

Caderno de Ciência, Pesquisa e Inovação

v.1, n.2, 2018

Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação
v.1, n.2, 2018

C122 Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação
v.1, n.2, 2018/ Organizador: Francisco et al.

— Campina Grande: EPGRAF, 2018.
145 f.: il. color.

ISBN: 978-85-60307-42-5

1. Engenharias. 2. Desenvolvimento Tecnológico. 3. Ideias
Inovadoras. 4. Difusão. I. Francisco, Paulo Roberto
Megna. II. Medeiros, Paulo da Costa. III. Silva,
Virgínia Mirtes Alcântara. 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.

Crédito de Imagens
Freepick.com

Editoração, Revisão e Arte da Capa
Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial
Djail Santos (CCA-UFPB)
Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)
Eduardo Rodrigues Viana de Lima (CCEN-UFPB)
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
Paulo da Costa Medeiros
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
(Organizadores)

Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação
v.1, n.2, 2018



Realização

**®Portal Tecnológico
de Divulgação Científica**
Eventos, Pesquisas e Inovação



Apoio



**UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ**



Universidade Federal
de Mato Grosso



UFRRJ
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DO RIO DE JANEIRO



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



**UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CARIRI**



Universidade de Brasília



INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PARAÍBA



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

SUMÁRIO

<i>APRESENTAÇÃO</i>	6
<i>Seção Agronomia</i>	7
<i>Capítulo 1</i>	8
<i>ARBORIZAÇÃO URBANA DA CIDADE DE BOM JESUS, PIAUÍ: ESTUDO DE CASO</i>	8
<i>Capítulo 2</i>	22
<i>CONFORMIDADE EM SISTEMA PARTICIPATIVO DE GARANTIA EM AGRICULTORES ORGÂNICOS DO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA-RJ</i>	22
<i>Capítulo 3</i>	29
<i>EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA IRRIGADA NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PIMENTÃO (<i>CAPSICUM ANNUUM L.</i>)</i>	29
<i>Capítulo 4</i>	41
<i>FLORÍSTICA, FITOSSOCIOLOGIA E INVENTÁRIO FLORESTAL VOLUMÉTRICO EM UM FRAGMENTO DE CERRADO DA BAHIA, BRASIL</i>	41
<i>Capítulo 5</i>	52
<i>FENOLOGIA DE UMBUZEIROS (<i>Spondia tuberosa</i>) PLANTADOS SOB ADUBAÇÃO COM BIOFERTILIZANTES DE LIBERAÇÃO LENTA</i>	52
<i>Capítulo 6</i>	56
<i>PROPOSTA DE MÉTODO ALTERNATIVO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DE MANGUEZAL E APICUM EM REGIÕES SEMIÁRIDAS</i>	56
<i>Capítulo 7</i>	67
<i>RELAÇÃO DO ÍNDICE S COM O DIÂMETRO DE POROS NA INFLEXÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE ÁGUA NO SOLO</i>	67
<i>Capítulo 8</i>	74
<i>USO DE PRODUTO A BASE DE ALGA NO TRATAMENTO DE SEMENTES NA SOJA</i>	74
<i>Capítulo 9</i>	80
<i>USO DO CACTUS <i>Opuntia cochenillifera</i> COMO COAGULANTE ORGÂNICO PARA A OBTENÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL DE UM CORPO LÊNTICO</i>	80
<i>Seção Engenharia Civil</i>	90
<i>Capítulo 10</i>	91
<i>ADAPTAÇÃO DE MÉTODO NUMÉRICO COM ORDEM DE CONVERGÊNCIA CÚBICA PARA A ANÁLISE NÃO LINEAR DE TRELIÇAS ESPACIAIS</i>	91
<i>Capítulo 11</i>	102
<i>INVESTIGAÇÃO DAS POTENCIALIDADES DE APLICAÇÃO INDUSTRIAL PARA O RESÍDUO DA PEDRA CARIRI: UMA REFLEXÃO SOBRE ESTA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL E SOCIAL</i>	102
<i>Seção Engenharia Elétrica</i>	111
<i>Capítulo 12</i>	112
<i>ESTUDO DE PROPRIEDADES DIELÉTRICAS NA REGIÃO DE MICRO-ONDAS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE ÓXIDO DE LANTÂNIO EM MATRIZ SBN</i>	112
<i>Capítulo 13</i>	121
<i>PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM AQUECEDOR SOLAR A BAIXO CUSTO INSTALADO NA CIDADE DE GARANHUNS - PE</i>	121
<i>Seção Agrimensura</i>	130
<i>Capítulo 14</i>	132
<i>ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DE ORTOMOSAIICO OBTIDO POR CÂMERA DIGITAL NÃO MÉTRICA ACOPLADA A VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO</i>	132

APRESENTAÇÃO

Este livro foi elaborado incluindo temáticas atuais e relevantes sobre a agricultura com o objetivo de aprimorar as pesquisas sobre o tema. O mesmo dá continuidade a vários volumes publicados no ano de 2018, cujos trabalhos realizados por nossa rede de pesquisadores são norteados pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) para a agricultura dando cumprimento a agenda 2030 definida pela ONU até 2030.

O ponto principal para a execução dessas metas é o avanço na ciência e tecnologia com foco na inovação, buscando uma agricultura sustentável com a preservação e conservação dos recursos naturais, recuperação ambiental, segurança alimentar, geração de emprego e renda, valorização da cultura e dos hábitos alimentares. A Ciência e a Inovação serão essenciais para resolver um dos maiores desafios de nossa época que são o crescimento populacional e a escassez de recursos associados à produção de alimentos.

Assim, a agricultura brasileira tem um papel fundamental nesse sentido, pois o Brasil em razão de sua extensão, diferentes climas, quantidade de reservas naturais e biodiversidade, torna a agricultura tropical um grande laboratório para pesquisa. Além do Brasil, possuir uma infraestrutura industrial e tecnológica ainda em desenvolvimento que permitirá o desenvolvimento de novas tecnologias orientadas pelas políticas de inovação e ambientais.

Acrescenta-se a isso a necessidade de qualificação dos recursos humanos, políticas ambientais eficientes, leis que estimulem a inovação do conhecimento científico e tecnológico, dando possibilidade a um desenvolvimento de uma gestão ambiental estratégica, focada nos desafios que contemplem todas as dimensões do desenvolvimento sustentável, quais sejam: social, econômica, ambiental, econômica, tecnológica, institucional, cultural, política entre outras.

