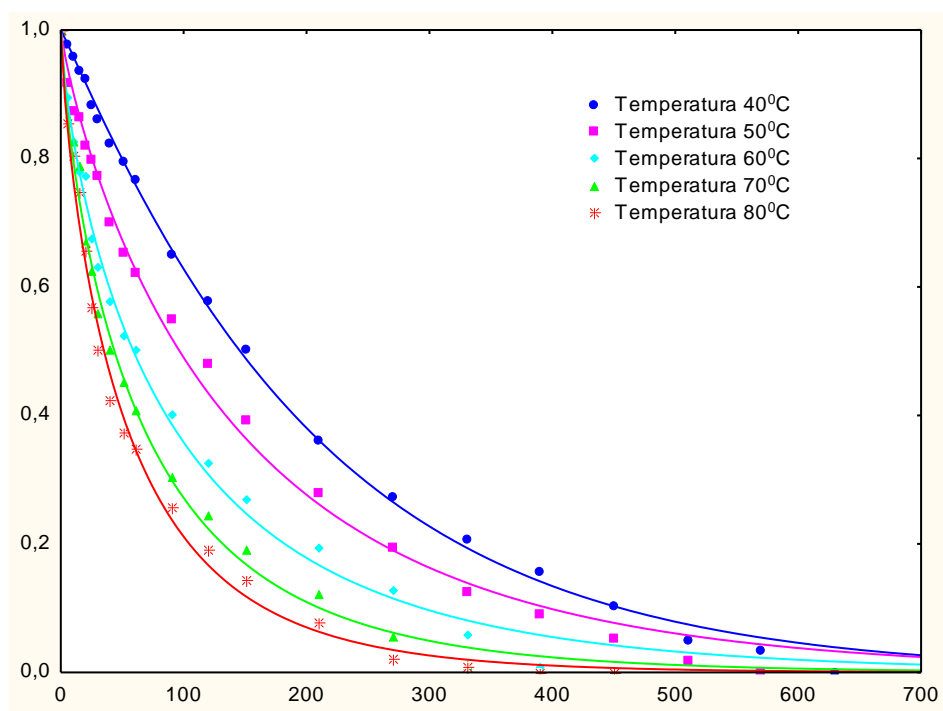


Figura 2. Curvas de secagem do sorgo obtido pelo modelo matemático de Page.

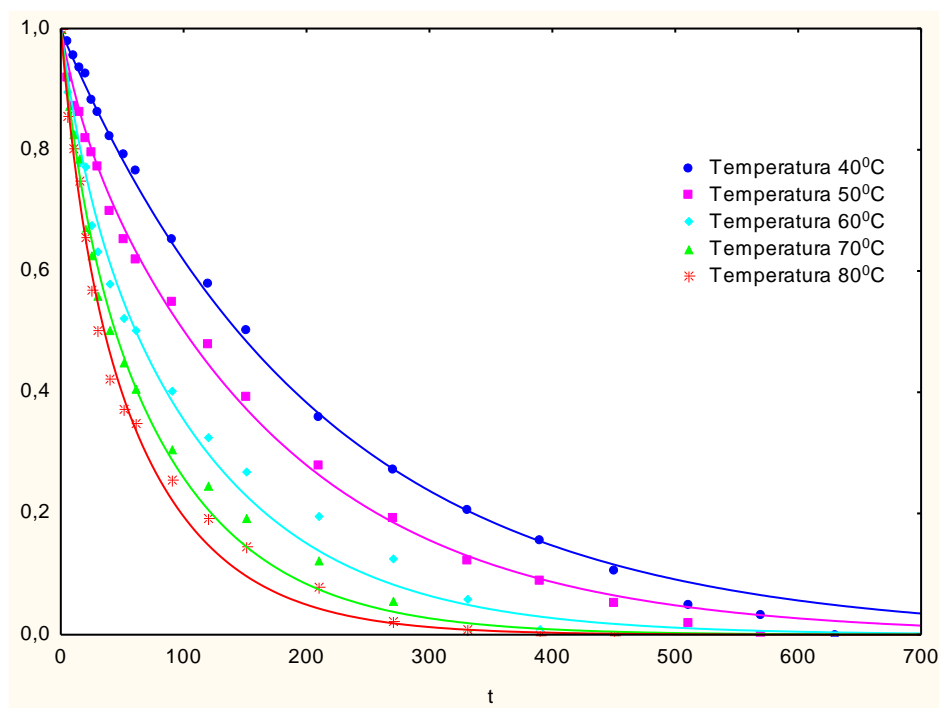


Figura 3. Curvas de secagem do sorgo obtido pelo modelo matemático Exponencial de dois termos.

Os valores obtidos para difusividade efetiva de massa das cinco temperaturas estudadas se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados das secagens utilizando o modelo de difusão líquida

Temperatura (°C)	Difusividade efetiva (m ² /s)
40	5,35E-09
50	6,49E-09
60	10,3E-09
70	11,4E-09
80	14,2E-09

Através da Tabela 3, observa-se que a temperatura aplicada no processo secagem é diretamente proporcional a difusividade efetiva calculada, variando de 5,35E-09 a 14,2E-09. Estes valores foram superiores aos obtidos por Jittanit (2011), que ao estudar a secagem de sementes de abóbora obteve valores de 3,76E-10 a 5,09E-10 para as temperaturas de 60, 70 e 80°C; e Silva et al. (2018), que ao analisar a secagem de sementes de melão, obtiveram valores de difusividade que variaram de 1,55E-10 a 2,091E-10 para as temperaturas de ar de secagem de 35, 40, 45 e 50°C.

Botelho et al. (2015), constataram que o coeficiente de difusão efetivo dos grãos de sorgo aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem, para ambas as cultivares BRS 308 e NIDERA A 9721 de sorgo. A dependência desse coeficiente com a temperatura de secagem é frequentemente observada na maioria dos estudos de secagem de grãos em que se busca determinar esse coeficiente. Apesar do sorgo ser um tipo de grão predominantemente amiláceo, algumas variações físicas que ocorrem devido à característica varietal, como a relação superfície-volume e o tamanho médio dos grãos, podem interferir na velocidade de secagem.

Segundo Pereira et al. (2018), a difusividade efetiva representa o fluxo de água ao sair do produto durante a secagem. Sendo assim se pode observar na Tabela 3, que na medida em que, se aumenta o gradiente de temperatura maior é o valor obtido para este parâmetro, pois em temperaturas inferiores como a de 40°C, as moléculas de água sofrem maior resistência ao sair do corpo devido a sua composição e estrutura física, fazendo com que, a água seja mais ligada às moléculas que constituem a massa seca. Constata-se, portanto que, quanto maior é a temperatura empregada no processo, menor é a resistência proporcionada pelo produto para a transferência de massa.

Conclusão

Os modelos empregados neste estudo ajustaram-se bem aos dados experimentais, podendo ser utilizados nas previsões das cinéticas de secagem, nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C.

O modelo Page apresentou o melhor valor para o R^2 na secagem a 40°C e o menor DQM foi observado para a secagem também a 40°C.

A cinética de secagem do sorgo mostra que a temperatura é a variável de maior influência no processo, e que o tempo de secagem do sorgo diminuiu em função do aumento da temperatura de secagem.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq pela bolsa de doutorado ao primeiro autor, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado dos demais autores.

Referências

- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review, *African Journal of Agricultural Research*, v.4, n.9, p.772-780, 2009.
- ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTIS, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.279-286, 2014.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential aspects on human health. *Phytochemistry*, v.65, p.1199-1221, 2004.
- BORGHI, E.; GOTIJO NETO, M. M.; RESENDE, A. V.; PEREIRA FILHO, I. A.; CORREA, L. V. T. Importância econômica, análise conjuntural, estratégias de manejo e recomendações técnicas para o cultivo de sorgo granífero no Estado de Goiás. *Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E)*, 2016.
- BOTELHO, F. M.; GARCIA, T. R. B.; VIANA, J. L.; BOTELHO, S. C. C.; SOUSA, A. M. B.; Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo de grãos de sorgo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.14, n.2, p.260-272, 2015.
- CHEN, D.; ZHANG, Y.; ZHU, X. Drying kinetics of rice straw under isothermal and nonisothermal conditions: A comparative study by thermogravimetric analysis, *Energy & Fuels*, v.26, n.7, p.4189-4194, 2012.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2016/2017– 1º Levantamento. 2017. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_10_16_16_34_39_graos_outubro_2017.pdf. Acesso em: 24 de janeiro de 2019.
- CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Determinação dos parâmetros de secagem em camada delgada de sementes de milho doce (*Zea mays* L.). *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.2, p.110-119, 2003.
- CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO A. P.; GONELI, A. L. G.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.2, p.501-510, 2007.
- ESTECA, G. F.; BRITO, R. C.; BÉTTEGA, R. Caracterização física e cinética de secagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 12, 2017, São Paulo. Anais...São Paulo: Blucher, 2017. p.2159-2164.
- GOPALAN, C.; SASTRY, B. V.; BALSUBRAMANYAM, S. C. Nutritive Value of Indian Foods. National Institute of Nutrition. I.C.M.R., Hyderabad, 2000.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. 1ª ed. Digital, São Paulo, 2008. 1020p.
- JITTANIT, W. Kinetics and temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying. *Kasetsart Journal-Natural Science*, v.45, n.1, p.147-158, 2011.
- LUIKOV, A. V. Analytical Heat Diffusion Theory. Academic Press, Inc., Ltd., London. 1968.
- MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de; SCHAFFERT, R. E. Ecofisiologia. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). Cultivo do sorgo. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2).
- MARTINS, J. J. A.; MARQUES, J. I.; SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. *Bioscience Journal*, v.30, n.6, p.1652-1660, 2014.

- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. *Ciência e Tecnologia em Alimentos*, v.21, n.3, p.288-292, 2001.
- PATIL, P. B.; SAJJANAR, G. M.; BIRADAR, B. D.; PATIL, H. B.; DEVARNAVADAGI, S. B. Technology of hurda production by microwave oven. *Journal of Dairying, Foods and Home Sciences*, v.29, p.232-236, 2010.
- PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Embrapa Milho e Sorgo-Document, Brasília-DF, 2015.
- PEREIRA, J. C. A.; SILVA, R. C.; ARAUJO, K. T. A.; GOMES, J. P.; SILVA, W. P. Cinética de secagem de diferentes frutas comuns em feiras orgânicas. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2018, Maceió. Anais... Maceió, 2018.
- PESSOA, T.; GALDINO, P. O.; GURJÃO, G. C.; GURJÃO, F. F.; MATA, M. E. R. M. C. Secagem convectiva de grãos de sorgo em camada fina por secador de leito fixo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.6, n.1, p.247-255, 2011.
- SANTOS, H. H.; RODOVALHO, R. S.; SILVA, D. P.; MORGADO, V. N. M. Drying kinetics of passion fruit seeds. *Científica*, v.46, n.1, p.49-56, 2018.
- SILVA, I. L.; SILVA, H. W. D.; CAMARGO, F. R.; FARIAS, H. F.; FREITAS, E. D. F. Secagem e difusividade de sementes de melão. *Revista de Ciências Agrárias*, v.41, n.2, p.21-30, 2018.
- SILVA, L. C. M.; RESENDE, O.; FERREIRA, W. N. J.; OLIVERIA, D. E. C.; SOUZA, D. G.; RODRIGUES, G. B. Difusão líquida durante a secagem de grãos de sorgo granífero em diferentes condições. In: Congresso Estadual de Iniciação Científica e Tecnológica do IF Goiano, 7, 2018, Rio Verde. Anais...Rio Verde, 2018.
- SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S. Convectivo Adsorção e Dessorção, Versão 3.2 (2008 - 2018). Disponível em: <http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/Convective.htm>. Acesso em: 23 de janeiro de 2019.
- VASILAKOGLU, I.; DHIMA, K.; KARAGIANIANNIDIS, N.; GATSI, T. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. *Fields Crops Research*, v.120, n.1, p.38-46, 2011.



POTENCIAL DE IRRIGAÇÃO DOS SOLOS DA ÁREA DE TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO NO ESTADO DA PARAÍBA

Paulo Roberto Megna Francisco¹
Gutemberg da Silva Silvino²
Vera Lucia Antunes de Lima³
João Miguel de Moraes Neto⁴
Hayssa Thyara Silva Barreto⁵

¹Dr. em Eng. Agrícola, UEPB, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

²Dr. Prof. Associado, UFPB, Areia-PB, guttembergs@gmail.com

³Dra. Profa. Titular, UFCG, Campina Grande-PB, antuneslima@gmail.com

⁴Dr. Prof. Titular, UFCG, Campina Grande-PB, j.miguel.moraes@hotmail.com

⁵Graduanda em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hayssathyara@hotmail.com

Introdução

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional é a mais importante ação estruturante, no âmbito da política nacional de recursos hídricos, tendo por objetivo a garantia de água para o desenvolvimento socioeconômico dos estados mais vulneráveis às secas. Neste sentido, ao mesmo tempo em que garante o abastecimento por longo prazo de grandes centros urbanos da região e de centenas de pequenas e médias cidades, o projeto beneficia áreas do interior com razoável potencial econômico, estratégicas no âmbito de uma política de desconcentração do desenvolvimento, polarizado até hoje, quase exclusivamente, pelas capitais dos estados. Ao interligar os açudes estratégicos do Nordeste Setentrional com o rio São Francisco, o projeto irá permitir no Estado da Paraíba o aumento da garantia da oferta hídrica, a redução dos conflitos existentes na bacia do Paraíba, uma melhor e mais justa distribuição espacial da água ofertada pelos açudes (BRASIL, 2017).

De acordo com Sampaio et al. (2011), nas últimas décadas, a irrigação tem desempenhado papel indispensável ao incremento da produtividade de culturas básicas, possibilitando o desenvolvimento econômico de muitas regiões, e ao mesmo tempo incorporando novas áreas ao processo produtivo, garantindo com isso, o abastecimento interno e ampliando as exportações de produtos agrícolas.

Conforme Amaral (2005), o uso da irrigação viabiliza a produção agrícola especialmente em áreas áridas e semiáridas, como no caso do Nordeste brasileiro, onde a escassez hídrica representa uma séria limitação para o desenvolvimento socioeconômico, que se traduz em baixos níveis de renda e padrões insatisfatórios de nutrição, saúde e saneamento de parcela representativa da sua população. A adoção e a aplicação de metodologias atualizadas de classificação de terras para a irrigação podem permitir o planejamento do uso da terra com vistas ao desenvolvimento sustentável. Essas ações poderiam minimizar a degradação das terras e/ou da baixa taxa de retorno econômico, que afetam em muitos casos o pleno sucesso dos projetos irrigados.

A prática da irrigação, no entanto, tem sido apresentada por vários especialistas como a técnica mais adequada para garantir a produção agrícola e reduzir os riscos de perdas em virtude das variações pluviométricas ocorridas na maior parte do Nordeste brasileiro (SOUSA et al., 2003). Esses riscos são constantes em região caracterizada por clima semiárido, com ocorrências frequentes de perdas de rendimento a cada safra agrícola, especialmente em cultivos não irrigados (SOUZA et al., 2007).

Devido à crescente necessidade de um planejamento adequado e sustentável das atividades humanas, o entendimento dos ecossistemas e, principalmente, da prestação de serviços ambientais por esses ambientes tornou-se imperativo (SANCHEZ et al., 2009). O conhecimento dos recursos naturais (solos, clima, vegetação e relevo) constitui parte do embasamento indispensável para a avaliação do potencial de uso das terras. Estas informações, combinadas com os contextos sociais, econômicos e culturais, levam à possibilidade de análise das oportunidades, das restrições e dos impactos ligados ao uso da terra. Desse modo, é possível identificar áreas com maior ou menor aptidão para as mais diversas atividades, sejam agrícolas ou não, considerando aspectos de equidade e justiça social e responsabilidade no uso dos recursos naturais, visando benefícios coletivos (BENEDETTI et al., 2008).

A expressão “diagnóstico ambiental” tem sido usada com diferentes conotações por órgãos ambientais, universidades, associações profissionais, etc. Contudo, diagnóstico ambiental pode ser definido como o conhecimento de todos os componentes ambientais de uma determinada área para a caracterização da sua qualidade ambiental (PAULINO, 2010). Portanto, elaborar um diagnóstico ambiental é interpretar a situação ambiental dessa área, a partir da interação e da dinâmica de seus componentes, quer relacionado aos elementos físicos e biológicos, quer aos fatores socioculturais. A caracterização da situação ou da qualidade ambiental pode ser realizada com objetivos diferentes. Um deles é servir de base para o conhecimento e o exame da situação ambiental, visando traçar linhas de ação ou tomar decisões para prevenir, controlar e corrigir problemas ambientais como políticas ambientais e programas de gestão ambiental (VERDUM & MEDEIROS, 2002).

Os fenômenos terrestres vêm sendo, a cada dia, mais bem compreendidos com a adoção de uma abordagem multi e interdisciplinar, por meio da integração do estudo das diversas variáveis que controlam os sistemas naturais, mesmo que modificados em relação aos originais, como, por exemplo, os ecossistemas agrícolas (VIDAL-TORRADO et al., 2005).

Conforme Francisco et al. (2012), na atualidade, o avanço da tecnologia da informação, a disponibilização de imagens de satélite em altas resoluções e de programas computacionais para a análise ambiental houve um grande avanço nos estudos relacionados à gestão dos recursos naturais. Neste contexto, o geoprocessamento surge como uma disciplina que utiliza um conjunto de técnicas matemáticas e computacionais, na forma de programas, o sistema de informações geográficas, que possibilita combinações de informações provenientes de diferentes procedimentos tecnológicos, gerando novas informações, que auxiliam a tomada de decisões, em contextos os mais diversos (DUARTE & BARBOSA, 2009).

Portanto, este trabalho tem o objetivo de realizar para o Estado da Paraíba, o mapeamento das terras potencialmente irrigáveis do projeto de integração do Rio São Francisco utilizando geotecnologias.

Material e Métodos

A área de estudo compreende a bacia Alto Paraíba, com área de 6.717,39 km² localizada sobre o Planalto da Borborema ao centro sul do Estado da Paraíba, divisa ao sul com Pernambuco (PARAÍBA, 2006) (Figura 1).