No Nordeste a agricultura responde pela maior produção de banana com 34% do total, lidera a produção de mandioca com 34% do total, segunda produtora de arroz e na produção frutícola com cerca de 30% e apesar da pequena produção 82,6% da mão de obra do campo equivalem a agricultura familiar. Ainda possui tecnologias impulsionando as atividades agropecuárias, em base sustentável, introduzindo nas cadeias agroindustriais e de suprimento de alimentos da região, do País e do exterior.

O semiárido tropical brasileiro, maior do mundo, representa uma região de várias potencialidades, uma diversidade de ecossistemas, variados microclimas e vários tipos de Caatingas, configurando diversas possibilidades econômicas, mais de 90% de manga e uva são produzidas no semiárido, a maioria das bacias leiteiras, as lavouras de sequeiro, a pecuária (caprinos, ovinos e bovinos de leite) produção mineral, a produção de sisal, mamona, algodão, feijão de corda, mel e outros produtos, além da geração de energia renovável conferem várias alternativas para a produção e qualidade de vida do homem do campo.

Acrescenta-se no que se refere as pesquisas o melhoramento genético de forrageiras nativas e exóticas, manejo e agregação de valor de frutíferas nativas da caatinga, novas variedades de mandioca voltadas para alimentação humana e animal, agricultura de base ecológica, agricultura irrigada de precisão, entre outros.

Para tanto, o desafio de uma agricultura sustentável exige ousadia, criatividade e qualificação para delinear cenários e tomadas de decisão, valorizando o progresso científico e tecnológico, com uso das biotecnologias, o sensoriamento remoto entre outras tecnologias de ponta, assim todos os pesquisadores que se dedicaram a escrever os capítulos dessa obra dedicam a mesma aos pesquisadores que ajudarão a aperfeiçoar a agricultura do futuro.

Campina Grande, setembro de 2018

**Virgínia Mirtes Alcântara
Bióloga, Dr.a em Recursos Naturais - UFCG**



Capítulo 1***ARBORIZAÇÃO URBANA DA CIDADE DE BOM JESUS, PIAUÍ: ESTUDO DE CASO*****Dione Renan Itacarambi¹****Gerson dos Santos Lisboa²****Glaucio Marcelino Marques³****Thiago Floriani Stepka⁴****Luciano Cavalcante de Jesus França⁵****Francisco Rodolfo Júnior⁶****Vagner Alex Pesck⁷****Clebson Lima Cerqueira⁸**¹Eng. Florestal - UFPI, Bom Jesus, PI, renanitacarambi@hotmail.com²Dr. Eng. Florestal - UFSM - Docente Universidade Federal do Sul da Bahia/Manejo Florestal - Itabuna, Ba, gerson.lisboa@gmail.com³Dr. Eng. Florestal - UFV - Docente Universidade Federal de Itajubá/ Ambiental - Itabira, MG, glauciomarques@unifei.edu.br⁴Dr. Eng. Florestal - UFPR - Docente Universidade Estadual do Estado de Santa Catarina/Manejo Florestal - Lages, SC, tfstepka@yahoo.com.br⁵Me. Ciência Florestal - UFVJM - Doutorando Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFLA, Lavras, MG, lucianodejesus@florestal.eng.br⁶Dr. Agronomia - UnB - Docente Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, rodolfo@ufpi.edu.br⁷Dr. Eng. Florestal - UFPR - Docente Universidade Estadual do Centro Oeste/Sensoriamento Remoto -Irati, PR, vapesck@unicentro.br⁸Me. em Ciências Florestais e Ambientais - UFMT, Doutorando em Manejo Florestal no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, clebsonglima10@hotmail.com**Introdução**

À medida que as cidades crescem verticalmente ou expandem-se horizontalmente a arborização torna-se de suma importância no contexto urbano (MAZIOLI, 2012). De acordo com Molfi (2009), as dificuldades do planejamento urbano, unido aos aspectos morfológicos, políticos-administrativos e burocráticos, são os principais fatores que contribuem para a ocupação irregular do espaço, mediante a crescente expansão urbana.

Os números de pesquisas realizadas na área de arborização urbana no Brasil são crescentes, segundo Oliveira-Júnior et al. (2011), uma vez que, grande parte destes estudos são realizados nas regiões Sul e Sudeste, mais especificamente nos estados do Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro.

Romani et al. (2012) afirmam que, a principal preocupação em cidades que ocorre o planejamento de arborização é tornar o ambiente diversificado quanto as espécies empregadas, tornando-o mais envolvente com a paisagem circundante.

Embora a flora brasileira disponha de grande diversidade de espécies arbóreas, grande parte não é indicada para arborização urbana, já que muitas apresentam porte elevado, toxicidade, frutos grandes, raízes volumosas ou fragilidade ao vento, o que pode causar acidentes, gerando danos a veículos e imóveis, ou até mesmo colocar em risco a população (LORENZI, 2002).

A arborização de uma cidade deve ter um planejamento rigoroso, tendo em vista os aspectos do ambiente urbano para que se possam evitar atritos entre a vegetação e as estruturas civis, assim é necessária muita cautela na seleção e diversificação das espécies arbóreas a serem utilizadas em cada local, trazendo assim, apenas benefícios à população urbana (VERVLOT-FILHO et al., 2011).

Dentre os inúmeros benefícios sociais, ecológicos e paisagísticos proporcionados pelas árvores no ambiente urbano, vale mencionar a melhoria do microclima, melhorando o conforto térmico para população, redução da poluição sonora, remoção de gases e partículas poluentes, aumento da umidade relativa do ar, além de atrair a avifauna e criar um visual agradável, reestabelecendo ao homem o contato com a natureza, o que gera o bem-estar pessoal, físico e psicológico (RIBAS et al., 2010).

De acordo com Barros e Virgílio (2003), as praças públicas realizam a função de melhoria da qualidade de vida ambiental e social, uma vez que, estas são encontradas na maioria dos municípios brasileiros. No entanto, Oliveira e Alves (2014) relatam que estes locais não foram criados com este objetivo, mas sim de agregar valor estético ao ambiente.

Para Pivetta e Silva Filho (2002), a vegetação arbórea urbana pode ser dividida em parques representados por áreas extensas bastante arborizadas, jardins ou praças que são espaços destinados ao convívio da população. Nestes ambientes, podem ser utilizados vegetais de todos os portes, áreas privadas que são os quintais e jardins particulares, áreas nativas residuais, sendo os espaços da natureza que se protegem da ocupação, e são de suma importância para o complexo urbano, e por fim, a arborização viária que apesar da imensurável importância ainda não é reconhecido do ponto de vista técnico e administrativo de muitos municípios.

A realização de um inventário quali-quantitativo, consiste na observação em campo de vários parâmetros referentes às árvores e ao meio físico, tais como o porte das árvores; fitossanidade; necessidade de manejo; conflitos com as redes aéreas, construções e outras estruturas urbanas; espaço físico disponível para plantio (MAZIOLI, 2012). Assim, é a forma mais adequada de se conhecer o patrimônio arbóreo e os conflitos existentes, em que possibilita a obtenção de diagnóstico de arborização, que é a base para qualquer projeto que vise alterar o espaço físico local. Os dados do diagnóstico são analisados, contemplando a diversidade das espécies na arborização, bem como os problemas e as possíveis soluções (VERVLOT-FILHO et al., 2011).

Assim sendo, o presente trabalho tem como premissa realizar um inventário quali-quantitativo da arborização urbana da cidade de Bom Jesus, PI, verificando os conflitos existente e elaboração de uma proposta corretiva.

Material e Métodos

Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho é a cidade de Bom Jesus, localizada ao Sul do estado do Piauí a cerca de 640 km da capital Teresina (Figura 1), tem suas coordenadas geográficas centradas na latitude 09°04'28" Sul e longitude 04°21'31" Oeste, com uma altitude média de 277 metros em relação ao nível do mar, com aproximadamente 22.629 habitantes segundo censo do IBGE cidades (2010) em uma área de 5.469,181 km² de acordo (COMDEPI, 2002). Os biomas predominantes são Cerrado e Caatinga.

Dadas às informações climatológicas e dinâmicas do Nordeste do Brasil (NEB), o município de Bom Jesus tem seu clima controlado pela variabilidade espacial e temporal da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e pelos vestígios das frentes frias (VFF), contribuição dos vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN), deste que seu centro esteja no oceano, às formações e intensificações das linhas de instabilidade (LI) e dos aglomerados convectivos (AC), auxiliado pelos ventos alísios do Sudeste (MEDEIROS et al., 2016).

De acordo com a classificação de Köppen o clima da área é do tipo Aw', tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno. A precipitação anual é de 900mm à 1200mm, com distribuição irregular entre meses e anos. O período entre outubro e abril apresenta padrões contrastantes e concentram 96,03% da precipitação anual, O período entre maio e setembro é evidenciado pela baixa taxa de precipitação, baixa nebulosidade, alta taxa de evaporação e evapotranspiração, e com variações de baixas umidades relativas diárias (tendo sido registrados valores inferiores a 15%). A umidade relativa do ar anual é de 58,5%, as temperaturas: máxima média anual é de 33,5°C, a mínima média anual é de 20,4°C e a média anual é de 27,1°C em conformidade com (MELO et al., 2015).

A cidade de Bom Jesus tem passado por um período de rápido crescimento populacional e econômico em virtude da expansão agrícola, o que atraiu pessoas de diversos lugares, principalmente do sul do país, dessa forma, o agronegócio tornou-se a partir da década de 1990, o grande estopim do crescimento econômico do município, sendo referência regional na produção de grãos. No entanto, não é só o agronegócio que tem se destacado em Bom Jesus, a cidade também se tornou referência em educação e tem atraído estudantes de outros e regiões do país (SILVA, 2012).

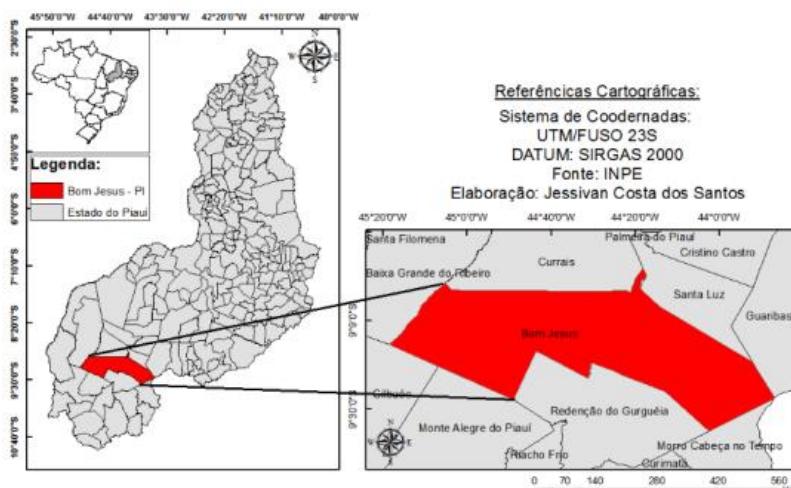


Figura 1. Estado do Piauí com destaque para o município de Bom Jesus.
Fonte: Santos et al. (2017).

Para obtenção dos resultados, lançou-se mão de estratégias, tais como: estimar a frequência de árvores, por espécies; estimar diâmetro médio das árvores; estimar altura média das árvores; avaliar qualitativamente o estado da copa, fuste e raiz; avaliar conflitos (rede elétrica, construções e calçadas) da copa, fuste e raiz; fornecer subsídios para o planejamento e manutenção das árvores; determinar as principais espécies encontradas na arborização urbana; estabelecimento de um banco de dados que possa contribuir para a manutenção, planejamento e manejo da arborização no município de Bom Jesus, PI.

Coleta de dados

O levantamento dos dados foi realizado em dez praças públicas de Bom Jesus e em cinco vias principais. As praças foram denominadas de A, B, C, D, E, F, G, H, I e J, enquanto as avenidas e ruas de K, L, M, N e O.

Para a mensuração das variáveis quantitativas como diâmetros das copas, circunferência a altura do peito, altura da primeira bifurcação e tamanho do passeio, utilizou-se fita métrica de trinta metros e para mensuração da altura, e utilizou-se ainda o hipsômetro Blume-Leiss. Os parâmetros avaliados são descritos a seguir segundo (SILVA, 2000):

Altura total da árvore: Variável obtida por meio do hipsômetro Blume-Leiss, a qual foi considerada da base até o ápice da árvore. Para análise desta variável, adotou os parâmetros da COELBA (2002) e Lorenzi (2008), que classifica as árvores em três categorias: pequeno porte (até 5m de altura), médio porte (5 a 10m de altura) e grande porte (>10m de altura).