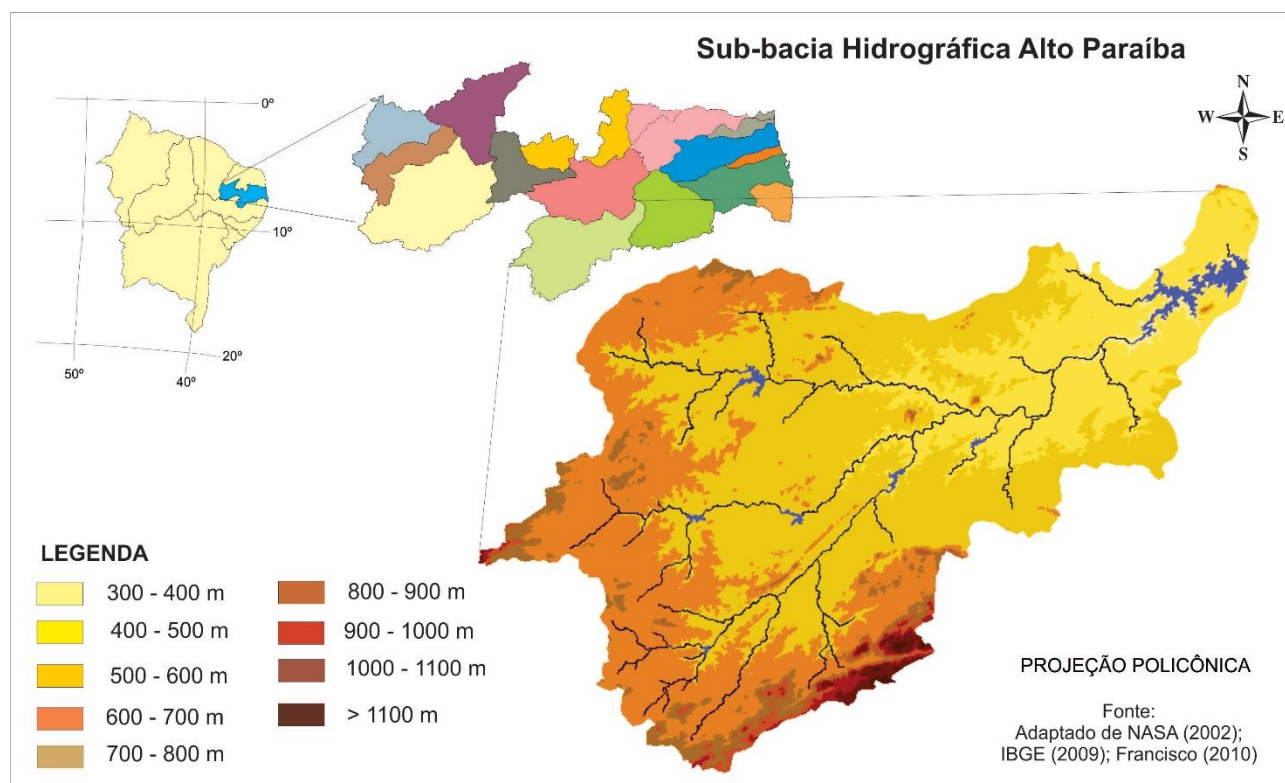


Figura 1. Localização e hipsometria da área de estudo.

Fonte: Adaptado de Francisco et al. (2014).

A bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba está inserida na Região Geográfica da Borborema Ocidental, limitando-se com os municípios de Prata, Sumé, Ouro Velho, Amparo, Camalaú, São Sebastião do Umbuzeiro, Zabelê, Monteiro, São João do Tigre, Congo Serra Branca, Coxixola, Caraúbas, São João do Cariri, São domingos, Barra de São Miguel, Cabaceiras e Boqueirão como se observa na Figura 2.

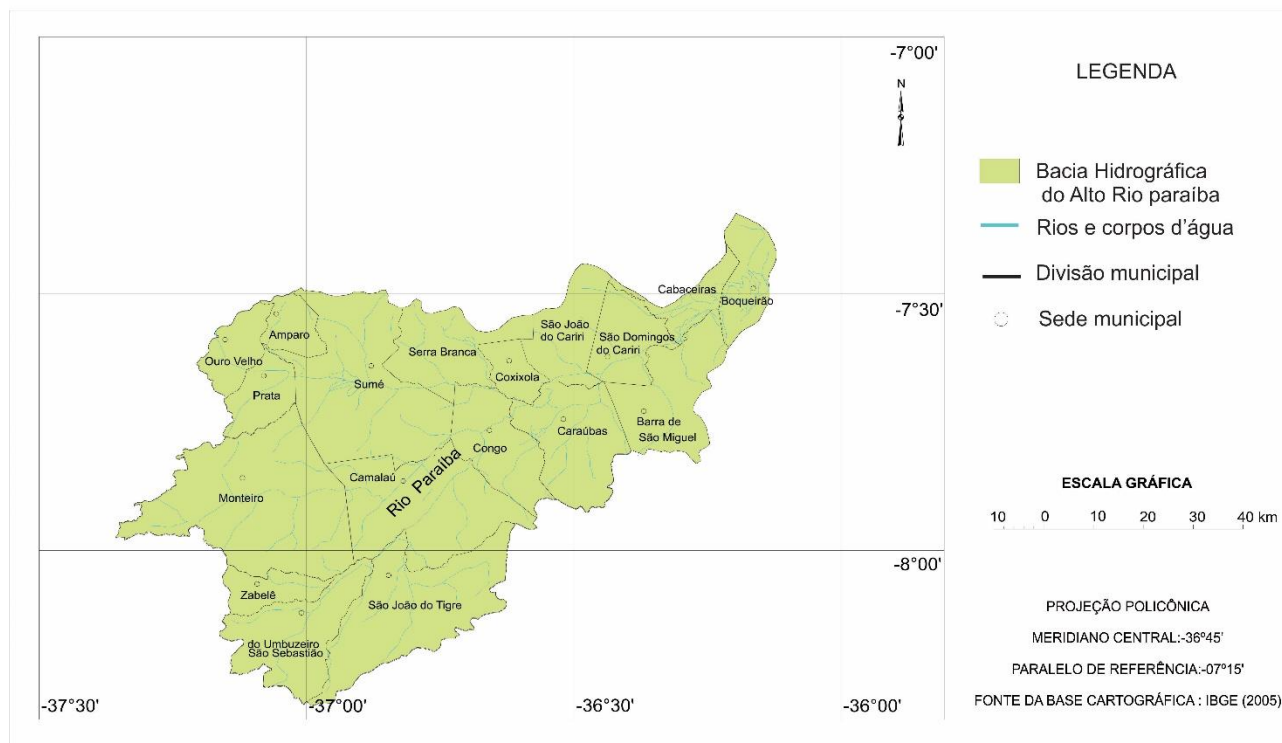


Figura 2. Municípios da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2005).

Conforme Francisco (2010), de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominantemente abaixo de 600 mm.ano⁻¹ (Figura 3), e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700m) (Figura 1) onde as chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de sudeste e do norte.

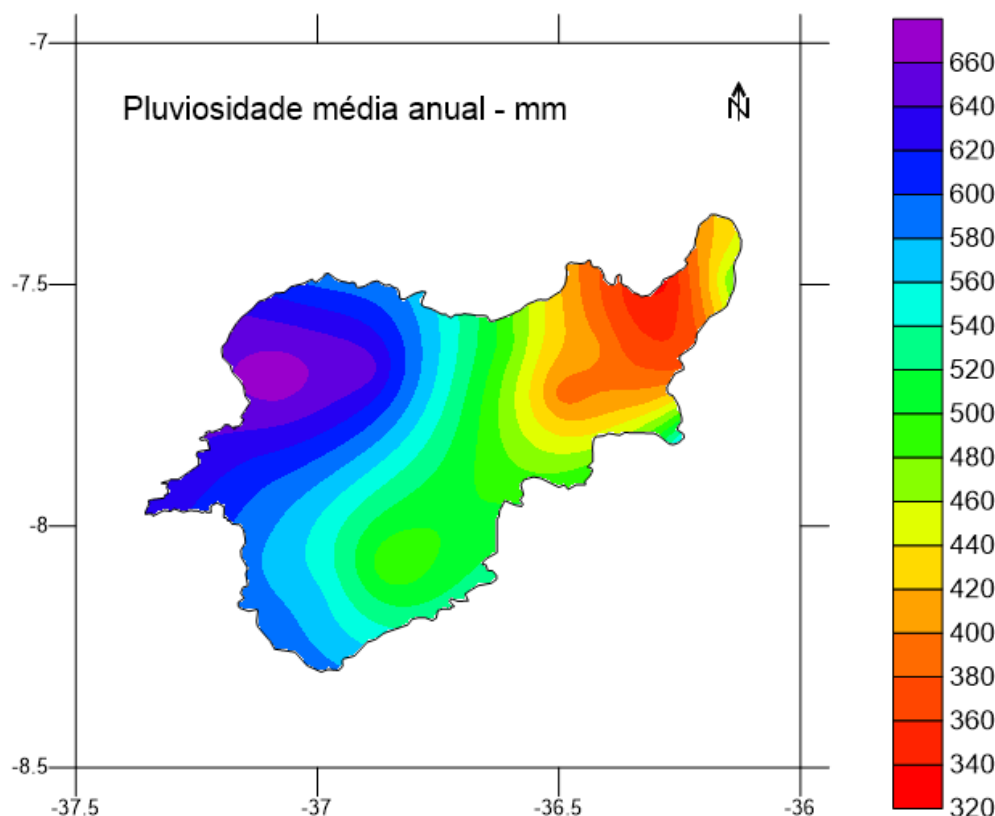


Figura 2. Pluviosidade média anual da área de estudo.

Fonte: Adaptado de Francisco et al. (2016).

De acordo com Sousa et al. (2007), a vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila com as espécies mais encontradas são o marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* Willd. Poiret.), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), e catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul). Outras espécies nativas da região estão presentes com poucos exemplares, como o angico (*Anadenanthera columbrina* Vell. Brenan) e a aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). Já os cactos são bastante diversificados.

Conforme Francisco (2010), é uma região tradicionalmente pastoril, onde tem predominando a criação de caprinos. Outrora com produção expressiva de algodão e na atualidade cultiva palma e culturas alimentares.

A área de estudo ocorrem classes predominantes de solos descritas no Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), diferem pela diversidade geológica, pedológica e geomorfológica; atendendo também a uma diversidade de características de solo, relacionadas à morfologia, cor, textura, estrutura, declividade e pedregosidade e outras características, justificada pelo fato de que no semiárido o tipo de solo determina a dinâmica da água quanto à drenagem, retenção ou disponibilidade, condicionando, por conseguinte os sistemas de produção agrícola (Figura 4).

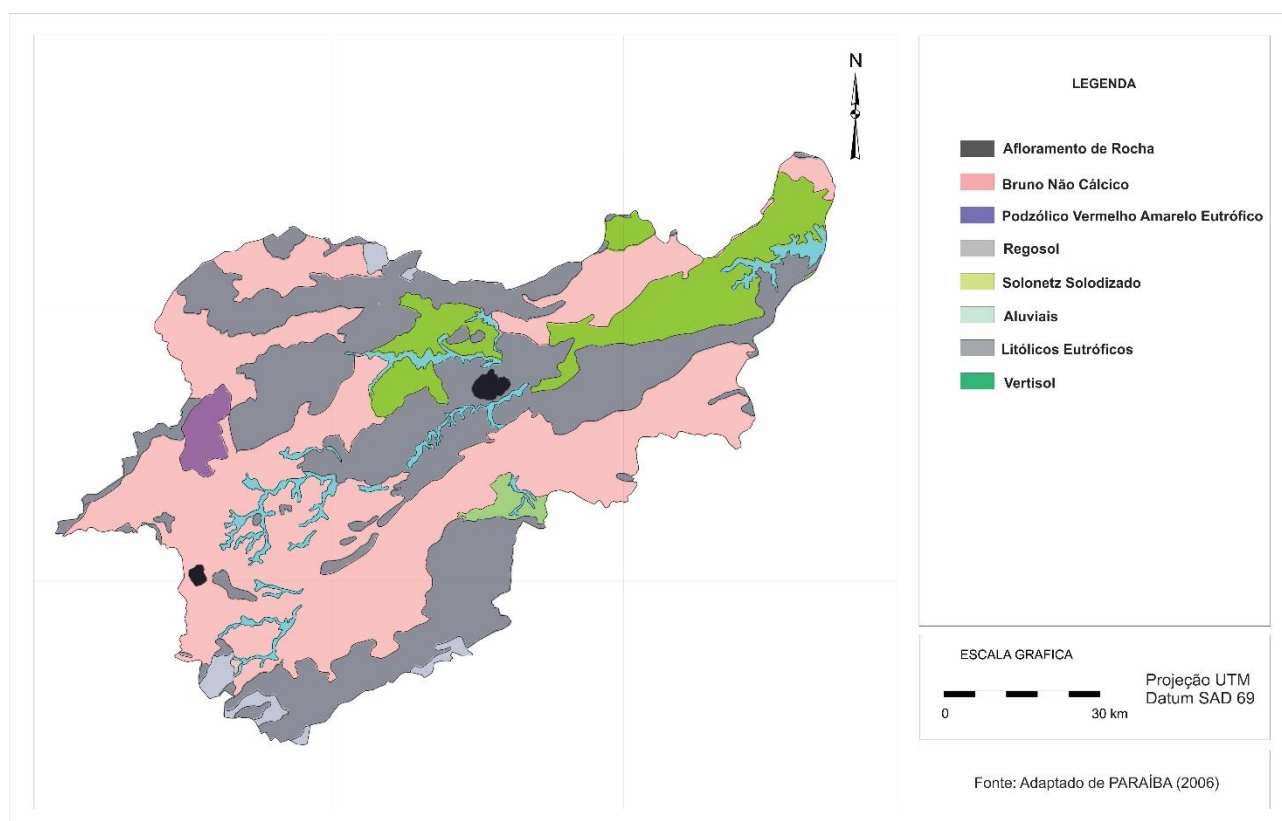


Figura 4. Classes de solos da bacia hidrográfica Alto Paraíba.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado arquivo digital fornecido pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba-AESA, da área de transposição do rio São Francisco e da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba e importado para o programa SPRING 5.4 na base de dados na projeção UTM/SAD69 de Francisco (2010) e atualizadas por Francisco et al. (2016), foram elaborados os mapas e calculados as suas respectivas áreas.

Para o mapeamento do potencial de terras para irrigação foi importado ao SIG o arquivo digital fornecido pela AESA (2012) da classificação conforme *Bureau of Reclamation* (USA, 1953) e utilizada por PARAÍBA (2006) adotando quatro classes de terras consideradas aráveis e duas consideradas não-aráveis. As seis classes de terras e suas características foram definidas da seguinte forma: Classe 1. Terras aráveis, altamente adequadas para agricultura irrigada; Classe 2. Terras aráveis, com moderada aptidão para agricultura irrigada; Classe 3. Terras aráveis com aptidão restrita para agricultura irrigada; Classe 4. Terras aráveis de uso especial; Classe 5. Terras não-aráveis, mas em situação provisória; Classe 6. Terras não-aráveis.

Após foi realizado uma análise das áreas potencialmente irrigáveis que ficam próximas a transposição.

Resultados e Discussão

De acordo com a Figura 5, observa-se Terras aráveis com aptidão restrita da classe 3, com área de 188,32 km² representando 2,8% da área total. Conforme PARAÍBA (2006), estas terras possuem apenas os requerimentos mínimos para irrigação. As deficiências, corrigíveis ou não, podem ser relativas ao solo, à topografia e à drenagem e, individualmente ou combinadas, são mais intensas que na classe 2. Podem ter limitações quanto à fertilidade muito baixa, textura arenosa, topografia irregular, salinidade moderada, drenagem restrita, entre outras. Tais limitações são suscetíveis de correção a custos relativamente altos, podendo algumas delas ser incorrigíveis. Têm aptidão para um restrito número de culturas adaptáveis, mas com manejo adequado, podem produzir economicamente.

As Terras aráveis com aptidão restrita, são compostas pelos solos Aluviais Eutróficos, atualmente reclassificados por Campos e Queiroz (2006) como Solos Neossolos flúvicos Ta eutróficos solódicos, e de acordo com Cavalcante et al. (2005), são solos de grande importância, no que diz respeito à exploração agrícola e pecuária da região semiárida, porém apresentam limitações muito fortes pela

falta d'água. Com auxílio da irrigação podem ser utilizados para o cultivo intensivo de forrageiras e diversas outras culturas. As áreas de cotas regionais mais baixas, onde se acumulam as águas provenientes das circunvizinhanças e os solos já possuem Na^+ trocável. Estes fatores reunidos concorrem para que estes solos sejam muito susceptíveis à salinização.

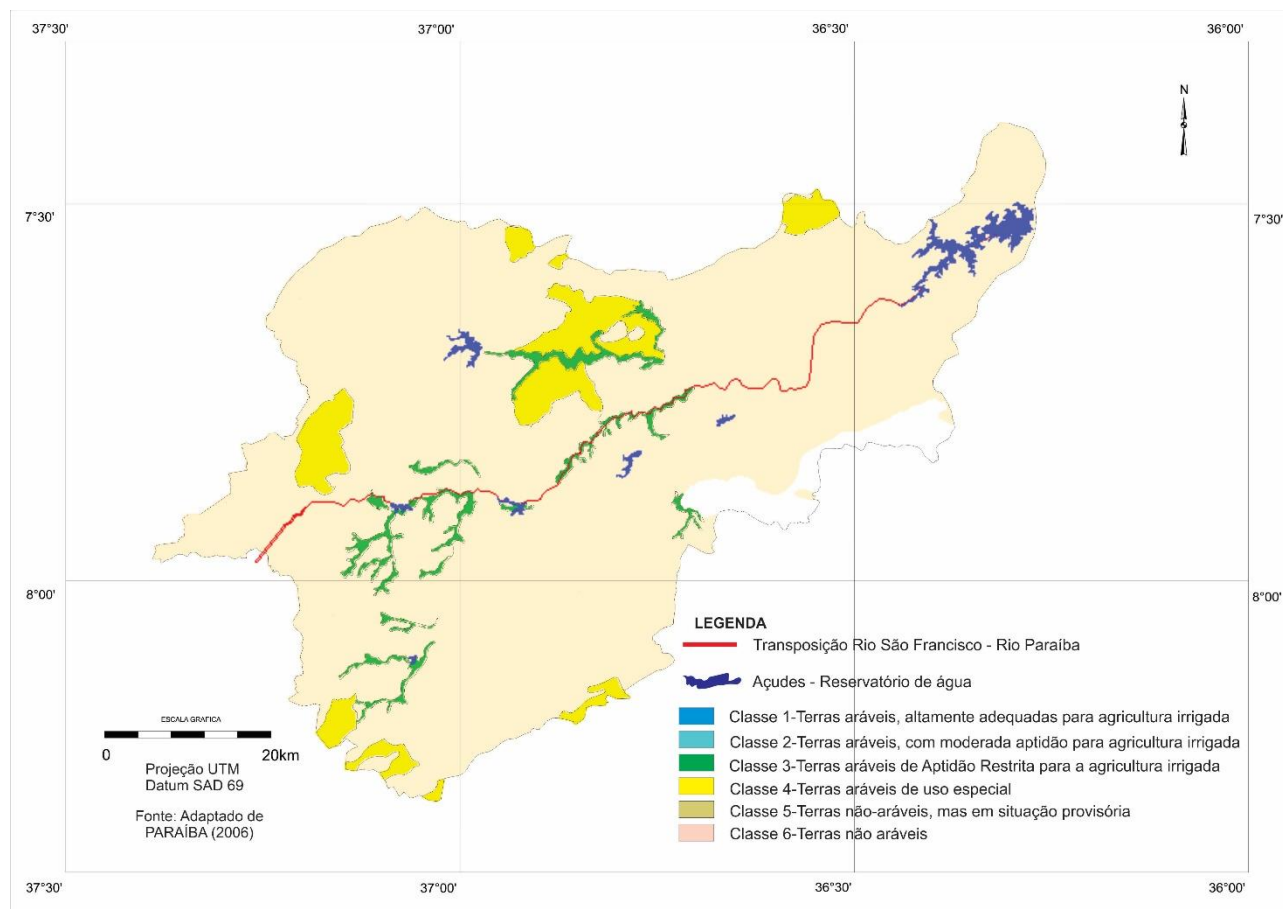


Figura 5. Aptidão para irrigação da área de estudo.
Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006); AESA (2012).

Observa-se Terras aráveis de uso especial da classe 4 (Figura 3), onde apresenta área de 433,94 km² representando 6,46% do total. No entanto, essas áreas não estão próximas da área de influência da transposição do rio São Francisco. Conforme PARAÍBA (2006), estas podem ter uma excessiva deficiência específica, ou deficiências suscetíveis de correção a alto custo, ou ainda, apresentar deficiências incorrigíveis, que limitam sua utilidade para determinadas culturas muito adaptadas ou métodos específicos de irrigação. As deficiências nessa classe podem ser a drenagem inadequada, topografia ondulada, pequena profundidade efetiva, excessiva pedregosidade, textura grossa, salinidade e, ou, sodicidade. Possuem capacidade de pegamento com grande amplitude de variação.

Essa classe está relacionada com a ocorrência do Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico Tb, com A moderado, textura média cascalhenta, fase caatinga hipoxerófila, relevo ondulado + Solos Litólicos Eutróficos, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hipoxerófila, relevo ondulado e forte ondulado, substrato gnaisse e granito + Afloramentos de Rocha; com a ocorrência do Regossolo Eutrófico, com fragipã, com A fraco, textura arenosa, fase caatinga hipoxerófila, relevo suave ondulado + Solos Litólicos Eutróficos, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hipoxerófila, relevo ondulado, substrato gnaisse e granito + Afloramentos de Rocha; e pela ocorrência do Vertissolo, com A moderado, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado + Solos Litólicos Eutróficos, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado, substrato gnaisse e granito.

De acordo com Francisco (2010), estes solos podem ser identificados por características relativas ao caráter raso, vértico, nátrico ou argílico, que ocorre na região do Cariris do Paraíba, sobre o Planalto da Borborema, e do Planossolo Nátrico Órtico típico e do Vertissolo

As Terras não aráveis da classe 6 (Figura 3), apresentam área de 6.095,13 km² representando 90,74% do total. Conforme PARAÍBA (2006), estas incluem as terras que não satisfazem os requisitos mínimos das outras classes e, portanto, são inadequadas para irrigação convencional. Geralmente compreendem terras com solos rasos; terras com solos influenciados por sais e de recuperação muito difícil devido à textura muito argilosa, posição ou condições do substrato; terras com textura arenosa, tendo baixa capacidade de retenção de água disponível; terras dissecadas e severamente erodidas; terras representadas por canais de transbordamento e escoamento; terras com muita pedregosidade e, ou, rochosidade; terras muito elevadas ou com topografia excessivamente declivosa ou complexa; e todas as outras áreas obviamente não-aráveis.

Nas Terras não aráveis da classe 6, no início da área de influência da Transposição do Rio São Francisco, na calha do rio Paraíba, ocorrem o Bruno Não Cálculo, atualmente reclassificados por Campos e Queiroz (2006) como Luvisolos Crômicos órtico típico, e de acordo com Cavalcante et al. (2005), que tendo em vista as condições do solo e o clima regional, verifica-se que o aproveitamento com pecuária é indicado, desde que sejam feitas reservas de forragens para o período seco, bem como seja intensificado o cultivo de palma forrageira, além do aproveitamento intensivo das vazantes.

Sá e Angelotti (2009) afirmam que, os Luvisolos Crômicos (TCo) e Hipocrômicos (TPo), órticos e típicos, ou com caráter litólico, vértico ou planossólico, que se localizam, predominantemente, sobre o Planalto da Borborema. Estes solos por terem sido intensivamente cultivado com a cultura do algodão e serem particularmente susceptíveis a erosão, encontram-se bastante degradados, representando na Paraíba, as áreas com mais altos graus de desertificação.

As Terras não aráveis da classe 6 também é composta pelos Solos Litólicos Eutróficos, localizado principalmente na metade do curso do Rio Paraíba, atualmente reclassificados por Campos e Queiroz (2006) como Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e de acordo com Cavalcante et al. (2005), estes apresentam baixas condições para um aproveitamento agrícola racional, tendo em vista as limitações fortes existentes, provocadas pelo relevo forte ondulado, pedregosidade, rochosidade e reduzida profundidade dos solos, além da deficiência de água que só permite a presença de culturas resistentes à estiagem. Só é possível a exploração destes solos pelos sistemas primitivos de agricultura já existentes. Francisco (2010) comenta que os Neossolos Litólicos são solos mais rasos, pedregosos e rochosos, associado a Afloramentos de Rochas, predominantes em área de relevo forte ondulado e montanhoso ao sul, acompanhando a calha do rio Paraíba.

A classe 6 das Terras não aráveis também ocorrem os Vertisols, mais próximos ao Açude Epitácio Pessoa, atualmente reclassificados por Campos e Queiroz (2006) como Vertissolo Cromado Órtico solódico, e de acordo com Cavalcante et al. (2005), são solos onde a principal limitação ao uso agrícola destes decorre da falta d'água que é muito forte. Também concorrem para isto a forte susceptibilidade à erosão, grande pedregosidade e pequena profundidade dos solos. A exploração com pecuária deve ser intensificada com a cultura da palma forrageira facilitando a reserva de alimentos para o período seco e cultivo de forrageiras nas partes baixas. Deve-se ressaltar que o controle da erosão deve ser muito intenso nestes solos.

De acordo com EMBRAPA (1994) avaliando o potencial das Terras para irrigação no Nordeste, para todas as classes encontradas neste trabalho, implicam numa rigorosa seleção de áreas, e na adoção de práticas conservacionistas para utilização dessas terras para a irrigação.

Deve ser levado em conta, que a precisão das informações apresentadas nas conclusões deste trabalho está diretamente relacionada ao nível de generalização imposto pela escala do levantamento de solo (1:200.000), base deste trabalho. A área de estudo, apesar de predominar terras não aráveis, possui áreas não mapeadas devido a escala, que são propícias à exploração da agricultura irrigada, desde que se utilize manejo adequado de irrigação.

Nas Figuras 6 e 7, observa-se a cobertura dos solos nas áreas da transposição, que ocorrem em Luvisolos propensos a erosão com vegetação de caatinga esparsa, ou em área de Neossolos Litólicos pedregosos com cobertura vegetal de porte menor de densidade.



Figura 6. Parte do trecho do Eixo Leste do Projeto de Transposição do Rio São Francisco.
Fonte: IBAMA (2018).



Figura 7. Setor da Transposição do Rio São Francisco no Estado da Paraíba.
Fonte: ParaíbaOnline (2018).

Conclusão

Devido à escala de trabalho, não foi possível mapear áreas menores, havendo a possibilidade de existirem pequenas áreas que não foram identificadas neste trabalho.

De conformidade com os estudos realizados observou-se que, somente 2,8% da área total da bacia do Alto Rio Paraíba, representando 188,32 km² de Terras aráveis da classe 3, tem aptidão a irrigação, mas com restrição onde ocorrem solos Neossolos flúvicos Ta eutróficos solódicos, de grande importância, agrícola da região semiárida, e que com auxílio da irrigação podem ser utilizados para o cultivo.

Referências

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2011. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 9 de julho 2018.
- AMARAL, F. C. S. DO. Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na Região Semi-Árida. Convênio Embrapa Solos/CODEVASF. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 218p.
- BENEDETTI, M. M.; SPAROVEK, G.; COOPER, M.; CURI, N.; CARVALHO FILHO, A. DE. Representatividade e potencial de utilização de um banco de dados de solos do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.2591-2600, 2008.
- BRASIL. Ministério da Integração. Projeto São Francisco. Integração de Bacias. Distribuição da água. 2017. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/web/guest/distribuicao-da-agua>. Acesso em: 7 de janeiro de 2018.
- CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6, n.1, 2006.
- CAVALCANTE, F. DE S.; DANTAS, J. S.; SANTOS, D.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no Estado da Paraíba. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v.4, n.8, 2005.
- DUARTE, S. M. A.; BARBOSA, M. P. Estudo dos recursos naturais e as potencialidades no semiárido, estado da Paraíba. Engenharia Ambiental, v.6, n.3, p.168-189. 2009.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido CPTSA. Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento – UEP Recife. Avaliação do potencial das terras para irrigação no Nordeste. Org. CAVALCANTI, A. C.; RIBEIRO, M. R.; ARAUJO FILHO, J. C.; SILVA, F. B. R. Brasília, 1994. 41p.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D. Tecnologia da geoinformação aplicada no mapeamento das terras à mecanização agrícola. Revista Educação Agrícola Superior, v.29, n.1, p.45-51, 2014.
- FRANCISCO, P. R. M.; PEDROZA, J. P.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, L. L. DA; SANTOS, D. Mapeamento da insolação do Estado da Paraíba utilizando krigagem. Revista de Geografia, v.33, n.1, p.248-262, 2016.
- FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; LIMA, E. R. V. DE. Potencial Pedológico do Estado da Paraíba para as principais culturas. Campina Grande: EDUFPG, 2017. 102p.
- FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; BANDEIRA, M. M.; SILVA, L. L. DA S.; SANTOS, D. Oscilação pluviométrica anual e mensal no Estado da Paraíba-Brasil. Revista de Geografia, v.33, n.3, p.141-154, 2016.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2018. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/noticias/436-2018/1758-ibama-autoriza-operacao-do-eixo-leste-do-projeto-de-transposicao-do-sao-francisco>. Acesso em: 14 de janeiro de 2019.
- PARAIBA. Governo da Paraíba. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral Fundação Instituto de Planejamento-FIPLAN. Potencial e irrigação e oportunidades agroindustriais no Estado da Paraíba. 1980. 287p.
- PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eleto Consult Ltda., 1978. 448p.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.
- PARAIBAONLINE. Disponível em: <https://paraibaonline.com.br/2018/07/transposicao-mpf-constata-que-obras-nao-serao-entregues-no-prazo/>. Acesso em: 14 de janeiro de 2018.

- PAULINO, J. A Engenharia no dia a dia. 2010. Disponível em: <http://engenharianodiaadia.blogspot.com/2010/05/o-diagnostico-ambiental.html>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- SÁ, I. B.; ANGELOTTI, F. Degradação ambiental e desertificação no semiárido brasileiro. In: Mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro. EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE. 53-76p. 2008.
- SANCHEZ, P. A.; AHAMED, S.; CARRE, F.; HARTEMINK, A. E.; HEMPEL, J.; HUISING, J.; LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B.; MCKENZIE, N. J.; MENDONCA-SANTOS, M. D.; MINASNY, B.; MONTANARELLA, L.; OKOTH, P.; PALM, C. A.; SACHS, J. D.; SHEPHERD, K. D.; VAGEN, T. G.; VANLAUWE, B.; WALSH, M. G.; WINOWIECKI, L. A.; ZHANG, G. L. Digital soil map of the world. Science, v.325, p.680-681, 2009.
- SAMPAIO, C. B. V.; WEILL, M. DE A. M.; DOURADO, C. DA S.; SAMPAIO FILHO, C. V. Classificação do potencial de terras para irrigação na região do alto da bacia do rio Itapicuru. In: Reunião Sul-americana para Manejo e Sustentabilidade da irrigação em Regiões Áridas e Semiáridas, 2, Cruz das Almas, 2011. Anais...Cruz das Almas, 2011.
- SOUSA, R. F. DE; BARBOSA, M. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P. DE. TERCEIRO NETO, C. P. C.; MORAIS NETO, J. M. Estudo da degradação de terras do município de Boa Vista - Paraíba. Revista Engenharia Ambiental, v.4, n.2, p.05-13, 2007.
- SOUSA, R. F. et al. Classes de Terras para irrigação do Assentamento Poços de Baixo, Serra de Teixeira - PB. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 13, 2003, Juazeiro. Anais...Juazeiro, 2003.
- SOUSA, R. F. DE; BARBOSA, M. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P. DE; TERCEIRO NETO, C. P. C.; LIMA, A. N. DE. Solos e classes de terras para irrigação no município de Itaporanga, PB. Caatinga, v.20, n.4, p.116-122, 2007.
- USA. Department of Interior. Bureau of Reclamation. Reclamation manual: irrigated land use: land classification. Denver, 1953. 54p. v.5, part.2.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPCSH, I. F.; CASTRO, S. S. DE. Conceito e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. Tópicos em Ciência do Solo, v.4, p.145-192, 2005.
- VERDUM, R.; MEDEIROS, R. M. V. RIMA - Relatório de Impacto Ambiental: Legislação, Elaboração e Resultados. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

MAPEAMENTO DA COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARAÍBA UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS

Hayssa Thyara Silva Barreto¹
Paulo Roberto Megna Francisco²
João Miguel de Moraes Neto³
Vera Lucia Antunes de Lima⁴

¹Graduanda em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hayssathyara@hotmail.com

²Dr. em Eng. Agrícola, UEPB, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

³Dr. Prof. Titular, UFPB, Campina Grande-PB, j.miguel.moraes@hotmail.com

⁴Dra. Profa. Titular, UFCG, Campina Grande-PB, antuneslima@gmail.com

Introdução

O Bioma Caatinga caracteriza-se por apresentar grande diversidade de paisagens, principalmente quanto à densidade e ao porte das plantas (CARVALHO & FREITAS, 2005). Os padrões morfológicos da vegetação dependem das condições edafoclimáticas locais podendo apresentar-se desde um porte arbóreo e denso, a arbustivo aberto. Com frequência em áreas mais impactadas a densidade de plantas lenhosas diminui predominando gramíneas e cactáceas (GUIMARÃES, 2009).

De acordo com Francisco (2013), tradicionalmente, o processo de ocupação do semiárido nordestino tem levado a uma degradação contínua do ambiente. Nos Cariris da Paraíba o sistema de produção, apoiado no binômio algodão x gado, o reflorestamento com algaroba e a implantação de pastagem com capim “Buffel” (*Cenchrus Ciliaris* L.), incentivados pelo governo nos anos sessenta a oitenta do século passado, contribuíram em grande parte para o desmatamento indiscriminado da Caatinga. Essas práticas contribuíram em diferentes níveis para a aceleração da erosão dos solos e quase sempre estão associadas às áreas mais degradadas dos núcleos de desertificação do Estado (SAMPAIO et al., 2003; OLIVEIRA-GALVÃO & SAITO, 2003; SARMENTO et al., 2001).

Devido à crescente necessidade de um planejamento adequado e sustentável das atividades humanas, o entendimento dos ecossistemas e, principalmente, da prestação de serviços ambientais por esses ambientes tornou-se imperativo (SANCHEZ et al., 2009). O conhecimento dos recursos naturais (solos, clima, vegetação e relevo) constitui parte do embasamento indispensável para a avaliação do potencial de uso das terras. Estas informações, combinadas com os contextos sociais, econômicos e culturais, levam à possibilidade de análise das oportunidades, das restrições e dos impactos ligados ao uso da terra. Desse modo, é possível identificar áreas com maior ou menor aptidão para as mais diversas atividades, sejam agrícolas ou não, considerando aspectos de equidade e justiça social e responsabilidade no uso dos recursos naturais, visando benefícios coletivos (BENEDETTI et al., 2008). A expressão “diagnóstico ambiental” tem sido usada com diferentes conotações por órgãos ambientais, universidades, associações profissionais, etc. A caracterização da situação ou da qualidade ambiental pode ser realizada com objetivos diferentes. Um deles é servir de base para o conhecimento e o exame da situação ambiental, visando traçar linhas de ação ou tomar decisões para prevenir, controlar e corrigir problemas ambientais como políticas ambientais e programas de gestão ambiental.

Os fenômenos terrestres vêm sendo, a cada dia, mais bem compreendidos com a adoção de uma abordagem multi e interdisciplinar, por meio da integração do estudo das diversas variáveis que controlam os sistemas naturais, mesmo que modificados em relação aos originais, como, por exemplo, os ecossistemas agrícolas (VIDAL-TORRADO et al., 2005).

Conforme Francisco et al. (2012), na atualidade, o avanço da tecnologia da informação, a disponibilização de imagens de satélite em altas resoluções e de programas computacionais para a análise ambiental houve um grande avanço nos estudos relacionados à gestão dos recursos naturais. Neste contexto, o geoprocessamento surge como uma disciplina que utiliza um conjunto de técnicas matemáticas e computacionais, na forma de programas, o sistema de informações geográficas, que possibilita combinações de informações provenientes de diferentes procedimentos tecnológicos, gerando novas informações, que auxiliam a tomada de decisões, em contextos os mais diversos (DUARTE & BARBOSA, 2009).

Considerando a possibilidade de utilizar as tecnologias disponíveis e de baixo custo da geoinformática, e de poder contribuir para a realização de diagnósticos da caatinga, este trabalho tem como objetivo classificar e mapear a cobertura vegetal das terras da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, no Estado da Paraíba.

Material e Métodos

A área de estudo compreende a bacia Alto Paraíba, com área de 6.717,39 km² localizada sobre o Planalto da Borborema ao centro sul do Estado da Paraíba, divisa ao sul com Pernambuco (PARAÍBA, 2006) (Figura 1).

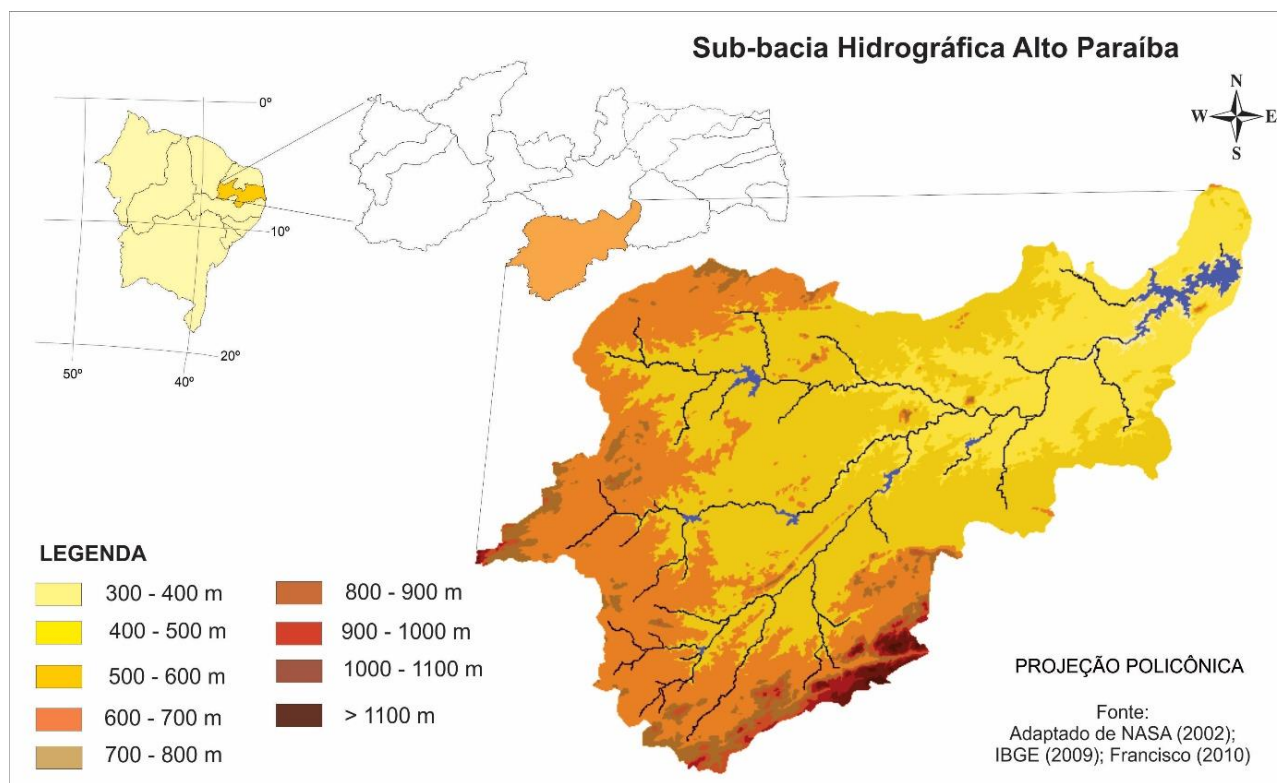


Figura 1. Localização e hipsometria da área de estudo.