Altura da primeira bifurcação: Foi determinado em classe de altura, sendo considerada da base até a altura da primeira bifurcação. As classes foram determinadas da seguinte maneira: < 1m, > 1m, < 1,5m, > 1,5m, < 2m e > 2m.

Diâmetro a altura do peito (DAP): a mensuração foi realizada com trena, obtendo valores reais de circunferência a altura do peito (CAP), os quais foram convertidos posteriormente para valores de diâmetro.

Projeção da copa e medição do diâmetro (D1 e D2) no sentido Norte/Sul (D1) e Leste/Oeste (D2), e após realizada a média.

Espécie: As espécies foram identificadas *in loco*, sendo primeiramente obtido o nome popular e posteriormente verificado na literatura o nome científico.

Fitossanidade: A classificação foi feita em três categorias: sem infestação, quando a árvore se apresenta de maneira intacta em relação a pragas e doenças; infestação crônica, quando a árvore apresenta uma situação moderada de vigor, com mínimos problemas com pragas ou doenças, e por fim infestação avançada, quando o indivíduo se apresenta bastante debilitada, decorrente da ação de pragas ou doenças.

Situação do sistema radicular: Primeira classificação não apresenta problemas, é quando as raízes não interferem em nada de maneira negativa no meio externo; segunda, quanto o sistema radicular aparece, no entanto, não apresenta rachaduras ou desníveis elevados na calçada; terceira, quebra,

quando provoca apenas umas rachaduras e a quarta, destrói, quando os danos são relevantes destruindo estruturas de concreto.

Conflito com a rede elétrica: Foi dividido em quatro classes, não apresenta, quando a fiação é ausente ou não se aproxima da árvore; abaixo, quando a fiação passa por baixo da copa; meio, quando a fiação está presente no interior da copa e acima, quando a fiação passa acima da copa.

Forma da copa: Foram determinadas cinco classes de copa, perfeita, quando a copa apresenta o estado de excelência quanto à sombra e cuidados de manutenção; boa, quando apresenta boa situação, mas não com tanta perfeição; tolerável, apresenta alguns problemas, mas ainda pode ser suportado; pobre, apresenta a situação decadente, quando a copa realiza pouco sua função é intolerável, quando a copa já perdeu totalmente sua função dentro da arborização.

Situação do fuste: Determinado três classes, reto, quando o tronco é praticamente perpendicular ao solo; levemente tortuoso, quando o tronco apresenta leve inclinação e tortuoso, quando apresenta uma inclinação acentuada.

Idade: As árvores foram observadas e classificadas em quatro classes, muda, quando o indivíduo foi plantado recentemente; jovem, indivíduos que ainda não estabilizaram seu crescimento primário; adulta, árvores que estabilizaram seu crescimento primário e; velha, quando os indivíduos apresentaram valores altos de diâmetro.

Resultados e Discussão

Diversidade e estrutura fitossociológica

Dos 603 indivíduos avaliados, 354 estavam distribuídos nas 10 praças amostradas, o que corresponde a 58,7% do total, enquanto 249 (41,3%) estavam presentes em quatro avenidas e em uma rua da cidade. As 22 espécies identificadas pertenciam a 16 famílias distintas, com destaque para família Fabaceae, a qual possui maior diversidade de espécies, todavia, considerando o número de indivíduos as famílias que apresentaram maior número foram a Meliaceae (n= 94), Chrysobalanaceae (n= 88) e Caesalpiniaceae (n= 82).

As espécies que tiveram maior ocorrência foram o nim (*Azadirachta indica* A. Juss) com 15,6%, oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch) com 14,6%, pau d'óleo (*Copaifera langsdorffii* Desf) com 13,6%, o grupo das palmeiras com 8,5%, mangueira (*Mangifera indica* L.) com 7,1% e falso cacau (*Pachira aquática* Aubl.) apresenta 5,5%, que juntos somam quase 65% da amostra total. Observa-se que, os indivíduos de pau d'óleo tiveram pouca ocorrência nas praças, sendo que 95% dos indivíduos das espécies estavam localizados nas avenidas, isto deve-se ao fato da forte implantação da espécie nos canteiros centrais da cidade realizada pela prefeitura municipal (Figura 2).

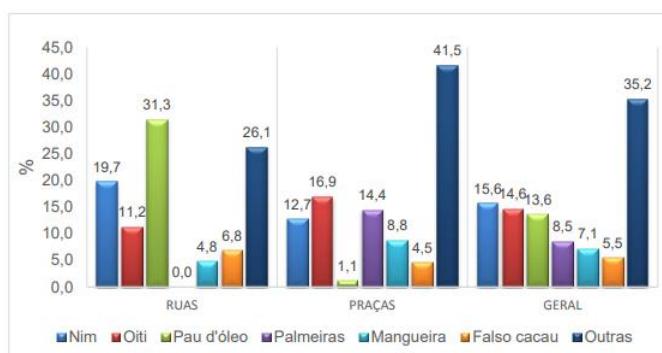


Figura 2. Frequência relativa nas avenidas, praças e nos dois ambientes.

Observa-se que, as praças D e B apresentaram baixa diversidade de espécies e acentuada concentração de uma única espécie. Na primeira, verificou-se a presença de apenas 5 espécies das quais a *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch foi a mais frequente com 66,6% dos indivíduos, conforme a Tabela 1. Na praça B, pode-se verificar a predominância da espécie exótica *Azadirachta indica* A. Juss, representado por 47,7% dos indivíduos. Para Silva (2012) e Redin et al. (2010), a utilização da mesma espécie em grande quantidade em um local não é recomendada, tendo em vista a questão fitossanitária e estética, pois uma paisagem homogênea torna-se pouca atrativa e desarmoniosa. A dominância de espécies exóticas na arborização de praças é um problema enfrentado em várias cidades do Brasil (TEIXEIRA et al., 2016; KRAMER & KRUEPEK, 2012; SOUZA et al., 2011).

Tabela 1. Frequência Relativa de indivíduos na Praça D

Espécie	Nome popular	Nº Indivíduos	Frequência (%)
<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	oití	40	66,7
<i>Mangifera indica L.</i>	mangueira	14	23,3
<i>Azadirachta indica A. Juss</i>	nim	3	3,3
<i>Roystonea oleracea</i>	palmeira	2	5,0
<i>Tabebuia</i> sp	ipê	1	1,7

A ocorrência natural dos indivíduos, destas, 63% das espécies eram exóticas. Segundo Lima e Ferreira (2015), no Brasil é muito comum à utilização de espécies exóticas na arborização urbana, sobressaindo muitas vezes sobre as espécies nativas como demonstrado em Guarapuava, PR com 59,8% de espécies exóticas, Maringá, PR com 75,9% e Uberlândia, MG com 63,73% (KRAMER & KRUPEK, 2012; BLUM et al., 2008; REZENDE & SANTOS, 2010).