Fonte: Adaptado de Francisco et al. (2014).

Conforme Francisco (2010), de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominantemente abaixo de 600 mm.ano⁻¹ (Figura 2), e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700m) onde as chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de sudeste e do norte.

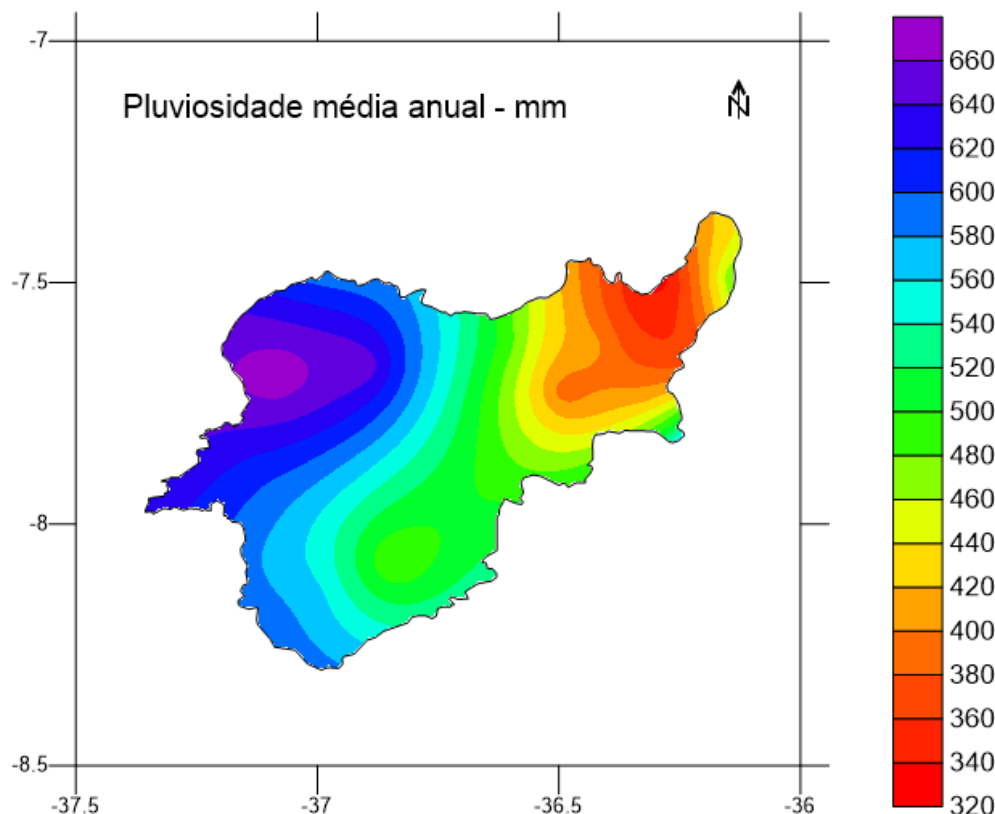


Figura 2. Pluviosidade (mm) anual média dos últimos 30 anos. Fonte: Francisco et al. (2016).

De acordo com Sousa et al. (2007), a vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila com as espécies mais encontradas sendo o marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* Willd. Poiret.), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), e catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul). Outras espécies nativas da região estão presentes com poucos exemplares, como o angico (*Anadenanthera columbrina* Vell. Brenan) e a aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). Já os cactos são bastante diversificados.

Os solos predominantes na área de estudo (Figura 3), conforme PARAÍBA (1978), são os Aluviais Eutróficos que ocorrem ao longo das calhas dos rios; os Brunos Não Cálcicos e os solos Litólicos Eutróficos, distribuídos por toda a área da bacia, como também os Vertisols, com maior ocorrência no terço inferior da bacia, mais próximos ao Açude Epitácio Pessoa, estes reclassificados para o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos por Campos e Queiroz (2006) como Solos Neossolos flúvicos Ta eutróficos solódicos, Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e como Vertissolo Cromado Órtico solódico, respectivamente.

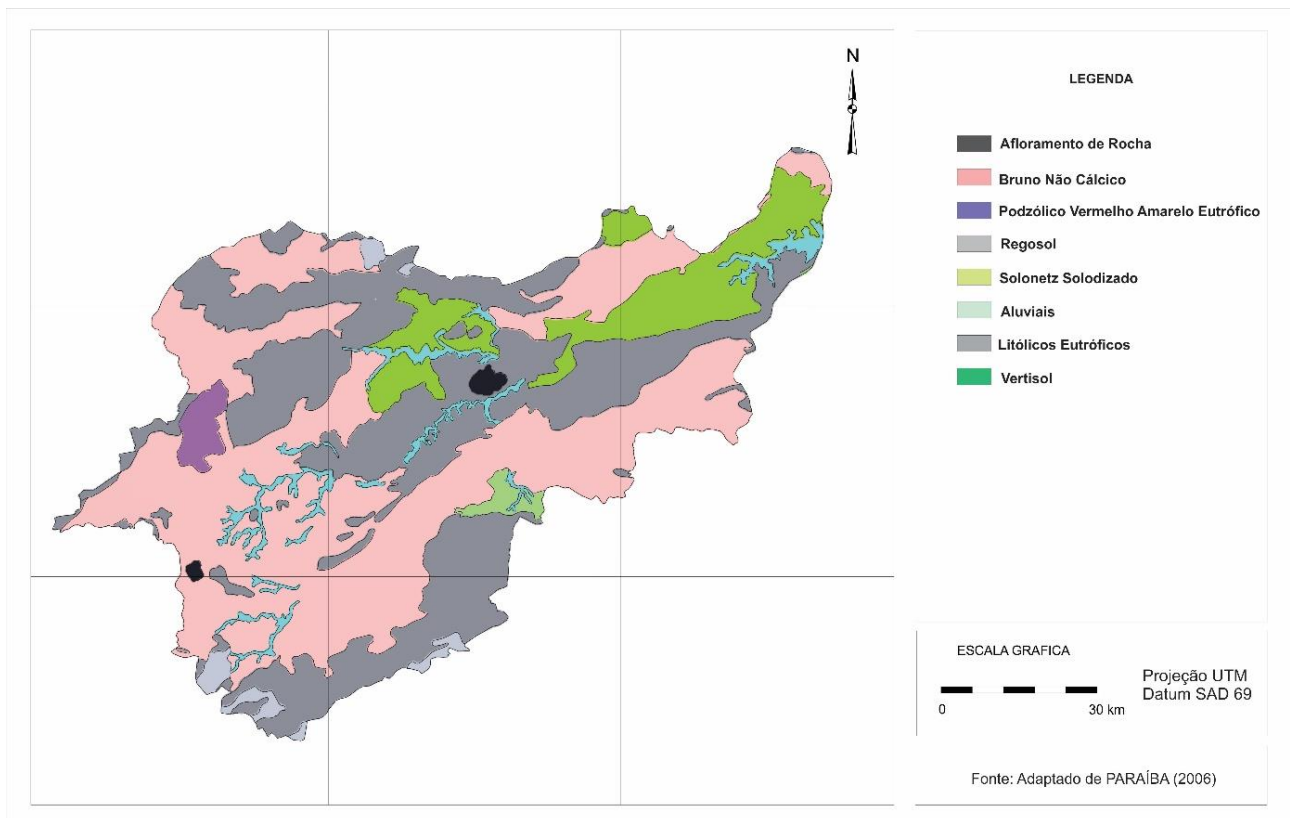


Figura 3. Mapa de solos da bacia hidrográfica Alto Paraíba.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor TM LANDSAT 5, órbita 215, pontos 65 e 66, de 12/10/2003, período seco. As imagens foram tratadas utilizando o software ERDAS 8.5, onde foi executada a correção radiométrica e obtidas as imagens de radiância e reflectância, de acordo com Silva et al. (2005a).

Neste procedimento utilizou-se a relação proposta por Markham e Baker (1987) (Equação 1).

$$L_{\lambda i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) ND \quad (\text{Eq.1})$$

Em que: a_i e b_i são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255) e $i = 1, 2, 3, 4, 5$ e 7 , corresponde às bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM - LANDSAT 5.

De posse dos mapas de radiância espectral de cada banda, informações sobre o $\cos Z$ e irradiância espectral no topo da atmosfera (Tabela 4) para cada banda, estimará a refletância espectral planetária em cada banda (BASTIAANSEN, 1995) (Equação 2).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: ρ_{pi} é refletância planetária da banda i , $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral no topo da atmosfera (Tabela 1), $\cos Z$ é o ângulo zenital do Sol e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra - Sol - ds, em unidades astronômicas (IQBAL, 1983), dado pela Equação 3.

$$ds = 1 + 0,0167 \cdot \sin \left[\frac{2 \pi (J - 93,5)}{365} \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo: J = o dia Juliano e o argumento da função seno se encontra em radiano. Por sua vez, o ângulo Zenital do Sol não precisou ser calculado pois se encontrava disponível no cabeçalho das imagens adquiridas para este trabalho.

Tabela 1. Descrição das bandas do Mapeador Temático do LANDSAT 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiancias espectrais no topo da atmosfera

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
		a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	-1,51	221,0	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Allen et al. (2002).

Para obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizada a Equação 4.

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{rp4} - \text{rp3})}{(\text{rp4} + \text{rp3})} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: rp4 e rp3 correspondem às reflectâncias planetárias das bandas 4 e 3 do TM-LANDSAT 5.

Com o objetivo de mapear a vegetação de caatinga através do NDVI foi criada uma base de dados no SPRING 5.5, na projeção UTM/SAD69, registrando e importando a imagem-índice de vegetação e classificando-a com a utilização do programa LEGAL.

Na Linguagem Algebrica para gerar o mapa de cobertura do solo foi definida de acordo com os tipos (Tabela 1), conforme metodologia proposta por Francisco (2013). Após, foi gerado o cálculo das áreas das classes.

Tabela 2. Classes de NDVI

Classes	NDVI
Arbórea Subarbórea densa	> 0,300
Subarbórea Arbustiva densa	0,285 - 0,300
Arbustiva Subarbórea densa	0,265 - 0,285
Arbustiva Subarbórea aberta	0,250 - 0,265
Arbustiva Subarbustiva aberta	0,225 - 0,250
Subarbustiva Arbustiva rala	0,180 - 0,225
Subarbustiva Arbustiva muito rala	0,150 - 0,180
Solo exposto	0 - 0,150
Corpos d'água	< 0

Fonte: Francisco (2013).

Resultados e Discussão

Na Tabela 3, da análise estatística descritiva das imagens-índice do NDVI, observa-se os valores mínimos e máximos encontrados para a imagem-índice da área do ano de 2003, que variam entre -2,70 e 0,811, com uma média de 0,182.

Tabela 3. Estatística descritiva das imagens NVDI

Descrição	Valores
Número de Pontos	7.429.626
Número de Pontos Válidos	7.429.626
Média	0,182
Variância	0,0045
Desvio Padrão	0,067
Coefficiente de Variação	0,369
Coefficiente de Assimetria	0,534
Coefficiente de Curtose	19,89
Valor Mínimo	-2,70
Quartil Inferior	0,145
Mediana	0,172
Quartil Superior	0,208
Valor Máximo	0,811

Francisco et al. (2012), estudando a degradação da vegetação da bacia hidrográfica do rio Taperoá, contígua a bacia em estudo, encontraram para a imagem-índice do ano de 1996, que variam entre -0,994 e 0,809, com uma média de 0,226. Já para valores da imagem-índice de 2009 variaram entre -0,991 e 0,813 com uma média de 0,252. Valores bem próximos ao encontrado por este trabalho, mas com menores valores.

Lopes et al. (2010), avaliando mudanças na cobertura vegetal a partir do IVDN, na bacia hidrográfica do rio Brígida (Pernambuco), obtiveram respectivamente valores mínimo, máximo e médio para o ano de 1985 da ordem de 0,09, 0,24 e 0,12. Para 2001, os valores obtidos foram de 0,09, 0,42 e 0,14.

Segundo Parkinson (1997) valores típicos de IVDN para florestas úmidas tropicais são da ordem de 0,6. Kaufman e Holben (1993), encontraram em algumas regiões do Nordeste valores de IVDN entre 0,15 e 0,62.

No histograma da Figura 4, observa-se a curva de distribuição dos valores de refletância da imagem-índice de 2003. Variam entre -0,35 e 0,85, e esta característica demonstra que a maioria dos pixels se concentra nestes valores de refletância.

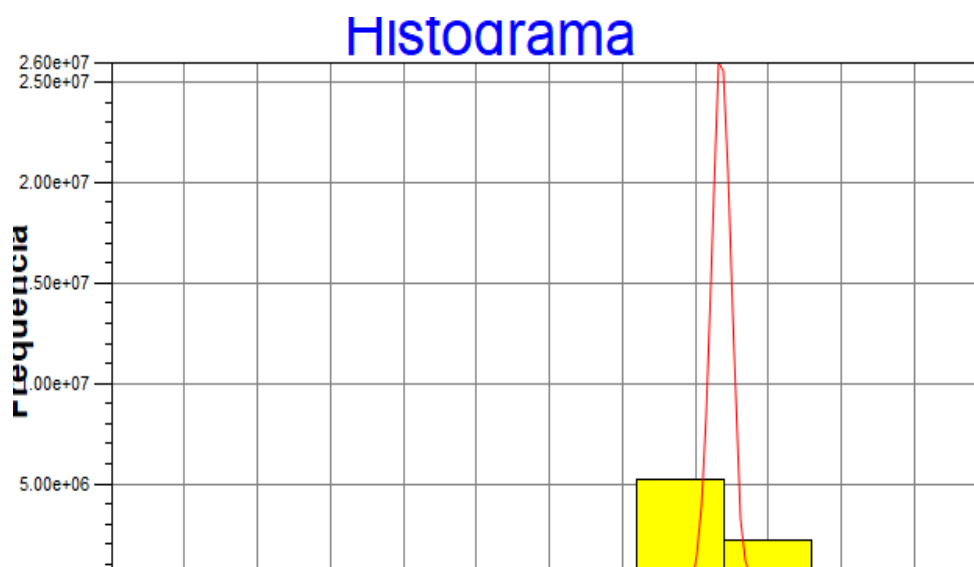


Figura 4. Histograma da imagem-índice de NDVI.

Sá et al. (2008), avaliando o IVDN na região do Araripe Pernambucano, relatam que o valor mínimo encontrado foi de -0,74 e o máximo de 0,796, o valor médio foi de 0,282. Os valores de IVDN entre 0,201 e 0,278, correspondem a uma vegetação de Savana Estépica Arborizada e Florestada que se encontram degradada. Nas áreas de Mata Ciliar o IVDN variou entre 0,490 a 0,797.

De acordo com Francisco et al. (2015) e Francisco et al. (2016), setembro é considerado o mês mais seco e com relação à distribuição anual observaram a alta variabilidade espacial de precipitação

onde o setor central do Estado (regiões Cariri/Curimataú) com os menores valores de precipitação em torno de 300 a 500mm. Estes dados ajudam a explicar os menores índices de valores na imagem-índice de NDVI deste trabalho.

Pelos dados obtidos (Tabela 4) e pela Figura 5, observa-se que, em condição de maior proteção do solo, as classes de vegetação densa, Arbórea Subarbórea densa, Subarbórea arbustiva densa, Arbustiva subarbórea densa, somam 1.687,9 km², um percentual de 36,7% da área da bacia, e ocupam em grande parte, áreas de mais difícil acesso, de solos rasos e declivosos, cabeceiras da bacia onde recebem maior influência orográfica das chuvas.

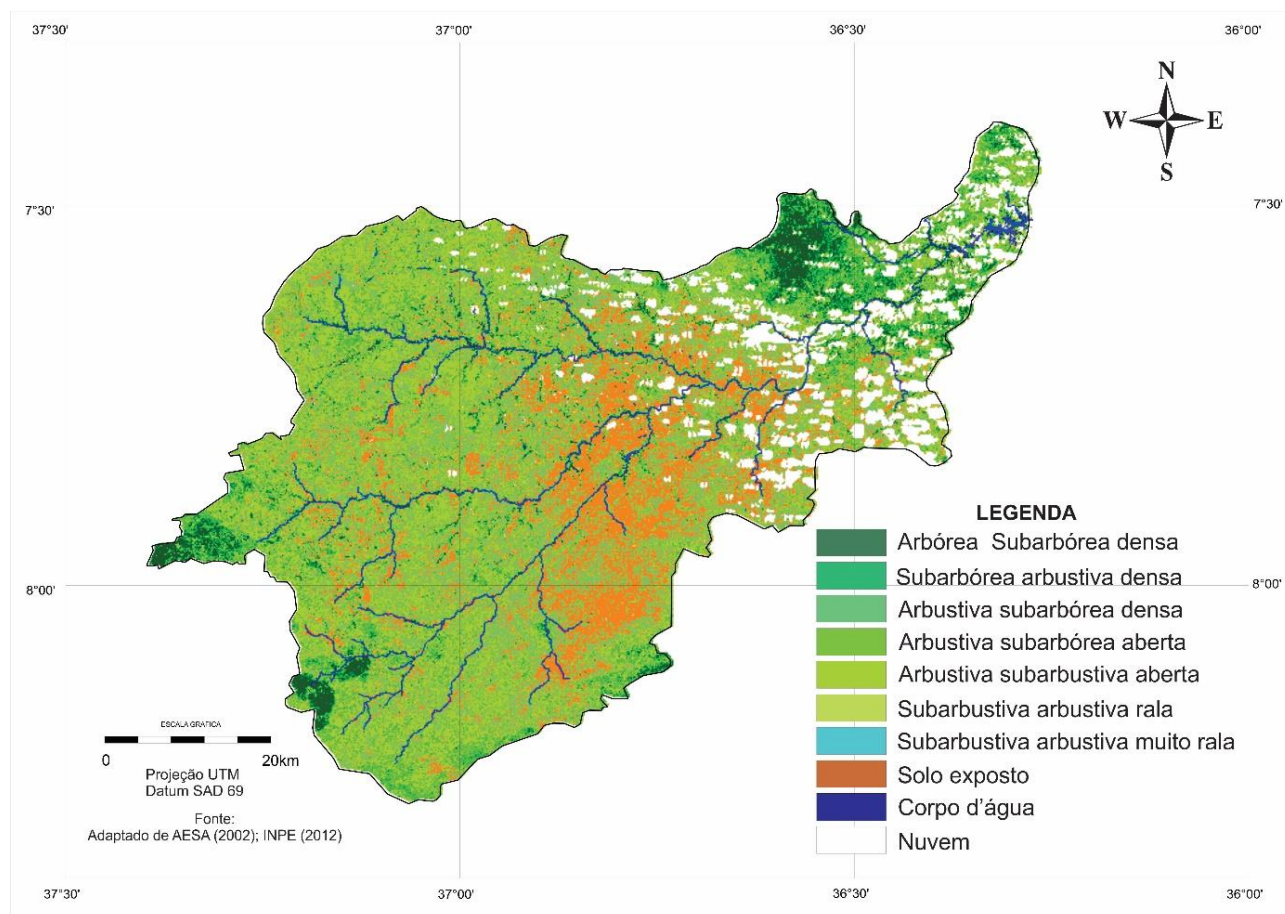


Figura 5. Mapa da cobertura vegetal da bacia.
Fonte: Adaptado de AESA (2002); INPE (2012).

Tabela 4. Classes de vegetação da bacia

Classes de vegetação	Área	%
Arbórea subarbórea muito densa	-	-
Arbórea subarbórea densa	337,62	5,03
Subarbórea densa	-	-
Subarbórea arbustiva densa	87,01	1,30
Arbustiva subarbórea densa	149,91	2,23
Arbustiva subarbórea aberta	155,95	2,32
Arbustiva subarbusativa aberta	417,78	6,22
Subarbusativa arbustiva rala	1957,64	29,14
Subarbusativa arbustiva muito rala	1581,48	23,54
Solo exposto	1458,72	21,72
Corpo d'água	23,39	0,35
Nuvem	547,90	8,16
Área total	6.717,39	100,00



Figura 6. Classe de vegetação em áreas com declividade.

É possível afirmar que, as áreas menos protegidas pela vegetação, representadas pelas classes de mapeamento, Subarbustiva arbustiva rala e muito rala, abrangem uma superfície de 574,54 km², que corresponde a 8,56% do total da bacia. Estas são áreas que se distribuem, em grande parte, na área central e ao longo da drenagem, e estão relacionadas com a ocorrência dos Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e o Vertissolo Cromado Órtico solódico.

Considerando as áreas de vegetação de caatinga aberta, Arbustiva subarbórea aberta, Arbustiva subarbustiva aberta, que correspondem a uma área de 573,73 km², que representa 8,54% da área da bacia (Figura 7); e, como Francisco et al. (2013), são áreas de pastejo para os animais, e estes padrões de vegetação ocupam posições intermediárias na paisagem, e normalmente ocorrem sobre solos mais rasos, inapropriados para agricultura devido as condições climáticas.



Figura 7. Classe de vegetação Arbustiva.

A classe solo exposto ocorre em 21,72% (1.458,72 km²) da área da bacia, concentrando-se no seu terço inferior e médio, ao longo do rio Paraíba, estando aí associada talvez ao uso agrícola e as características dos Luvisolos por serem mais erodíveis (Figura 8), corroborando com Chaves et al. (2015), e com os Neossolos Litólicos Eutróficos típico, rasos e pedregosos.



Figura 8. Classe de solo exposto.

Por esta metodologia não foram identificadas classes de vegetação Arbórea subarbórea muito densa e Subarbórea densa, devido a localização no Bioma Caatinga, e aos seus tipos de solos rasos e pedregosos da área. De acordo com Francisco et al. (2012) os autores ressaltam que as imagens correspondem ao período seco, e isso é o que explica em parte, que a cobertura vegetal esteja mais degradada ou em dormência, situação típica da caatinga hiperxerófila seca.

A seleção da imagem do período seco corrobora com diversos trabalhos que tem utilizado o período seco para avaliar a biomassa da caatinga, como Francisco et al. (2012) e como Francisco (2013) que encontraram um alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,7587$), permitindo estabelecer, com boa margem de precisão, estimativas da cobertura vegetal a partir das leituras de NDVI pois de acordo com Menezes e Netto (2001), é um índice amplamente utilizado e recomendado pela ONU para avaliar a vegetação nos trabalhos sobre desertificação em todo o mundo.

Francisco et al. (2013) e Alves et al. (2009) comentam que, o semiárido nordestino, desde o século XVII, foi ocupado pela expansão da pecuária extensiva em campo aberto, que se fez à custa da caatinga, onde os criadores de gado passaram a usar a queima do pasto, deixando nas áreas uma grande quantidade de animais acima da capacidade de suporte das mesmas.

Já para Medeiros (2006) esta forma de utilização, vem causando degradações fortes e por vezes irreversíveis do ecossistema, e acaba por propiciar uma mudança no ritmo dos elementos formadores desse bioma, e desencadeia mudanças no ambiente, com um elevado índice de degradação em algumas regiões, expondo o solo aos agentes intempéricos, acarretando processos erosivos provocados pelo escoamento superficial, que vão degradar os solos.

Segundo Alves (2009), as causas da desertificação na Paraíba não diferem das que são encontradas em outros estados nordestinos. Elas são decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais, de práticas agrícolas inapropriadas e, sobretudo de modelos de desenvolvimento macro e microeconômicos de curto prazo. Outro grave aspecto a considerar são as práticas agrícolas tradicionais, geralmente associadas a um sistema concentrado de propriedade da terra e da água, conduzindo a graves problemas socioeconômicos que se aprofundam, quando sobrevêm as secas.

Conclusão

Com a utilização das técnicas de geoprocessamento, do sensoriamento remoto e desenvolvimento da linguagem algébrica pôde-se chegar a resultados satisfatórios com rapidez e precisão.

A utilização de imagem orbital de média resolução espacial, a classificação pelo NDVI em 9 classes foi satisfatória para a separação das fisionomias existentes na área estudada.

A cobertura do solo da área de estudo encontra-se em processo de degradação com 74,4% classificadas como Subarbusativa arbustiva rala e muito rala, distribuída por quase toda a bacia juntamente com a classe solo exposto com a ocorrência dos Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e o Vertissolo Cromado Órtico solódico.

Referências

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2011. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 9 de julho 2018.
- ALVES, J. J. A. Caatinga do Cariri Paraibano. Geonomos, n.17, v.1, p.19-25, 2009.
- ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL). Idaho implementation – Advanced Training and User's Manual, 2002. 97p.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sensing of Environment, v.35, p.161-173, 1991.
- BASTIAANSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. A Remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates. 273p. Thesis. Wageningen Agricultural University. The Netherlands, 1995.
- BENEDETTI, M. M.; SPAROVEK, G.; COOPER, M.; CURI, N.; CARVALHO FILHO, A. DE. Representatividade e potencial de utilização de um banco de dados de solos do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.2591-2600, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972 (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia, 8).
- CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do estado da Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6 n.1, p.45-50, 2006.
- CARVALHO, V. C. DE; FREITAS, M. W. D. DE. Mapeamento das paisagens em nível de geossistema de três áreas representativas do bioma Caatinga. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. Anais...Goiânia: INPE, p.2087-2099, 2005.
- CAVALCANTE, F. DE S.; DANTAS, J. S.; SANTOS, D.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no estado da Paraíba. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v.4, n.8, 2005.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; CHAVES, L. H. G. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. Revista Caatinga, v.28, n.1, p.183-195, 2015.
- DUARTE, S. M. A.; BARBOSA, M. P. Estudo dos recursos naturais e as potencialidades no semiárido, estado da Paraíba. Engenharia Ambiental, v.6, n.3, p.168-189, 2009.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do rio Taperoá, PB. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2013.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; BRANDÃO, Z. N.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da vulnerabilidade das terras da bacia hidrográfica do rio Taperoá. Revista Brasileira de Geografia Física, v.6, n.2, p.271-286, 2013.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE. Detecção de mudança de vegetação de caatinga. Revista Brasileira de Geografia Física, v.5, n.6, p.1473-1487, 2012.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Modelo de mapeamento da deterioração das terras semiáridas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, 2013, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2013.

- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Mapeamento das terras para mecanização agrícola - Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.2, p.233-249, 2012.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.3, p.676-693, 2012.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D. Tecnologia da geoinformação aplicada no mapeamento das terras à mecanização agrícola. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.29, n.1, p.45-51, 2014.
- FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; BANDEIRA, M. M.; SILVA, L. L. DA S.; SANTOS, D. Oscilação pluviométrica anual e mensal no Estado da Paraíba-Brasil. *Revista de Geografia*, v.33, n.3, p.141-154, 2016.
- FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, D.; MATOS, R. M. DE. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.4, p.1006-1016, 2015.
- FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; MATOS, R. M. DE; BANDEIRA, M. M.; SANTOS, D. Análise e mapeamento dos índices de umidade, hídrico e aridez através do BHC para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.4, p.1093-1108, 2015.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE. Estimativa da degradação da biomassa da vegetação de caatinga através de índices de vegetação. *Polêm!ca*, v.12, n.2, p.306-321, 2013.
- GUIMARÃES, A. P. Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2009.
- HOLBEN, B. N.; TUCKER, C. J.; FAN, C. J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, n.46, p.651-656, 1980.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 março de 2011.
- IQBAL, M. An introduction to solar radiation. Academic Press. Toronto, 1983.
- KAUFMAN, Y. J.; HOLBEN, N. B. Calibration of the AVHRR visible and near-IR by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. *International Journal Remote Sensing*, v.14, n.1, p.21-52. 1993.
- LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. DO C. M.; PACHECO, A. P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.11, p.1210-1219, 2010.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *Int. Journal of Remote Sensing*, v.8, n.3, p.517-523, 1987.
- MEDEIROS, E. R. DE. Caracterização dos processos degradacionais no município de São João do Cariri-PB. (Monografia) UFPB. João Pessoa-PB, 2006.
- MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília. UnB, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.
- NOVO, E. M. L. DE M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2008. 308p.
- OLIVEIRA, W. M. DE; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um Neossolo Litólico do semiárido paraibano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais...Natal: INPE, 2009. p.2103-2110.
- OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C. DE; SAITO, H. C. A modelagem de dados temáticos geoespacializados na identificação dos diferentes níveis de susceptibilidade à desertificação da região semiárida do nordeste brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: INPE, 2003. p.1399-1406.
- PARAÍBA. Governo da Paraíba. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral Fundação Instituto de Planejamento-FIPLAN. Potencial e irrigação e oportunidades agroindustriais no Estado da Paraíba. 1980. 287p.
- PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eleto Consult Ltda. 1978. 448p.
- PARAÍBA. Secretaria de Agricultura e Abastecimento – CEPA – PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletoConsult Ltda. 1978. 448p.
- PARAÍBA. Secretaria de Educação. Universidade Federal da Paraíba. Atlas Geográfico do Estado da Paraíba. João Pessoa, Grafset, 1985.

- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.
- PARKINSON, C. L. Earth from above. University Sciences Books, Sausalito. Land vegetation, 1997. p.107-111.
- RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GALINDO, I. C. L. Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: Tópicos em ciência do solo, v.6, 497p. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2009. p.413-449.
- SÁ, I. I. S.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. DE; SÁ, I. B. Uso do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) para caracterização da cobertura vegetal da região do Araripe Pernambucano. Revista Brasileira de Geografia Física, v.1, n.1, p.28-38, 2008.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B.; ARAÚJO, S. B.; SAMPAIO, G. R. Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife: Ed. Universitária, 2003. 202p.
- SANCHEZ, P. A.; AHAMED, S.; CARRE, F.; HARTEMINK, A. E.; HEMPEL, J.; HUISING, J.; LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B.; MCKENZIE, N. J.; MENDONCA-SANTOS, M. D.; MINASNY, B.; MONTANARELLA, L.; OKOTH, P.; PALM, C. A.; SACHS, J. D.; SHEPHERD, K. D.; VAGEN, T. G.; VANLAUWE, B.; WALSH, M. G.; WINOWIECKI, L. A.; ZHANG, G. L. Digital soil map of the world. Science, v.325, p.680-681, 2009.
- SARMENTO, E. C.; WEBER, E.; HASENACK, H. Avaliação da situação da cobertura florestal na Bacia do Rio Cadeia/Feitoria e identificação de áreas críticas usando técnicas de geoprocessamento. UFRGS. Centro de Ecologia, 2001. Disponível em: [http:// www.ufrgs.br](http://www.ufrgs.br). Acesso em: 12 de março de 2012.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.13, n.2, p.11-21, 2005a.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens LANDSAT 5 – TM. Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.2, p.243-252, 2005b.
- SOUSA, R. F. DE; BARBOSA, M. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P. DE. TERCEIRO NETO, C. P. C.; MORAIS NETO, J. M. Estudo da degradação de terras do município de Boa Vista - Paraíba. Revista Engenharia Ambiental, v.4, n.2, p.005-013, 2007.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPCSH, I. F.; CASTRO, S. S. DE. Conceito e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. Tópicos em Ciência do Solo, v.4, p.145-192, 2005.

ESTIMATIVA DA BIOMASSA DE VEGETAÇÃO LENHOSA DE CAATINGA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARAÍBA

Paulo Roberto Megna Francisco¹

Iêde de Brito Chaves²

Hayssa Thyara Silva Barreto³

¹Dr. em Eng. Agrícola, UEPB, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

²Dr. Prof. Aposentado, UFPB, Areia-PB, iedebchaves@hotmail.com

³Graduanda em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hayssathyara@hotmail.com

Introdução

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, que ocorre na região semiárida, em grande parte localizada na região Nordeste do País. Apresenta grande diversidade de ambientes, o que propicia uma rica biodiversidade apresentando muitas espécies endêmicas de alto valor biológico (PAN-BRASIL, 2005) muitas ainda desconhecidas e/ou, não catalogadas (ALVES et al., 2009). Conforme Oliveira (2009), em seu aspecto fisionômico a Caatinga apresenta uma cobertura vegetal arbustiva a arbórea, pouco densa e geralmente espinhosa. Sua variabilidade espacial e temporal na composição e no arranjo de seus componentes botânicos é resposta aos processos de sucessão e de diversos fatores ambientais, onde a densidade de plantas, a composição florística e o potencial do estrato herbáceo variam em função das características de solo, pluviosidade e altitude (ARAÚJO FILHO, 1986).

Uma das características marcantes da região semiárida brasileira é a sua grande variabilidade espacial e temporal da precipitação, com totais médios anuais entre 400 a 800 mm e uma evaporação que, em anos mais críticos, chega a ultrapassar cinco vezes a altura da precipitação (VAREJÃO-SILVA et al., 1984). Neste ambiente, com um processo desordenado de ocupação territorial que data da época colonial, ocorrem reflexos que se manifestam pela degradação dos seus recursos naturais e que hoje atingem níveis críticos de sustentabilidade, a exemplo de: assoreamento dos cursos d'água, com prejuízos para a saúde humana e animal, menor disponibilidade de água para irrigação e para abastecimento, redução da produtividade agrícola, diminuição da renda líquida dos agricultores e, conseqüentemente, empobrecimento do meio rural, com reflexos danosos para a economia nacional (MANZATTO et al., 1998).

Este processo de degradação das terras das regiões áridas, semiáridas e subúmidas do Planeta é chamado, hoje de desertificação, representando uma preocupação mundial pois atinge mais de 1 bilhão de habitantes, em mais de 100 países, destruindo terras e pondo em risco a sobrevivência das pessoas (PAN-BRASIL, 2005; SOUZA, 2009). Inúmeros trabalhos apontam que os fatores determinantes do desequilíbrio ambiental da região semiárida brasileira, indutores de processos de desertificação, têm sido o uso indiscriminado de madeira, lenha e carvão; o pastejo intensivo de animais; o fogo; o uso e o manejo irracional das terras pela agricultura, com e sem irrigação; a mineração; a ocupação desordenada das cidades, além do baixo nível de renda e cultural da população (SAMPAIO et al., 2003; OLIVEIRA-GALVÃO & SAITO, 2003; SARMENTO, 2001).

Na atualidade, com o desenvolvimento das tecnologias de sensoriamento remoto e da geoinformática, as ferramentas para a realização de inventários e diagnósticos ambientais são facilmente disponíveis e de baixo custo permitindo auxiliar com agilidade, o monitoramento e a gestão de amplos territórios (FLORENZANO, 2002; NOVO, 2008).

A utilização de índices de vegetação gerados de imagens de satélites se constitui em ferramentas importantes para o monitoramento das alterações naturais ou produzidas pelo homem nos ecossistemas (FEITOSA et al., 2004). Os índices de vegetação ressaltam o comportamento espectral da vegetação possibilitando distinguir diferentes tipos de uso e de outros alvos da superfície terrestre (MOREIRA, 2005). Embora muitos índices de vegetação existam, o mais usado e conhecido atualmente é o denominado Índice de Vegetação da Diferença Normalizada ou simplesmente NDVI (Francisco et al., 2013).

De acordo com Francisco et al. (2013), modelos relativamente simples podem descrever com certo grau de confiança os processos de degradação ambiental, facilitando a complementação de

diagnósticos integrados dos recursos naturais e das suas relações com as atividades humanas. Chaves et al. (2008) desenvolveu modelo para a geração do Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa, para descrever e avaliar a vegetação da caatinga em seus diferentes estágios de antropização e Francisco et al. (2013), utilizando esta metodologia, descreveu alvos terrestres dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra representativas da região de estudo com características de vegetação e solos aproximadamente homogêneos. Esta classificação no seu primeiro nível categórico apresenta uma dicotomização que separa a vegetação nativa dos diferentes tipos de vegetação e usos da terra, passando em seguida, de forma hierárquica, a considerar apenas a vegetação de caatinga. Segundo Chaves et al. (2008), é um método de classificação prático, de fácil aplicação e baixo custo, que permite descrever 201 padrões de vegetação de Caatinga, podendo auxiliar na interpretação automática de imagens de satélite, contribuindo para a agilização de trabalhos de mapeamento.

Portanto, o presente trabalho tem o objetivo de estimar a biomassa da vegetação da caatinga na bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, no Estado da Paraíba, utilizando imagens de satélite e índice de vegetação.

Material e Métodos

A área de estudo compreende a bacia Alto Paraíba, com área de 6.717,39 km² localizada sobre o Planalto da Borborema ao centro sul do Estado da Paraíba, divisa ao sul com Pernambuco (PARAÍBA, 2006) (Figura 1).