Para Zea et al. (2015), o desequilíbrio de espécies exóticas, versus espécies nativas, é desfavorável para os propósitos de conservação e fornecimento de habitats para a fauna silvestre. Lima e Ferreira (2015) afirmam que, a considerável utilização de espécies exóticas na arborização das cidades brasileiras ocorre de forma comum, devido a fácil adaptação das espécies, e por apresentarem características ornamentais desejáveis, e principalmente pela falta de conhecimento ecológico proporcionado por plano de arborização adequado.

Silva e Perelló (2010), apontam a falta de conhecimento sobre a flora brasileira e seu potencial paisagístico, e de espécies ameaçadas de extinção como fator justificativo para a utilização de espécies exóticas. Em contrapartida Cupertino e Eisnlhor (2013), defende que tais indivíduos são introduzidos de maneira intencional, em virtude da rápida adaptação e requisitos econômicos e estéticos.

As espécies que não são nativas, além de não se comportarem do mesmo modo que no ambiente de origem, podem causar diversos danos ao meio, como a perda da biodiversidade, modificações dos ciclos e características naturais dos ecossistemas atingidos e a alteração fisionômica da paisagem natural, além de consequências econômicas vultosas (ZILLER, 2001).

Segundo Álvarez et al. (2012), os processos de degradação das florestas situadas nos arredores das cidades têm sido intensificados pela utilização de espécies exóticas na arborização urbana.

Silva (2012) e Redin et al. (2010), ressaltam que não se deve utilizar a mesma espécie em grande quantidade no mesmo local, tanto pela questão fitossanitária, quanto estética, pois tornam o local pouco atrativo e/ ou desarmonioso para a contemplação.

Fitossanidade das árvores

Dos indivíduos amostrados, observa-se que 84,2% não apresentam nenhum tipo de infestação, sendo considerados sadios. Do total, apenas 11,9% demonstram infestação crônica e apenas 3,8%, que corresponde a 23 árvores, estavam no estado mais avançado de infestação. Nas ruas, observa-se 4 indivíduos com infestação avançada, 23 infestações crônicas e 222 sem infestação, enquanto nas praças foram 19, 49 e 286 respectivamente.

Nas praças C, H e I todos os indivíduos arbóreos estão em condições saudáveis de fitossanidade, porém, a praça D apresentou maiores problemas com infestação conforme a Tabela 2. As infestações nesta praça foram decorrentes da ação de cupins nas raízes das árvores como alvo principal (Figura 3).

Tabela 2. Fitossanidade na praça D

Grau de infestação	Frequência absoluta	Frequência Relativa (%)
Sem	36	60
Crônica	11	18,3
Avançada	13	21,7



Figura 3. Infestação de cupins em indivíduo na praça D.

É de suma importância intervir como medidas de controle da praga, e se for o caso, remover o indivíduo visando a segurança da população que circula na praça, a qual é bastante utilizada aos finais de tarde por moradores que usufruem do espaço para realizarem atividades físicas. Para Gomes et al. (2016), é necessário fazer o controle de cupins, formigas e outros microrganismos associados às plantas em praças públicas, a fim de evitar acidentes, devido a queda de galhos ou até mesmo da própria árvore.

Conflitos nos Passeios

As calçadas e canteiros centrais apresentam inúmeros problemas, o que são características de cidades não planejadas. O município não possui padronização a respeito da estrutura e dimensionamento dos passeios, resultando em infraestrutura heterogêneas e mal elaboradas, dificultando ou mesmo inviabilizando o deslocamento de pessoas. Vale ressaltar que pessoas portadoras de necessidade especiais como cadeirantes, necessitam de calçadas niveladas para sua locomoção, no entanto, ficando obrigados a transitarem nas ruas e avenidas, colocando em risco sua integridade física devido à movimentação dos veículos (ITACARAMBI, 2017).

Em relação aos canteiros centrais situados nas principais avenidas, possuem largura em torno de 2m, com espaço destinado as árvores variando de 0,8 a 1 metro, sendo totalmente inviável geograficamente a circulação de pedestre pelos mesmos. Observa-se ainda, a forte predominância de mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. Na iniciativa de arborização urbana, a prefeitura municipal, irriga diariamente, no início da manhã (exceto aos domingos), todavia, segundo relatos dos moradores muitas das mudas são danificadas por atos de vandalismo. Biondi e Leal (2010), em pesquisa sobre avaliação do desenvolvimento de mudas de *Allophylus edulis* (A. St. Hil., Cambess. & A. Juss.) em Curitiba, evidenciaram a perda de 20% das plantas devido ao vandalismo.

Segundo Silva (2016), a calçada adequada é aquela que possibilita ao pedestre caminhar livre, de forma seguro e confortável, o autor ainda afirma que a manutenção dos passeios é de responsabilidade dos cidadãos estando sujeitos a multas caso não cumpram com este dever.

Segundo Lucena et al. (2015), existem diferenças visíveis entre os grandes centros e bairros de acordo com fatores sociais, econômicos e culturais. Na implantação de árvores em canteiros, deve-se levar em conta fatores como redes de água, esgoto, energia e as características peculiares à espécie. As Figuras 4a e 4b apresentam respectivamente, um passeio com condições adequadas, e outro com fios de arame impedindo a passagem de pedestres.



Figura 4. (a) Passeio com largura e condição ideal; (b) Fios de arame impedindo a passagem de pedestres no passeio.

Rede elétrica

Verifica-se que 15,1% (n=91) de todos os indivíduos amostrados, apresentam ou podem futuramente causar algum tipo de conflito com fiação da rede elétrica. As classes de conflitos foram determinadas de acordo a posição dos fios em relação a copa das árvores. Assim observou maior conflito nas praças, que nas vias urbanas, conforme apresentado na Figura 5.