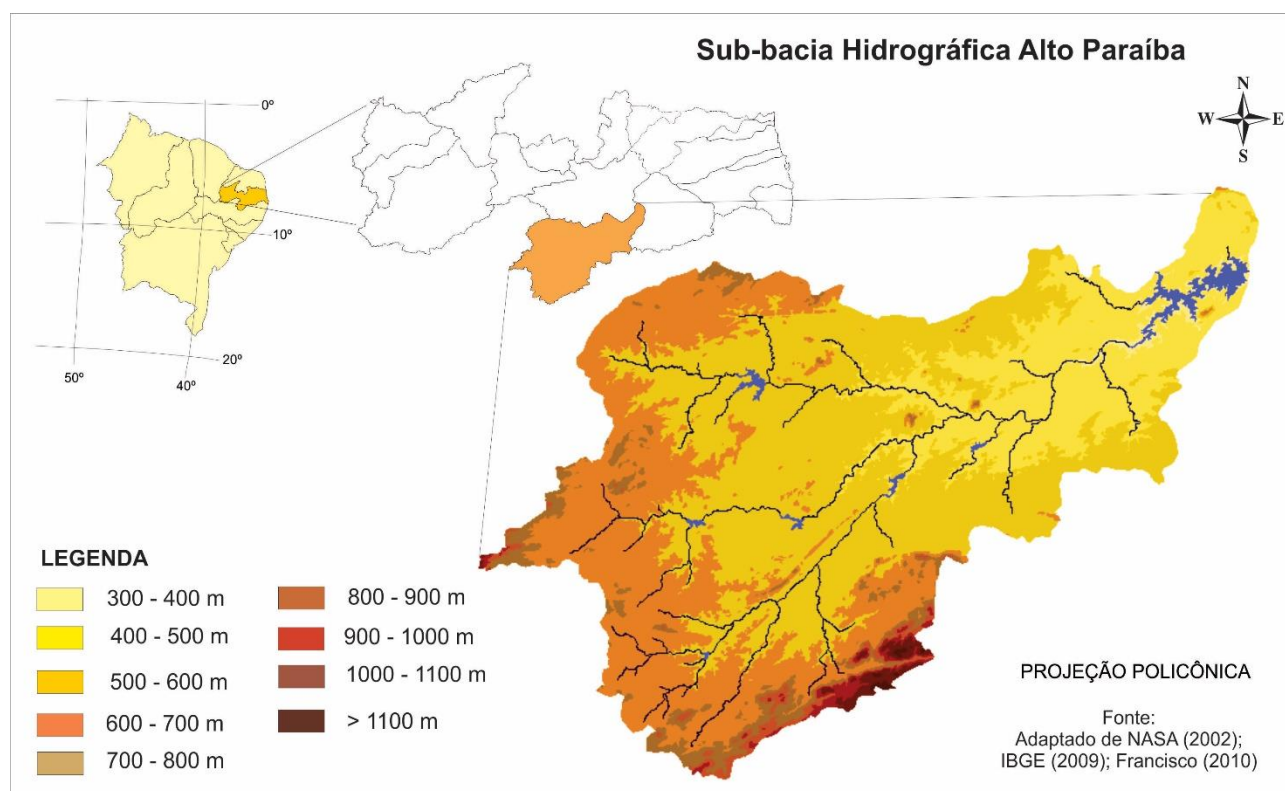


Figura 1. Localização e hipsometria da área de estudo.

Fonte: Adaptado de Francisco et al. (2014).

A bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba está inserida na Região Geográfica da Borborema Ocidental, limitando-se com os municípios de Prata, Sumé, Ouro Velho, Amparo, Camalaú, São Sebastião do Umbuzeiro, Zabelê, Monteiro, São João do Tigre, Congo Serra Branca, Coxixola, Caraúbas, São João do Cariri, São domingos, Barra de São Miguel, Cabaceiras e Boqueirão.

Conforme PARAÍBA (1978), de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Bsh - Semiárido quente, com precipitação predominantemente abaixo de 600 mm.ano⁻¹; temperatura média diária variando de 19 aos 29°C e amplitudes que podem ultrapassar os 10°C, devido ao efeito da altitude (400 a 700m). As chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de sudeste e do norte.

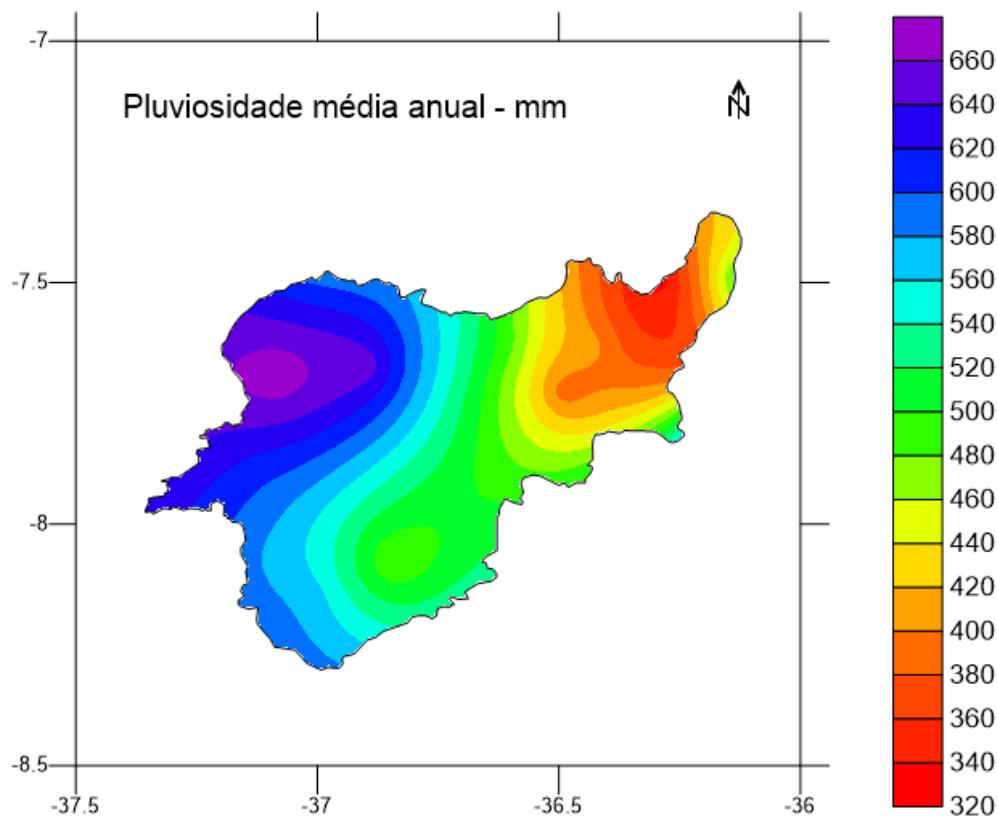


Figura 2. Pluviosidade média anual da área de estudo.

Fonte: Adaptado de Francisco et al. (2016).

De acordo com Sousa et al. (2007), a vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila com as espécies mais encontradas são o marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* Willd. Poiret.), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), e catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul). Outras espécies nativas da região estão presentes com poucos exemplares, como o angico (*Anadenanthera columbrina* Vell. Brenan) e a aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). Já os cactos são bastante diversificados.

Conforme Francisco (2010), é uma região tradicionalmente pastoril, onde tem predominando a criação de caprinos. Outrora com produção expressiva de algodão e na atualidade cultiva palma e culturas alimentares.

Os solos predominantes na área de estudo, conforme PARAÍBA (1978), são os Aluviais Eutróficos que ocorrem ao longo das calhas dos rios; os Brunos Não Cálcicos e os solos Litólicos Eutróficos, distribuídos por toda a área da bacia, como também os Vertisols, com maior ocorrência no terço inferior da bacia, mais próximos ao Açude Epitácio Pessoa, estes reclassificados para o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos por Campos e Queiroz (2006) como solos Neossolos flúvicos Ta eutróficos solódicos, Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e como Vertissolo Cromado Órtico solódico, respectivamente (Figura 3).

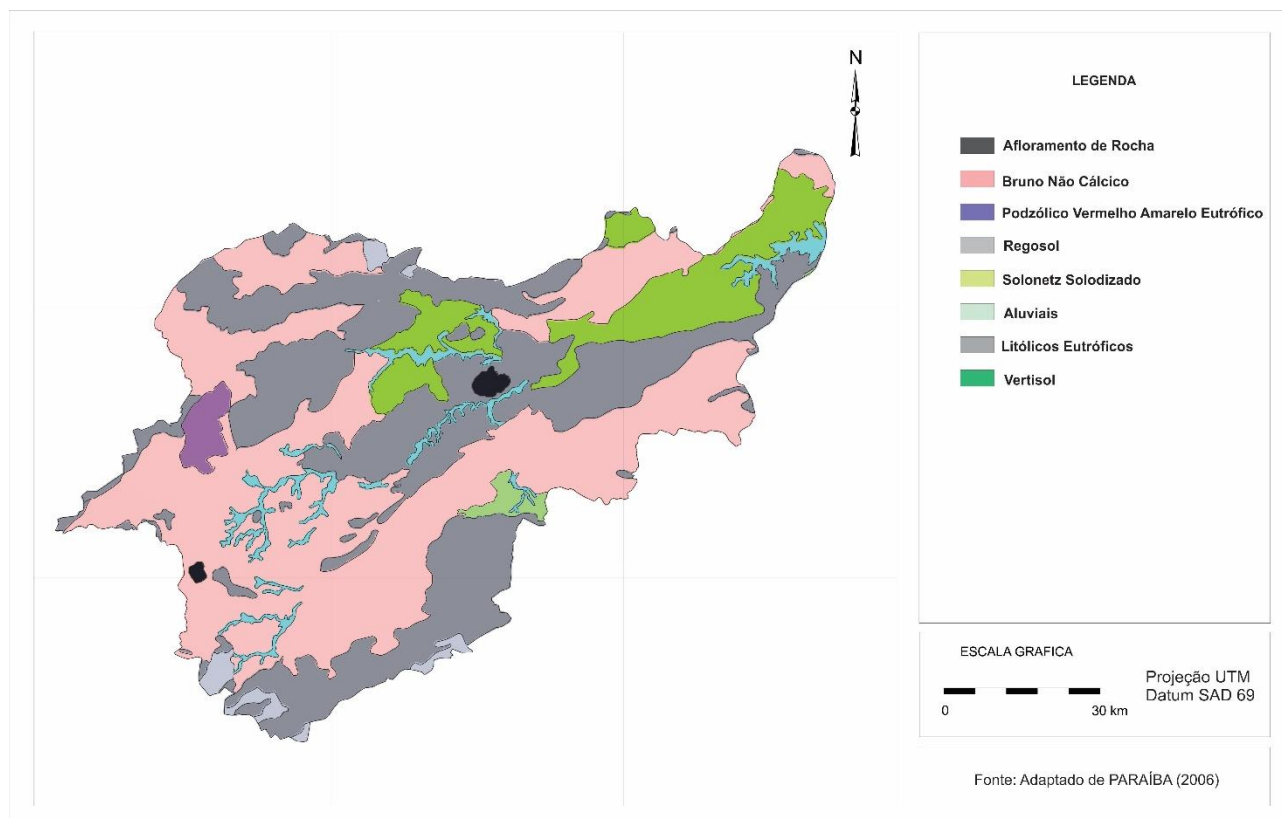


Figura 3. Classes de solos da bacia hidrográfica Alto Paraíba.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor TM LANDSAT 5, órbita 215, pontos 65 e 66, de 12/10/2003, período seco. As imagens foram tratadas utilizando o software ERDAS 8.5, onde foi executada a correção radiométrica e obtidas as imagens de radiância e reflectância, de acordo com Silva et al. (2005a).

As etapas seguintes correspondentes ao cômputo do índice de vegetação estão descritas em Silva et al. (2005b). Neste procedimento utilizou-se a relação proposta por Markham e Baker (1987) (Equação 1).

$$L_{\lambda i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) ND \quad (\text{Eq.1})$$

Em que: a_i e b_i são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255) e $i = 1, 2, 3, 4, 5$ e 7 , corresponde às bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM - LANDSAT 5.

De posse dos mapas de radiância espectral de cada banda, informações sobre o $\cos Z$ e irradiância espectral no topo da atmosfera (Tabela 1) para cada banda, estimará a refletância espectral planetária em cada banda (BASTIAANSEN, 1995) (Equação 2).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: $\rho_{\lambda i}$ é reflectância planetária da banda i , $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral no topo da atmosfera (Tabela 1), $\cos Z$ é o ângulo zenital do Sol e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra - Sol - ds, em unidades astronômicas (IQBAL, 1983), dado pela Equação 3.

$$ds = 1 + 0,0167 \cdot \sin \left[\frac{2 \pi (J - 93,5)}{365} \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo: J = o dia Juliano e o argumento da função seno se encontra em radiano. Por sua vez, o ângulo Zenital do Sol não precisou ser calculado pois se encontrava disponível no cabeçalho das imagens adquiridas para este trabalho.

Tabela 1. Descrição das bandas do Mapeador Temático do LANDSAT 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração (Wm ⁻² sr ⁻¹ μm ⁻¹)		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera (Wm ⁻² μm ⁻¹)
		a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	-1,51	221,0	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Allen et al. (2002).

Para obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizada a Equação 4.

$$NDVI = \frac{(rp4 - rp3)}{(rp4 + rp3)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: rp4 e rp3 correspondem às reflectâncias planetárias das bandas 4 e 3 do TM-LANDSAT 5.

Com o objetivo de estimar a biomassa da vegetação de caatinga foi criada uma base de dados no SPRING 5.5, na projeção UTM/SAD69, registrando e importando a imagem-índice de vegetação e classificando-a com a utilização do programa LEGAL.

Na Linguagem Algébrica para gerar o mapa de cobertura do solo foi definida as classes de cobertura vegetal e uso da terra de acordo com os tipos (Tabela 2), conforme metodologia proposta por Francisco (2013).

Tabela 2. Classes de NDVI correspondentes aos índices de biomassa (IBVL) da vegetação de Caatinga

Classes	NDVI	IBVL
Arbórea Subarbórea densa	> 0,300	> 0,60
Subarbórea Arbustiva densa	0,285-0,300	0,50 a 0,60
Arbustiva Subarbórea densa	0,265-0,285	0,40 a 0,50
Arbustiva Subarbórea aberta	0,250-0,265	0,30 a 0,40
Arbustiva Subarbustiva aberta	0,225-0,250	0,20 a 0,30
Subarbustiva Arbustiva rala	0,180-0,225	0,10 a 0,20
Subarbustiva Arbustiva muito rala	0,150-0,180	0,05 a 0,10
Solo exposto	0-0,150	< 0,05
Corpos d'água	< 0	

Fonte: Francisco (2013).

Após se elaborou a estimativa do volume da biomassa da área de estudo, multiplicando o volume padrão de referência para uma condição de máxima preservação adotado de 108 m³ ha⁻¹, pelas áreas consideradas e seus respectivos valores de IBVL, obtidos da descrição da vegetação conforme Chaves et al. (2008). Após, foi gerado o cálculo das áreas das classes.

Resultados e Discussão

O volume da biomassa lenhosa da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba foi estimado em 9.785.367 m³ (Tabela 3). Pelos resultados obtidos, pode-se observar que o valor para a bacia em estudo, em todo a sua área, para um índice de biomassa da vegetação de maior porte com IBVL igual a 1, seria

um valor total de 67.173.900 de m³. Os valores de volume encontrados para toda a bacia representam somente 14,56% do volume ideal proposto por Chaves et al. (2008).

Tabela 3. Classes de biomassa da vegetação lenhosa da bacia

Clases	Volume Referência (m ³ .ha ⁻¹)	IBVL médio	Rendimento (m ³ .ha ⁻¹)	Área (ha) x10 ²	Volume de Biomassa (m ³ .10 ³)
Arbórea Subarbórea densa	108	0,65	70,2	337,62	2.370.092
Subarbórea Arbustiva densa	108	0,55	59,4	87,01	0.516.839
Arbustiva Subarbórea densa	108	0,45	48,6	149,91	0.728.563
Arbustiva Subarbórea aberta	108	0,35	37,8	155,95	0.589.491
Arbustiva Subarbustiva aberta	108	0,25	27,0	417,78	1.128.006
Subarbustiva Arbustiva rala	108	0,15	16,2	1.957,64	3.171.377
Subarbustiva Arbustiva muito rala	108	0,075	8,1	1.581,48	1.280.999
Solo exposto	-	-	-	1.458,72	-
Corpo d'água	-	-	-	23,39	-
Nuvem	-	-	-	547,90	-
Total	-	-	-	6.717,39	9.785.367

Para a classe subarbórea arbórea densa (Figura 4) foram obtidos os maiores valores de volume de 2.370.092 m³ representando 5,06% da área e somando-se com os valores da classe Subarbórea arbustiva densa de 516.839 m³ representando 1,1%, Arbustiva subarbórea densa de 728.563 m³ representando 1,155%, perfaz-se um total de 7,71%, neste caso, abaixo do ideal de conservação da vegetação da área de estudo.

Francisco (2013) estudando bacia contígua, do rio Taperoá, constatou que o volume da biomassa lenhosa da bacia foi de 20.255.100 m³, deste total, a classe de vegetação Arbórea Subarbórea densa foi a responsável por 7.318.400 m³ equivalendo a 36,1% do total.

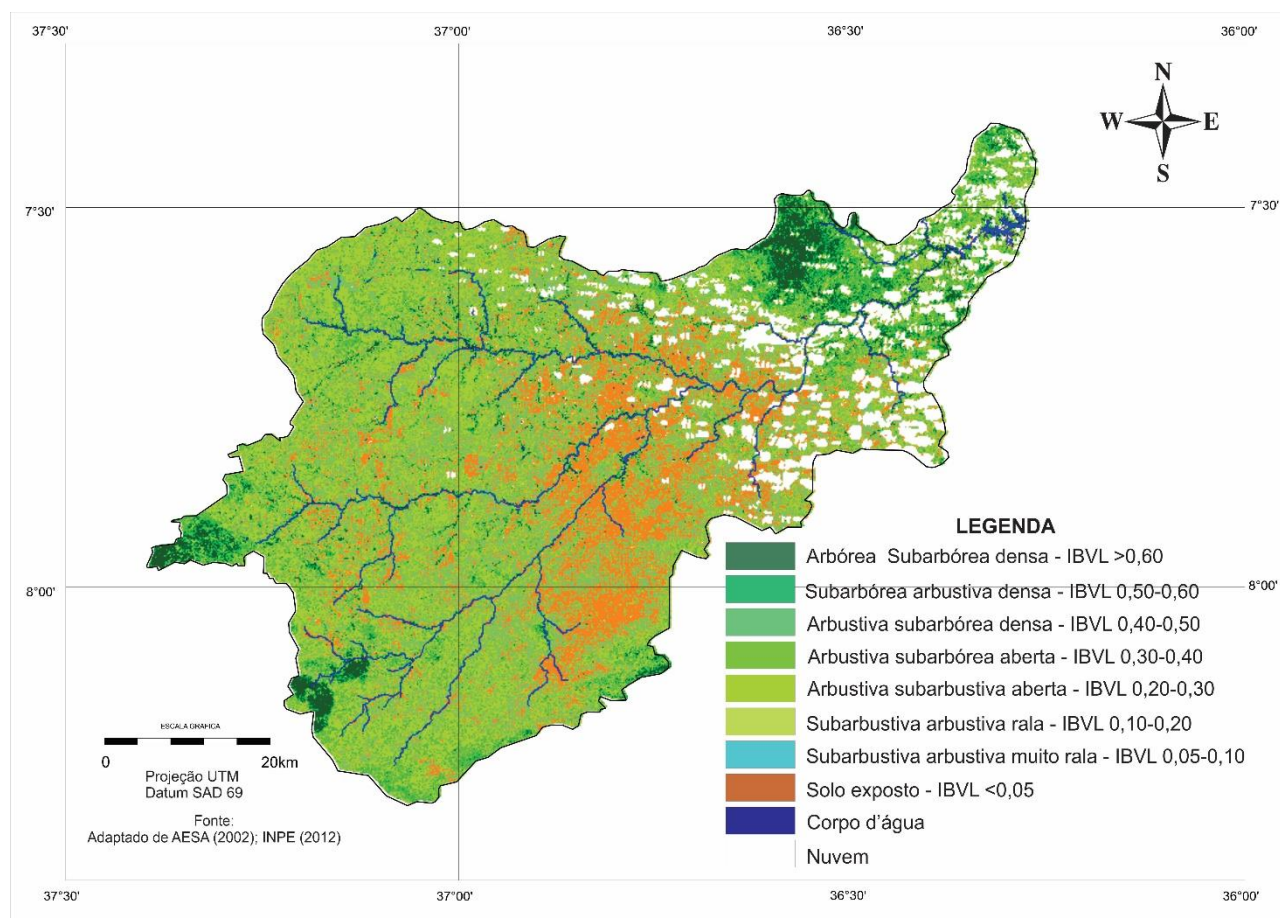


Figura 4. Mapa de biomassa da vegetação lenhosa da bacia.

Fonte: Adaptado de AESA (2002); INPE (2012).

Para as classes Arbustiva subarbórea aberta e Arbustiva subarbusativa aberta perfazem um total de 1.719.417 de m³ correspondendo a 3,67% da bacia. As classes Subarbusativa arbustiva rala e muito rala totalizam 9,5% da área com 4.452.376 m³ de vegetação abaixo do ideal.

Cálculo estimativo utilizando os dados do diagnóstico da vegetação da bacia hidrográfica do açude de Soledade, localizada na bacia do rio Taperoá, realizado por Guimarães (2009), utilizando metodologia semelhante à deste trabalho, chegou a um índice de degradação de 72%, um valor compatível com o encontrado neste trabalho.

Chaves et al. (2015) mapeando a degradação dos solos na sub-bacia do rio Taperoá, contígua a este estudo, observou que as áreas com vegetação mais degradadas, com menor cobertura de vegetação, ocupavam 59,0% da bacia, distribuindo-se pelas partes mais baixas, ao longo da drenagem, em grande parte, sobre áreas onde predominam os solos Luvisolos Crômicos, com caráter vértico. Resultados estes similares ao encontrados por este mapeamento. Francisco et al. (2014), estudando o município de Sumé, incluído na bacia em estudo, utilizando esta mesma metodologia observaram que, as áreas mais desnudas de vegetação estão mais próximas da drenagem e aumentam na medida em que diminui de altitude e principalmente em áreas de solos Vertissolos que predominam nas partes mais baixas, no entorno da drenagem ao sudeste da área de estudo.

Francisco et al. (2013) observaram em área contígua pertencente à bacia do rio Taperoá, que o os valores de volume encontrados para toda a bacia representaram somente 38,02% do volume ideal demonstrando que 61,98% da área útil da bacia estão em processo de perda de biomassa. Os mesmos autores, em suas considerações observaram que, a forma de utilização atual, vem causando degradações fortes e por vezes irreversíveis que desencadeia mudanças no ambiente, com um elevado índice de degradação, expondo o solo aos agentes intempéricos, acarretando processos erosivos que irão degradar os solos.

Francisco et al. (2015) consideram que, a intempestividade das chuvas da região semiárida brasileira, em particular com ocorrência de chuvas de alto potencial erosivo, a cobertura vegetal do solo é de fundamental importância para protegê-lo. Neste caso, pode se afirmar, com certo grau de certeza, que as áreas com caatinga Subarbusativa arbustiva rala e de menor de recobrimento, encontram-se em processo avançado de desertificação.

Sousa et al. (2008), comenta que os prejuízos ambientais estão quase sempre relacionados ao uso indevido do solo pelas diversas atividades degradantes. Assim, a retirada da cobertura vegetal para implantação de agricultura de autoconsumo ou para pecuarização extensiva sem práticas de conservação ambiental compromete, a médio e longo prazo, as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, inviabilizando essas áreas a uma exploração sustentável no futuro e transformando-as em áreas desertificadas.

Francisco et al. (2014), estudando o município de Sumé, incluído na bacia em estudo, utilizando esta mesma metodologia observaram que, com a utilização de imagem orbital de média resolução espacial, a classificação pelo IBVL e a classificação utilizando o NDVI foi satisfatória para a separação das fisionomias existentes na área estudada, resultado similar observado neste trabalho.

Conclusão

Com a utilização da linguagem algébrica pôde-se chegar a resultados satisfatórios com rapidez e precisão para o computo do índice de biomassa de vegetação lenhosa.

Por esta metodologia não foram identificadas classes de biomassa de vegetação lenhosa de maiores valores.

Em comparação com uma condição hipotética de máxima preservação, a biomassa de vegetação lenhosa da Caatinga da bacia do Alto Rio Paraíba está degradada apresentando 85,43% da área em processo de perda de biomassa.

Referências

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2011. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 9 de julho 2018.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. DE; NASCIMENTO, S. S. DO. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. Revista Caatinga, v.22, n.3, p.126-135, 2009.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga com fins pastoris. Simpósio sobre Caatinga e sua Exploração Racional, 1984, Feira de Santana. Brasília, EMBRAPA – DDT, p.327-343, 1986.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil. Brasília-DF, 2005, 213p.
- CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, n.1, 2006.
- CHAVES, I. DE B.; LOPES, V. L.; FOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. *Revista Caatinga*, v.21, n.2, p.204-213, 2008.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; CHAVES, L. H. G. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. *Revista Caatinga*, v.28, n.1, p.183-195, 2015.
- FEITOSA, J. R. P.; COSTA FILHO, J. F. DA; SILVA, B. B. DA. Avaliação de índices de vegetação em área irrigada do sub-médio São Francisco, Petrolina-PE, a partir de imagens do satélite LANDSAT 5-TM. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 18, 2004, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2004.
- FEITOSA, J. R. P.; COSTA FILHO, J. F. DA; SILVA, B. B. DA. Avaliação de índices de vegetação em área irrigada do sub-médio São Francisco, Petrolina-PE, a partir de imagens do satélite LANDSAT 5-TM. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 18, 2004, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2004.
- FLOREZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. Oficina de Texto. São Paulo, 2002. 97p.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2013.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Modelo de mapeamento da deterioração das terras semiáridas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, 2013, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2013.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE. Estimativa da degradação da biomassa da vegetação de caatinga através de índices de vegetação. *Polêm!ca*, v.12, n.2, p.306-321, 2013.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.3, p.676-693, 2012.
- FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. DO N.; MORAES NETO, J. M. DE; ARAGÃO, K. P. Avaliação da degradação da caatinga do município de Sumé-PB estimado pelo volume de biomassa da vegetação lenhosa. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.1, p.117-129, 2014.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Análise espectral e avaliação de índices de vegetação para o mapeamento da caatinga. *Revista Verde*, v.10, n.3, p.01-12, 2015.
- GUIMARÃES, A. P. Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2009.
- MANZATTO, H. R. H.; CUNHA, T. J. F.; SILVA, C. A.; MATOS, J. A. DE; RAMOS, D. P. Diagnóstico ambiental como subsídio ao desenvolvimento sustentável para produção rural em comunidades das microbacias hidrográficas no estado do Rio de Janeiro. *EMBRAPA Solos - CNPS*, n.8, 1998, 4p.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005. 320p.
- NOVO, E. M. L. DE M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2008. 308p.
- OLIVEIRA, W. M. DE; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um Neossolo Litólico do semiárido paraibano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais...Natal: INPE, 2009. p.2103-2110.
- OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C. DE; SAITO, H. C. A modelagem de dados temáticos geoespacializados na identificação dos diferentes níveis de susceptibilidade à desertificação da região semiárida do nordeste brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: INPE, 2003. p.1399-1406.
- PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eleto Consult Ltda., 1978. 448p.

- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B.; ARAÚJO, S. B.; SAMPAIO, G. R. Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife: Ed. Universitária, 2003. 202p.
- SARMENTO, E. C.; WEBER, E.; HASENACK, H. Avaliação da situação da cobertura florestal na Bacia do Rio Cadeia/Feitoria e identificação de áreas críticas usando técnicas de geoprocessamento. UFRGS. Centro de Ecologia, 2001. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br>>. Acesso em: 12 de março de 2012.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.13, n.2, p.11-21, 2005a.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens LANDSAT 5 – TM. Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.2, p.243-252, 2005b.
- SOUZA, B. I. DE; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. DE. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do Cariri Paraibano. Mercator, v.8, n.16, p.217-232, 2009.
- VAREJÃO-SILVA M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR M. J. N.; NIETZSCHE M. H.; SILVA, B. B. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande, 1984.

ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARAÍBA**Paulo Roberto Megna Francisco¹****Iêde de Brito Chaves²****João Miguel De Moraes Neto³****Hayssa Thyara Silva Barreto⁴**¹Dr. em Eng. Agrícola, UEPB, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com²Dr. Prof. Aposentado, UFPB, Areia-PB, iedebchaves@hotmail.com³Dr. Prof. Titular, UFCG, Campina Grande-PB, j.miguel.moraes@hotmail.com⁴Graduanda em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hayssathyara@hotmail.com**Introdução**

Com intervenções inadequadas das atividades humanas sobre o meio ambiente, os processos erosivos se intensificam e passam a comprometer os principais recursos naturais do planeta, em particular, o solo e a água superficial (RIBEIRO et al., 2009). A região do Cariri Paraibano, onde se localiza a área de estudo, suas terras vêm sendo submetida a pressão das atividades humanas desde a sua colonização iniciada com o ciclo do couro, no século XVIII, encontrando-se bastante impactada (CHAVES et al., 2015). Fundamentalmente, a desertificação é o processo de degradação das terras do ambiente natural árido, semiárido e subúmido, quase sempre associado aos efeitos erosivos das chuvas, agravados pelas atividades humanas como ressaltam Fernandes e Medeiros (2009).

A erodibilidade do solo pode ser entendida como sendo a maior ou menor capacidade de resistência à ação erosiva da chuva. As propriedades do solo que afetam a erodibilidade são aquelas relacionadas à infiltração, drenagem e capacidade de armazenamento de água, e as relacionadas à dispersão, desagregação, abrasão e movimento de partículas do solo pela chuva e escoamento; assim, características do solo, tais como: textura, estrutura, profundidade do perfil e tipo e quantidade de argila, matéria orgânica e cátions trocáveis, estão intimamente relacionadas à sua susceptibilidade a erosão (WISCHMEIER & SMITH, 1978; RENARD et al., 1997; BRYAN, 2000).

Modelos relativamente simples podem descrever com certo grau de confiança os processos de degradação ambiental, facilitando a complementação de diagnósticos integrados dos recursos naturais e das suas relações com as atividades humanas (FRANCISCO et al., 2013).

Considerando a possibilidade de utilizar as geotecnologias disponíveis e de baixo custo, e de poder contribuir para a realização de diagnósticos da caatinga, este trabalho tem como objetivo avaliar e mapear a erodibilidade das terras da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, Estado da Paraíba.

Material e Métodos

A área de estudo compreende a bacia Alto Paraíba, com área de 6.717,39 km² localizada sobre o Planalto da Borborema ao centro sul do Estado da Paraíba, divisa ao sul com Pernambuco (PARAÍBA, 2006) (Figura 1). Conforme Francisco (2010), de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominantemente abaixo de 600 mm.ano⁻¹, e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700m) onde as chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de sudeste e do norte.

De acordo com Sousa et al. (2007), a vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila com as espécies mais encontradas sendo o marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* Willd. Poir.), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), e catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul). Outras espécies nativas da região estão presentes com poucos exemplares, como o angico (*Anadenanthera columbrina* Vell. Brenan) e a aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). Já os cactos são bastante diversificados.

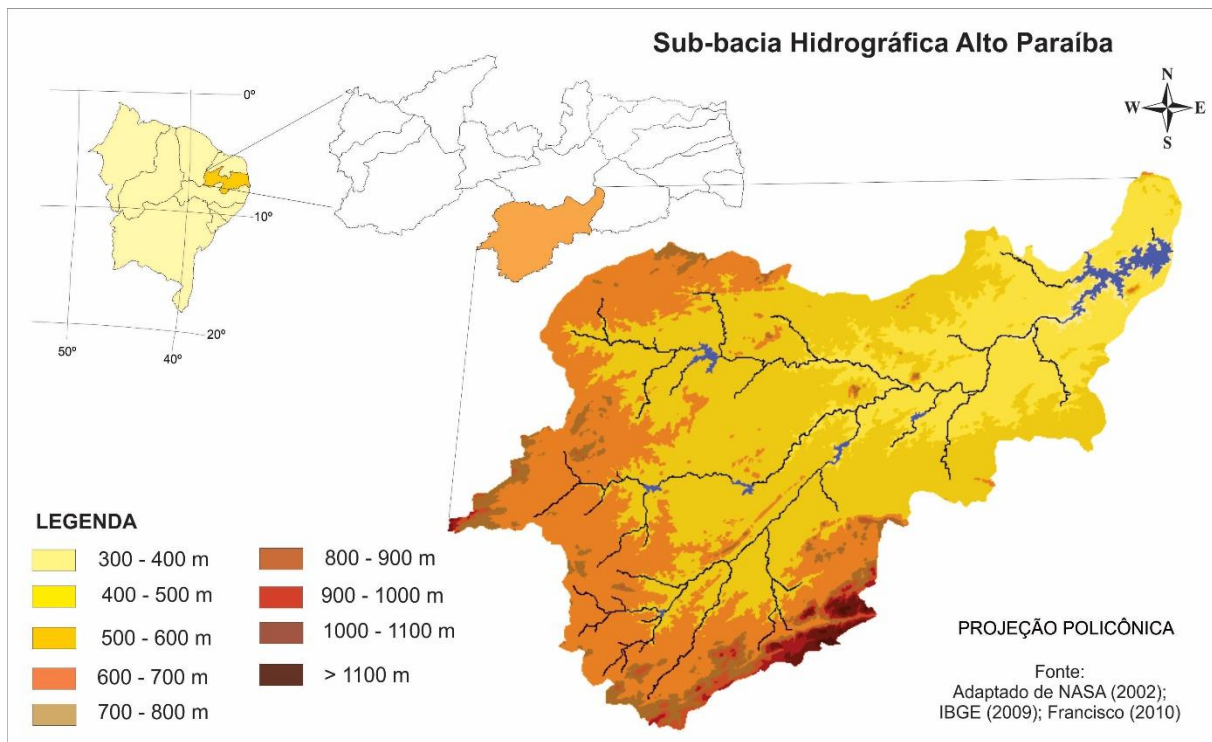


Figura 1. Localização e hipsometria da área de estudo.

Fonte: Adaptado de Francisco et al. (2014).

Os solos predominantes na área de estudo (Figura 2), conforme PARAÍBA (1978), são os Aluviais Eutróficos que ocorrem ao longo das calhas dos rios; os Brunos Não Cálcicos e os solos Litólicos Eutróficos, distribuídos por toda a área da bacia, como também os Vertisols, com maior ocorrência no terço inferior da bacia, mais próximos ao Açude Epitácio Pessoa, estes reclassificados para o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos por Campos e Queiroz (2006) como solos Neossolos flúvicos Ta eutróficos solódicos, Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e como Vertissolo Cromado Órtico solódico, respectivamente.

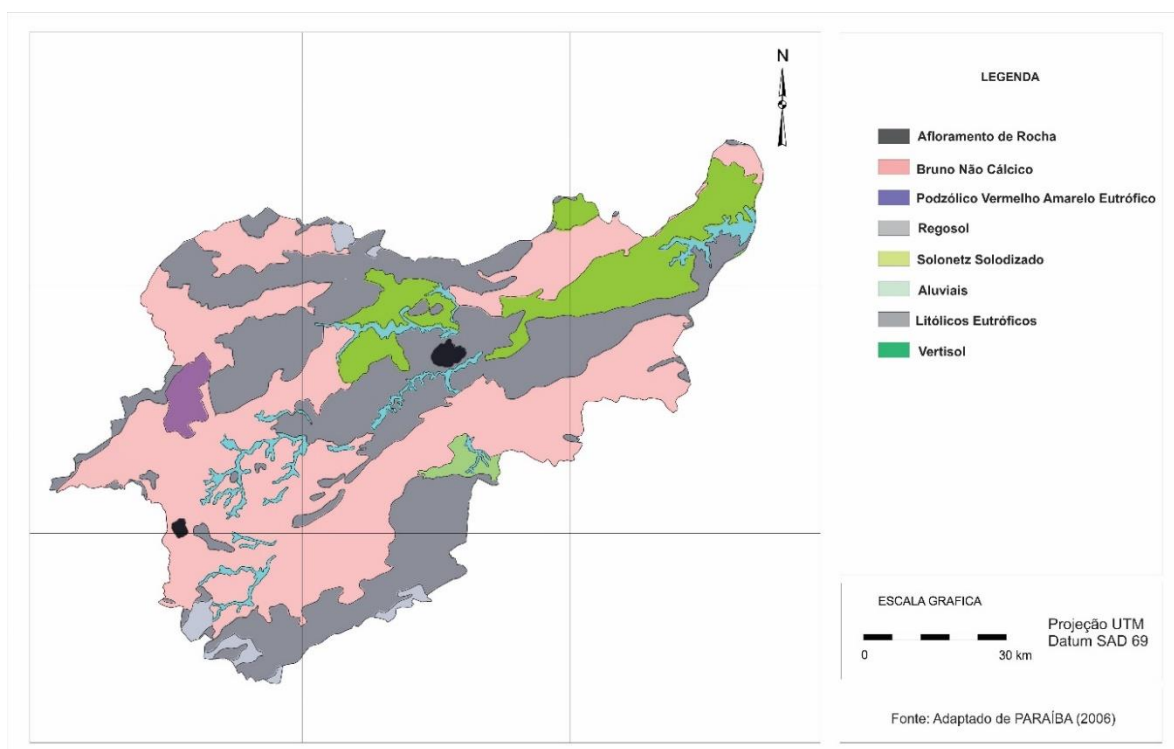


Figura 2. Classes de solos da bacia hidrográfica Alto Rio Paraíba.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o sistema de informação geográfica SPRING 5.4 na base de dados na projeção UTM/SAD69 desenvolvido por Francisco (2010) e Francisco (2013), onde consta o mapa de solos atualizado anteriormente proposto por PARAÍBA (2006), onde foi elaborado o mapa de erodibilidade e calculado as áreas de suas classes de ocorrências. A erodibilidade dos solos (K) da bacia foi determinada pela equação proposta por Denardin (1990), para o conjunto dos solos brasileiros e americanos, simplificada por Chaves et al. (2004) para os dois principais parâmetros, o fator granulométrico M e a permeabilidade do solo P.

Na elaboração do mapa de erodibilidade foi criada uma planilha no Excel em que cada polígono de solo da área de estudo, baseado nas informações contidas nos perfis representativos do Boletim do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), teve calculado sua erodibilidade, baseada na metodologia proposta por Chaves et al. (2004) e utilizada por Francisco e Chaves (2017).