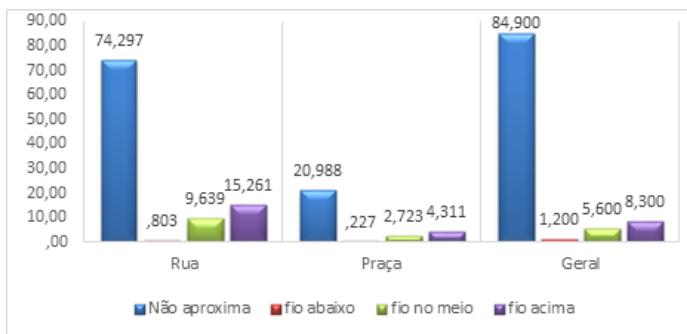


Figura 5. Porcentagem de conflito das árvores com a fiação elétrica.

Segundo Oliveira et al. (2016), é de grande valia o manejo arbóreo em relação aos fios que conduzem eletricidade, visto que são imensuráveis os benefícios tanto a população quanto ao meio ambiente. Dessa forma é de suma importância o porte do vegetal a ser utilizado, encapar os fios de alta tensão, e a forma pela qual é conduzida a poda. Segundo a CEMIG (2011), as podas devem ser feitas com certa frequência para evitar que os galhos se desenvolvam acima da fiação. As redes protegidas garantem maior preservação da arborização, pois requer menos interferências com podas (BRITO & CASTRO, 2007).



Figura 6. (a) Indivíduo de *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch interferindo na fiação elétrica; (b) Poda em "V" para reduzir o conflito com rede elétrica.

Situação das raízes

Observa-se que 81,3% (n= 490) não apresentam nenhum tipo de problemas com as estruturas civis, 13,9% (n= 84) causam interferência mínimas apenas apontando sobre as calçadas, 3,5% (n= 21) estavam quebrando, e 1,3% (n= 8) estão destruindo as estruturas, estes dois últimos causam maior prejuízo econômico, visual e funcional. Na Tabela 3 é apresentado o percentual de interferência das raízes no passeio.

Tabela 3. Porcentagem em relação ao grau de interferência das raízes no passeio

	Ruas		Praças		Geral	
	N	F (%)	N	F (%)	N	F (%)
Sem interferência	181	72,7	309	87,3	490	81,3
Apontando	48	19,3	36	10,2	84	13,9
Quebrando	13	5,2	8	2,3	21	3,5
Destruindo	7	2,8	1	0,3	8	1,3

Os dados demonstram maiores interferências das raízes nas praças públicas que nas avenidas amostradas, requerendo atenção maior à praça J (Figura 7), onde dos quatro indivíduos presente na mesma, três estavam destruindo a estrutura da praça. As espécies utilizadas não são recomendadas para tal ambiente, sendo recomendado a substituição imediata dos indivíduos por espécies como *Clitoria fairchildiana*, *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch, dentre outras nativas que apresentam boa adaptabilidade e projetam boa sombra. A substituição neste caso é indicada, uma vez que, a praça possui dimensões reduzidas e poucos indivíduos, o que não tornará oneroso a correção arbórea.

Verifica-se na praça J que as espécies presentes são *Azadirachta indica* A. Juss (n=1), *Adenanthera pavonina* L. (n=1), e uma espécie conhecida popularmente como pede cola, com dois indivíduos no local.

Recomenda-se para arborização urbana a utilização de espécies com raízes profundas, deixando espaço livre para infiltração de água e nutrientes, de no mínimo um metro. Árvores que possuem raízes superficiais e se desenvolvem acima do solo, quebrando a estrutura das calçadas, tornam-se um empecilho para as pessoas, principalmente aos deficientes físicos (LIMA NETO et al., 2010).



Figura 7. Sistema radicular danificando o calçamento da praça.

Qualidade do fuste

Dos 249 indivíduos distribuídos nas avenidas verifica-se 9,6% (n= 24) com tronco torto, 44,2% (n= 110) levemente tortuoso e 46,2% (n= 115) com tronco retilíneo. Nas praças observa-se que 13,8% (n= 49) tortos, 33,6% (n= 119) levemente tortuosos, e 52,5% (n=186) retilíneos. Na Figura 8 observa-se a comparação da qualidade dos fustes nas ruas e praças.



Figura 8. Tortuosidade dos fustes nas ruas, praças e geral.

Os indivíduos que apresentam com fuste reto, são os ideais para arborização de ruas e praças, visto que, não atrapalham a passagem de pedestres e não estão vulneráveis a acidentes quanto os troncos inclinados. O número significativo de árvores com tortuosidade do tronco, acredita-se que, seja em virtude da utilização de mudas de baixa qualidade, ausência de tutores e/ou por serem indivíduos remanescentes da vegetação nativa antes existente.



Figura 9. Indivíduo com tronco inclinado na Praça A.

Bifurcação dos troncos

A classe que obteve maior número de indivíduos, tanto nas ruas, quanto nas praças, foi altura da primeira bifurcação maior que dois metros, todavia, o percentual foi pouco significativo em relação às demais categorias, conforme observa-se na Figura 10.

Segundo Oliveira et al. (2016), a altura da primeira bifurcação deve ser no mínimo 1,80m, altura que viabiliza o livre acesso a pedestres e cadeirantes, dessa forma mais de 50% dos indivíduos apresentam a altura da primeira bifurcação insatisfatória para arborização. De acordo com o trabalho realizado por Almeida (2009), um dos fatores que aumenta a concentração de indivíduos com bifurcação em alturas insatisfatórias, são as baixas qualidades das mudas e o manejo inadequado após o plantio.



Figura 10. (a) Porcentagem de árvores bifurcadas por classe de altura; (b) altura da primeira bifurcação abaixo da altura recomendada.

Forma das copas

Na Figura 11 observa-se a classificação da forma das copas encontradas neste trabalho. Nas avenidas pode-se verificar que, mais da metade dos indivíduos analisados apresentaram condições de alerta quanto à situação das copas, em virtude de podas malconduzidas e pelo grande número de indivíduos com bifurcação abaixo do recomendado, exigindo assim, poda de levantamento. Essas características podem ser melhoradas com o manejo adequado das mudas ainda no viveiro.

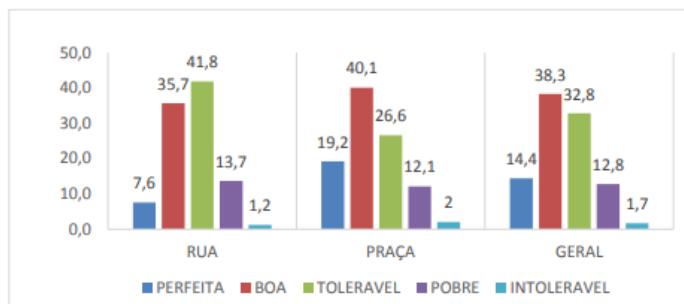


Figura 11. Percentual em relação a forma das copas.