Nesta proposta os autores considerando a possibilidade de obtenção dos dados do boletim de solos brasileiros, através de um artifício para estimativa dos dados de granulometria a partir da classificação internacional para a classificação americana, utilizam o modelo proposto por Denardin (1990), para estimar a erodibilidade dos solos conforme a Equação 1.

$$K=0,00000748 (X_{25}) + 0,00448059 (X_{29}) - 0,06311750 (X_{27}) + 0,01039567 (X_{32}) \text{ (Eq. 1)}$$

Onde: K, é o valor a ser estimado para o fator erodibilidade do solo, expresso em $\text{Mg hMJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; X_{25} , é a variável granulométrica “M”, calculada a partir da determinação pelo método da pipeta; X_{29} , é a permeabilidade do perfil de solo, codificada conforme Wischmeier et al. (1971); X_{27} , é o diâmetro médio ponderado das partículas menores do que 2mm, expresso em mm; X_{32} , é a relação entre o teor de matéria orgânica e o teor da “nova areia” determinada pelo método da pipeta.

Considerando o alto grau de determinação do parâmetro X_{25} (variável granulométrica “M”), com $r^2 = 0,9461$, a estimativa da erodibilidade dos solos foi calculada pela equação de K, reduzida aos dois primeiros parâmetros, cuja expressão matemática ajustada por Denardin (1990) passou a ser conforme a Equação 2.

$$K = 0,00000797 (X_{25}) + 0,0029283 (X_{29}) \text{ (} r^2 = 0,9561 \text{)} \text{ (Eq. 2)}$$

A variável “M” é um artifício que exalta a ocorrência das frações granulométricas do solo mais facilmente dispersas e transportadas pela água, o silte e a areia muito fina. Essas frações agrupadas numa mesma classe textural, passaram a ser chamada de fração “novo silte (NS)” enquanto, a fração areia com a subtração da fração areia muito fina, passou a ser chamada de “nova areia (NA)” (WISCHMEIER et al., 1971). Assim, a variável “M” é expressa pelo produto entre os valores percentuais da fração novo silte, vezes a soma das frações novo silte + nova areia ($M = NS \times (NS + NA)$).

Nos boletins de solos brasileiros o resultado da análise granulométrica é apresentado na classificação internacional (ISSS), enquanto, originalmente, a variável “M” utiliza os dados da classificação americana (USDA); assim, para a conversão dos dados granulométricos da classificação internacional dos boletins de solos brasileiros, com vista à classificação americana, Chaves et al. (2004) propuseram a Equação 3.

$$M = 640,03 + 0,0003 M_i \text{ (} r^2 = 0,8214 \text{)} \text{ (Eq. 3)}$$

Sendo: M = valor de “M” corrigido, ou da variável X_{25} do modelo de Denardin, e M_i = valor obtido do boletim de solos (classificação internacional).

A estimativa da permeabilidade dos solos (variável X_{29}) foi realizada a partir da correspondência entre as classes de drenagem descritas no boletim de solos (BRASIL, 1972) e as classes de permeabilidade propostas e codificadas por Wischmeier et al. (1971) (Tabela 1).

Tabela 1. Correspondência entre classes de drenagem e permeabilidade

Classes de Drenagem	Classes de Permeabilidade
Muito mal drenado	Muito lenta
Mal drenado	Muito lenta
Imperfeitamente drenado	Lenta
Moderadamente drenado	Lenta a moderada
Bem drenado	Moderada
Acentuadamente drenado	Moderada a rápida
Fortemente drenado	Rápida
Excessivamente drenado	Rápida

Fonte: BRASIL (1972); Wischmeier et al. (1971).

Para as descrições de drenagem intermediárias entre duas classes do tipo “bem drenado a acentuadamente drenado”, adotou-se uma codificação de valor intermediário, exemplo, 2,5. Os dados sobre textura (X_{25}) e permeabilidade (X_{29}) foram interpretados e calculados a partir da ordenação dos dados dos perfis de solos descritos no Boletim de Solos do Estado da Paraíba (BRASIL, 1972).

Na metodologia para o enquadramento das classes utilizou-se o valor da erodibilidade do solo representativo de cada unidade de mapeamento, ou seja, o solo dominante de cada associação de solo. Para cada solo foi considerado apenas o valor da erodibilidade do horizonte superficial; assim, para cada polígono do mapa foi atribuído um valor representativo de erodibilidade; em seguida, agrupados em cinco classes de erodibilidade. Com vista à elaboração do mapa de erodibilidade do solo no SPRING foi realizada a classificação para o enquadramento das classes definidas conforme a Tabela 2.

Resultados e Discussão

Pela Figura 3, no mapa de Erodibilidade do solo, observa-se que a erodibilidade está fortemente associada à presença de frações silte+areia muito fina (fator M), e de forma secundária, a permeabilidade, representados pelos Neossolos Litólicos e Luvisolos Crômicos, com erodibilidade alta, em 50,32% da área (Tabela 2), resultados similares encontrados por Chaves et al. (2013). Chaves et al. (2004), utilizando esta mesma metodologia para os solos de todo o Estado da Paraíba, comentam que a amplitude de valores são relativamente pequena face à diversidade de solos, material geológico e clima, que ocorrem nas diferentes regiões geográficas do Estado e que existem concordâncias com os dados dos Luvisolos e Neossolos Litólicos, normalmente com erodibilidade alta a muito alta. Estas ocupam uma área de 3.380,3 km² da bacia, representando 50,32% da área total. Resultado similar encontrado por Francisco (2013) estudando a bacia do rio Taperoá.

Tabela 2. Parâmetros dos solos utilizados para estimativa e classificação da erodibilidade

Solo	Perfil Repres.	Areia (%)	Ar+ Silt (%)	Mi	Mc	Drenab.	Fator K (Mg h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	Classe
Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PE46)	16	40	46	3956	2097	2	0.0226	M
Luvisolo Crômico Órtico (NC17; 18; 19; 37; 38; 41; 43; 44; 45)	25	24	43	2881	1519	3	0.0209	M
Vertissolo Cromado Órtico típico (V2; 7; 8; 13)	95	19	50	3450	1802	5	0.0290	M
Planossolo Nátrico Órtico (SS2; 7)	44	51	40	3640	1907	5	0.0298	M
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico solódico (Ae3)	47	5	54	3186	1665	5	0.0279	M
Neossolo Litólico Eutrófico típico (Re39)	72	40	50	4500	2469	2	0.0255	M
Neossolo Regolítico Psamítico típico (REe11; 13; 15; 17)	129	54	39	3627	1900	4	0.0269	M
Afloramento de Rocha + Neossolo Litólico Eutrófico típicos	72	40	50	4500	2469	2	0.0255	M
Luvisolo Crômico Órtico (NC25; 28; 47; 49; 52; 55; 57)	74	24	57	4617	2557	4	0.0321	A
Neossolo Litólico Eutrófico típico (Re13; 18; 19; 20; 23; 24; 25; 32; 52; 58; 66; 70)	72	32	60	5520	3353	3	0.0355	A
Luvisolo Crômico Órtico (NC24; 27)	70	18	71	6319	4261	3	0.0427	MA

Fonte: PARAÍBA (1972; 1978).

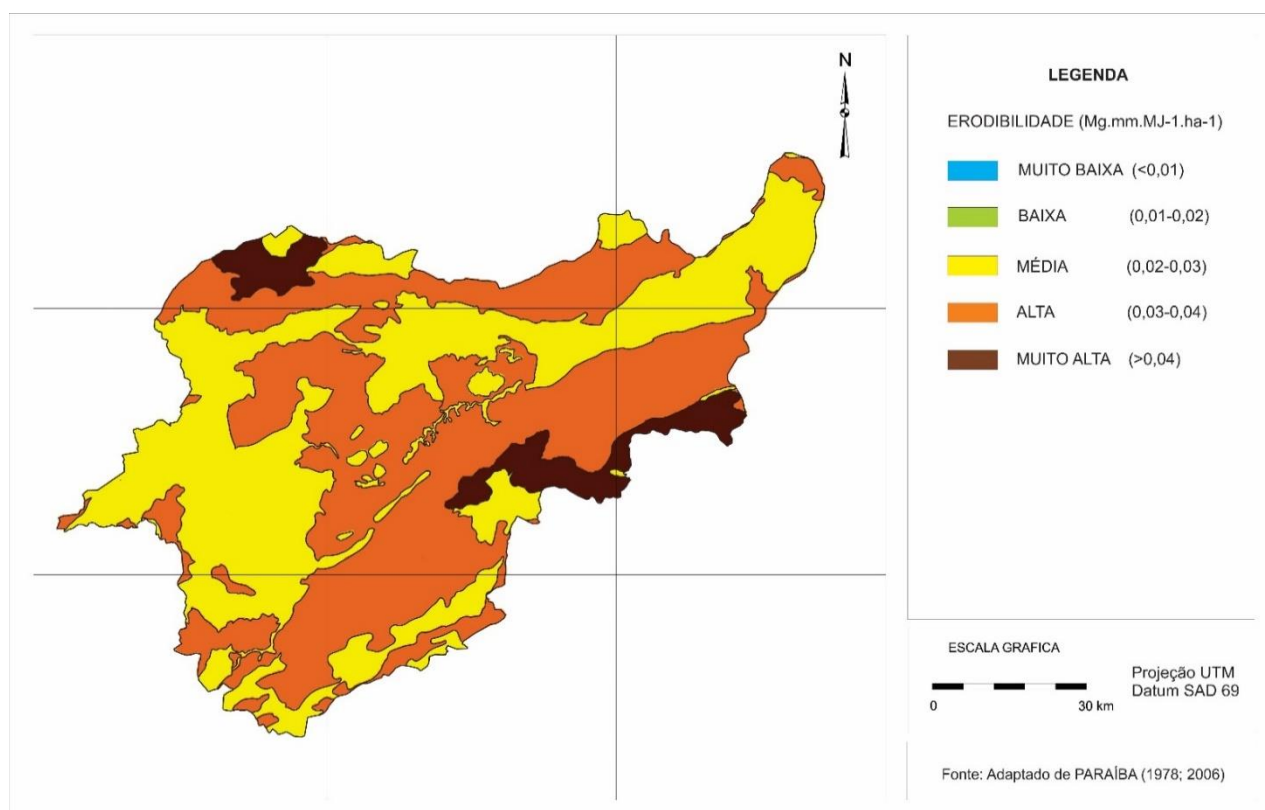


Figura 3. Mapa de Erodibilidade dos solos.

Em grande parte, os Luvisolos, Planossolos e Neossolos Litólicos são os solos mais presentes nas áreas degradadas do Nordeste e, como observaram Ribeiro et al. (2009), apresentam uma ou mais características que determinam a susceptibilidade à erosão, quais sejam: altos teores das frações silte + areia fina nos horizontes superficiais; baixos teores de C orgânico; ausência de estrutura no horizonte superficial; presença de crostas superficiais; transição abrupta, com grande aumento textural, próximo à superfície; baixa condutividade hidráulica dos horizontes subsuperficiais; elevada saturação por sódio; alto grau de dispersão da fração argila; alta densidade do solo; e pequena profundidade efetiva. A classe de erodibilidade muito alta ocupa uma área de 401 km² da bacia, representando 5,97% da área total. Constata-se que, predominantemente, os solos representativos desta classe de erodibilidade estão associadas as unidades de Luvisolos Crômico órtico. Analisando o trabalho de Chaves et al. (2004), observa-se que existem concordâncias com os dados dos Luvisolos e Neossolos Litólicos, normalmente com erodibilidade alta a muito alta. De acordo com Jacomine (1996) os Luvisolos, de grande representatividade nas áreas mais afetadas pela seca, principalmente no Estado da Paraíba, apresentam baixa permeabilidade e são muito suscetíveis à erosão.

A classe de erodibilidade alta ocupa uma área de 3.380 km² da bacia, representando 50,2% da área total. Constata-se que, predominantemente, os solos representativos desta classe de erodibilidade são os Neossolos Litólicos, os Luvisolos Crômicos e os Neossolos Flúvico Ta Eutrófico solódico. Como se pode observar no mapa de solos (Figura 3), estes solos ocorrem por toda a bacia com maior representatividade geográfica. Em grande parte, esta classe é representada por unidades de solo Luvisolo Crômico, de caráter vértico ou não, e os solos Neossolos Litólicos. Estes são solos com teores elevados de silte e areia fina, frações estas, que em conjunto, estão associadas a 93% das variações da susceptibilidade dos solos a erosão (RENARD et al., 1997). Conforme Jacomine (1996), os Neossolos Litólicos são pouco desenvolvidos, rasos ou muito rasos, normalmente pedregosos e rochosos. Ocorrem na região semiárida em relevos ondulados a fortemente ondulados ou acidentados, por isto são muito suscetíveis à erosão.

A classe de erodibilidade média (0,02 a 0,03 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹) com a segunda maior representação em área na bacia, 2.936,39 km², que corresponde a 43,71% da área total, apresenta a maior diversidade de classes de solos (Tabela 2). Em termos de área, os Neossolos Litólicos e os Luvisolos Crômicos são os mais representativos ocorrendo distribuídos por toda a bacia. Estes solos Luvisolos e os Neossolos Litólicos, típicos da região semiárida de estudo, são normalmente os mais suscetíveis à erosão do Estado, como mostraram Chaves et al. (2004), que encontraram valores de erodibilidade para os solos

do Estado variando de 0,010 a 0,054 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹. Os Solonetz Solodizados possuem o diferencial de apresentarem, naturalmente, altos teores de sais, sendo impróprios para a agricultura devido à presença de sódio (JACOMINE, 1996; RIBEIRO et al., 2009).

Pelos dados obtidos, apresentados na Figura 3, pode se observar que não foram identificados solos das classes de erodibilidade muito baixa e baixa, com valores inferiores a 0,02 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹, não teve qualquer representante. Estas classes estão normalmente relacionadas a solos mais intemperizados e profundos de regiões úmidas. No Estado, estas classes de erodibilidade estão associadas aos Latossolos areno-argilosos e bem drenados com mais alta resistência à erosão, que ocorrem no Litoral e em topos de Serras interiores do Estado (CHAVES et al., 2004). Francisco (2013) trabalhando na sub-bacia hidrográfica do rio Taperoá, contígua a área de estudo, não encontrou solos da classe de erodibilidade muito baixa, valores inferiores a 0,01 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹, o que concorda com os resultados deste trabalho, já que são regiões com as mesmas características fisiográficas.

Conclusão

O uso do geoprocessamento permitiu mapear a erodibilidade das terras da bacia hidrográfica em estudo. Embora apresente limitações de escala, a metodologia utilizada neste trabalho permitiu prognosticar e mapear com fidelidade a erodibilidade dos solos.

Os solos da bacia apresentam erodibilidade média (0,02 a 0,03 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹) em 43,71% da área, representada pelos Neossolos Litólicos e os Luvisolos Crômicos; a classe de erodibilidade alta (0,03 a 0,04 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹) em 50,2% da bacia, representada pelos Neossolos Litólicos, os Luvisolos Crômicos e os Neossolos Flúvico Ta Eutrófico solódico; a classe muito alta (> 0,04 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹) que ocorre em 5,97% associada aos Luvisolos Crômico órtico.

Referência Bibliográfica

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2011. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 9 de julho 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972. (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia, 8).
- BRYAN, R. B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, v.32, p.385-415, 2000.
- CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, n.1, 2006.
- CHAVES, I. B.; SLACK, D. C.; GUERTIN, D. P.; LOPES, V. L. Estimativa da erodibilidade e sua relação com outros atributos dos solos do Estado da Paraíba. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15, Santa Maria, 2004. Anais...SBCS, Santa Maria, 2004.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da degradação das terras de caatinga. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, 2013, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2013.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; CHAVES, L. H. G. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. *Revista Caatinga*, v.28, n.1, p.183-195, 2015.
- DENARDIN, J. E. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba. 114p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, 1990.
- FERNANDES, J. D.; MEDEIROS, A. J. D. DE. Desertificação no Nordeste: uma aproximação sobre o fenômeno do Rio Grande Norte. *Holos*, v.25, v.3, p.147-161, 2009.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B. Modelo para estimativa da vulnerabilidade à desertificação. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.32, n.2, p.37-50, 2017.

- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D. Tecnologia da geoinformação aplicada no mapeamento das terras à mecanização agrícola. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.29, n.1, p.45-51, 2014.
- PARAÍBA. Governo da Paraíba. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral Fundação Instituto de Planejamento-FIPLAN. Potencial e irrigação e oportunidades agroindustriais no Estado da Paraíba. 1980. 287p.
- PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eletro Consult Ltda., 1978. 448p.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. (coordinators). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA, 1997. (Agriculture Handbook n.703).
- RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GALINDO, I. C. L. Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. 413-459p. In: Tópicos em Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.6, 2009. 497p.
- SOUSA, R. F. DE; BARBOSA, M. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P. DE; TERCEIRO NETO, C. P. C.; MORAIS NETO, J. M. Estudo da degradação de terras do município de Boa Vista - Paraíba. *Revista Engenharia Ambiental*, v.4, n.2, p.005-013, 2007.
- WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. W. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.26, n.5, p.189-193, 1971.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. USDA, Washington. 1978. 58p. (Agriculture Handbook n.537).

Curriculum dos Organizadores

Paulo Roberto Megna Francisco: Pós Doutor em Ciência do Solo pela UFPB. Doutor em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem pela UFCG. Mestre em Manejo de Solo e Água pelo CCA/UFPB. Graduado pela UNESP como Tecnólogo Agrícola com especialização em Mecanização. Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UEPB. Participa de Projetos de Pesquisa e Extensão juntamente com a EMBRAPA-Algodão, UFPB-Campus João Pessoa, UFCG-Campus Sumé, IFPB-Campus Campina Grande e Campus Picuí. Ministrou as disciplinas de Mecanização Agrícola, Máquinas e Motores Agrozootécnicos e Máquinas e Motores Agrícolas no CCA/UFPB. Atualmente presta consultoria para o INCRA/PB na realização de PDA's. Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do Congresso Técnico Científico da Engenharia e Agronomia – CONTECC.

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva: Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade do Vale do Acaraú-CE em 2010, Doutoranda e Mestre em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Especialista em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Especialista em Geografia e Gestão Ambiental pela Universidade Integrada de Patos - FIP. Trabalha com temas vinculados a sensoriamento remoto e SIG, desertificação, restauração ecológica, recuperação de áreas degradadas e características climatológicas da região semiárida do Brasil. Atualmente trabalha com temas vinculados a eventos extremos de chuva e sua relação com desastres ambientais relacionados ao movimento de massa.

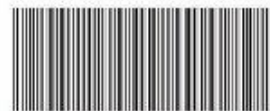
Nilza Martins de Queiroz Xavier: Engenheira Ambiental pela Universidade do Estado do Pará - UEPA, Licenciada em Matemática pela Universidade Federal do Pará e Mestra em Desenvolvimento Rural Sustentável e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares pelo Instituto Federal do Pará - IFPA. Atualmente é professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do IFPA, lotada no Campus Óbidos e tem experiência em Licenciamento Ambiental, Energias Renováveis, Docência na área de Engenharia Ambiental e Matemática.

**Portal Tecnológico
de Divulgação Científica**
Eventos, Pesquisas e Inovação



CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico


CAPES



978-85-60307-44-9