Segundo Bobrowski e Biondi (2012), a situação das copas é importante, pois é a principal fonte de benefícios ambientais e estéticos para os centros urbanos, no entanto, estes benefícios podem ser perdidos mediante manejo inadequado das árvores.

Se tratando de copa, é de suma importância a realização correta, com a técnica apropriada e no tempo apropriado, com o objetivo de melhorá-la em algum aspecto de interesse da sociedade. Segundo a CEMIG (2011), nos indivíduos jovens, deve ser realizada a poda de formação, a qual tem como objetivo orientar o crescimento da copa das árvores, retirando galhos baixos que podem interferir na passagem de pessoas (galhos podem causar conflitos com redes de energia), para os indivíduos adultos é grande valia a poda de manutenção a qual visa evitar quebra de galhos secos ou para adaptar a parte superior do indivíduo ao ambiente que o entorna.

Zamproni (2016), verificou na cidade de Bonito, MS, a predominância de árvores com copas reduzidas por poda drástica e de rebaixamento de copa, acarretando a redução do sombreamento e da evapotranspiração, que são pontos cruciais, já que a cidade apresenta temperatura elevada.

Análise da área das copas

Observa-se 354 indivíduos distribuídos em 10 praças na cidade (Tabela 4), em média de 35 árvores por praça. Carcereri et al. (2016), em um estudo sobre arborização de trinta e três praças em Curitiba encontraram 1093 indivíduos, tendo em média 33 exemplares por praças, média inferior ao presente estudo, todavia, Silva e Gomes (2013), na cidade de Arapiraca, AL, obtiveram a média de 53 indivíduos, já que constaram 424 indivíduos em oito espaços públicos.

Tabela 4. Área de projeção das copas das árvores existentes nas praças de Bom Jesus, PI

Praça	N	APC (m ²)	ATP (m ²)	P (%)
A	93	2128,54	9917,25	21,46
B	78	2387,6	12102,15	19,73
D	60	1465,27	8720,41	16,80
E	44	1927,22	4761,62	40,47
F	26	474,17	1045,34	45,36
G	25	484,69	936,73	51,74
H	9	325,3	928,73	35,03
I	9	228,41	338,72	67,43
C	6	196,7	386,26	50,92
K	4	231,82	456,04	50,83
Média	35	984,97	3959,33	39,98
Total	354	9849,72	39593,25	399,79

Em que: NI= Número de indivíduos; APC = Área projeção total de copas em m²; ATP = Área total da praça em m²; P = Proporção em relação a área da projeção de copa e área total da praça.

Constata-se 9849,72m² de projeção de copa nas 10 praças. A praça que apresenta maior projeção de copa foi a praça B com 2387,6m², todavia correspondente apenas a 19,73% da área da praça, em contrapartida a praça C apresentou apenas 196,7m² de projeção, a proporção de cobertura foi de 50,92% da área da mesma. A praça A destacou-se pelo maior número de exemplares (n= 93).

A média de projeção de copa para as dez praças em questão foi de 984,97m², resultado inferior ao encontrado por Harder et al. (2006) que verificaram que a área total de copas encontradas nas 22 praças

do município de Vinhedo-SP de 25.428,45m², obtendo a média de 1155,83m², e Carcereri et al. (2016) constatou 1392,62m² em média na cidade de Curitiba, PR.

As praças F, E e G apresentam valores de proporção de cobertura de copa de 45,36, 40,47 e 35,03% respectivamente, atendendo o recomendado para praças que predominam comércio. Da mesma forma as praças I, G, C e K obtiveram índices de 67,43, 51,74, 50,92 e 50,83%, respectivamente, que também se enquadram no recomendado para praças em locais com predomínio de residências que é de no mínimo 50%. Já as praças A, B e D apresentaram índices de proporção baixos, com destaque para a última que apresentou apenas 16,8%, estando inserido em ambiente residencial.

Idades das árvores

Verifica-se que a maior parte dos indivíduos eram jovens e adultos, tanto nas praças quanto nas avenidas, além disso, nos canteiros centrais observou-se significativa concentração de mudas. As árvores senis foram apenas 8, sendo 6 encontradas nas ruas e 2 nas praças.

Para os indivíduos considerados mudas deve-se dar atenção bem detalhada para que possam desenvolver-se de maneira que minimizem as intervenções futuras para reestruturação da arborização, sugerindo o uso de estruturas para garantir a proteção contra animais e vandalismo, uso de tutores etc. Já para indivíduos senis, recomenda-se a retirada dos mesmos, fazendo o plantio de novas mudas, buscando evitar acidentes, como a queda da árvore (ITACARAMBI, 2017).

Segundo Bobrowski e Biondi (2012), as classes diamétricas na arborização, podem indicar se há ou não, um plantio contínuo de árvores nas ruas das cidades. Dessa forma, as classes menores de diâmetros demonstraram maior frequência de indivíduos, principalmente nas avenidas, isto justifica-se pela implantação de novos indivíduos na arborização da cidade. A classe de 0 -|18 cm foi a que apresentou o maior número de indivíduos, tanto nas praças, quanto nas ruas, enquanto nas praças, a classe 123 -|138 foi a que obteve menos frequência, com apenas um indivíduo, já nas avenidas, não constatou indivíduos com DAP superior a 108 cm, conforme observa-se na Figura 13.

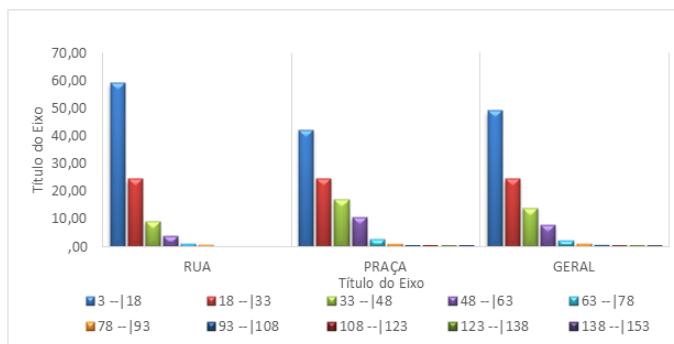


Figura 13. Classes de DAP na arborização.

Freitas et al. (2015), estudando arborização de praças no Bairro Tijuca no Rio de Janeiro, observou que apenas 26,8% das árvores apresentaram diâmetros até 15 cm, o que demonstra poucos indivíduos jovens, indicando assim, que não vêm sendo praticadas ações de manejo visando a substituição dos indivíduos mais velhos.

Altura das árvores

Verifica-se nas avenidas que 71,1% dos indivíduos se enquadram na categoria pequeno porte (<5m), enquanto médio porte representa 25,3%, e grande porte apenas 3,6%, confirmado assim a predominância de indivíduos jovens e deixando evidente a implantação de novas árvores ou substituição indivíduos mais antigos. Nas praças, a frequência de pequeno e médio porte representam 43,2 e 42,7%, enquanto a grande porte é representada por 14,1% dos indivíduos.

Os resultados são condizentes com os encontrados por Lucena et al. (2015), na arborização de canteiros centrais na cidade de Patos, PB, onde foi notado predominância de indivíduos de pequeno porte, segundo a classificação da COELBA (2002).

Conclusão

Constata-se a ausência de um plano de manejo, como a predominância da espécie exótica *Azadirachta indica* A. Juss (15,6%), em ambientes homogêneos como as praças B e C, indivíduos

interferindo nas estruturas das calçadas, altos índices de ocorrência de cupins na praça C, predominância de indivíduos jovens, devido à substituição dos indivíduos mais velhos.

Alguns locais requerem medidas corretivas ao ataque de cupins, reestruturação física e substituição dos indivíduos por espécies nativas da região com potencial para arborização e paisagismo.

As calçadas, quando presente, apresentam tamanho reduzido, tornando difícil ou impossível o trânsito de pessoas.

A arborização urbana necessita de inúmeros reparos, como a elaboração de um planejamento adequado, visando à adequação e manutenção da vegetação urbana.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, D. N. Análise da arborização urbana de cinco cidades da região norte do estado do Mato Grosso. Cuibá, MT. p.44-50. 2009.
- ÁLVAREZ, I. A.; OLIVEIRA, U. R.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; CANNETI, A. Arborização urbana no Semiárido: espécies potenciais da Caatinga. Colombo, PR. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Florestas, 2012. 30p.
- BARROS, M. V. F.; VIRGILIO, H. Praças: espaços verdes na cidade de Londrina. Geografia, v.12, n.1, p.533-544, 2003.
- BIONDI, D.; LEAL, L. Monitoramento de mudas de *Allophylus edulis* (A. St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk. Plantadas experimentalmente na arborização de rua da cidade de Curitiba-PR. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.5, n.2, p.158-173, 2010.
- BLUM, C. T.; BORGO, M.; SAMPAIO, A. C. F. Espécies exóticas invasoras na arborização de vias públicas de Maringá-PR. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.3, n.2, p.78-97, 2008.
- BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. Distribuição e dinâmica da área de copa na arborização de ruas de Curitiba, Paraná, Brasil, no período de 1984-2010. Revista Árvore, v.36, n.4, p.625-635, 2012.
- BRITO, M. L. S.; CASTRO, P. M. Viabilidade econômica de redes de distribuição protegidas. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.2, n.1, p.130-137, 2007.
- CARCERERI, V. H.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Análise da cobertura arbórea das praças de Curitiba-PR. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.11, n.2, p.12-26, 2016.
- COELBA. Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia. Guia de Arborização Urbana. Salvador: Venturie Gráfica e Editora, 2002. 55p.
- CEMIG. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Manual de arborização. Belo Horizonte: CEMIG/Fundação Biodiversitas, 2011. 112p.
- CUPERTINO, M. A.; EISENLOHR, P. V. Análise florística comparativa da arborização urbana nos campi universitários do Brasil. Bioscience Journal, v.29, n.3, p.739-750, 2013.
- FREITAS, W. K.; PINHEIRO, M. A. S.; ABRAHÃO, L. L. F. Análise da Arborização de Quatro Praças no Bairro da Tijuca, RJ, Brasil. Floresta e Ambiente, p.23-31. 2015.
- GOMES, E. M. C.; RODRIGUES, D. M. S.; SANTOS, J. T.; BARBOSA, E. J. Análise quali-quantitativa da arborização de uma praça urbana do Norte do Brasil. Nativa, v.4, n.3, p.179-186, 2016.
- HARDER, I. C. F.; RIBEIRO, R. DE C. S.; TAVARES, A. R. Índices de área verde e cobertura vegetal para as praças do município de Vinhedo, SP. Revista Árvore, v.30, n.2, p.277-282, 2006.
- ITACARAMBI, D. R. Diagnóstico da arborização urbana da cidade de Bom Jesus, Piauí. 49f. Trabalho de conclusão de Curso (Eng. Florestal). Universidade Federal do Piauí, 2017.
- KRAMER, J. A.; KRUEPEK, R. A. Caracterização florística e ecológica da arborização de praças públicas do município de Guarapuava, PR. Revista Árvore, v.36, n.4, p.647-658, 2012.
- LIMA, L. F. B.; FERREIRA, A. P. N. L. Praças públicas de Nova Luzitânia-SP e seus elementos topofílicos e topofóbicos. Organizações e Sustentabilidade, v.3, n.2, p.147-165, 2015.
- LIMA NETO, E. M. de; BARDELLI-DA-SILVA, M. Y.; SILVA, A. R.; BIONDI, D. Arborização de ruas e acessibilidade no bairro centro de Curitiba-PR. Revista Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 5, n.4, p.40-56, 2010.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 2. ed. v.2. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 368p.
- LORENZI, H. Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5. ed., v.1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 368p.
- LUCENA, J. N.; SOUTO, P. C.; CAMARÃO, J. D. Z.; SOUTO, J. S.; SOUTO, L. S. Arborização em canteiros centrais na cidade de Patos, Paraíba. Revista Verde, v. 10, n.4, p.20-26, 2015.
- MAZIOLI, B. C. Inventário e diagnóstico da arborização urbana de dois bairros da cidade de Cachoeiro

- do Itapemirim, ES. 14f.Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Espírito Santo. Cachoeiro do Itapemirim, 2012.
- MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. M. A.; MELO, V. S.; MENEZES, H. E. A.; MENEZES, H. E. A. Diagnóstico e tendência da precipitação pluvial em Bom Jesus-Piauí, Brasil. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.11, n.3, p.115-121, 2016.
- MELO, V. S.; MEDEIROS, R. M.; SOUZA, F. A. S. Impactos do clima urbano em Bom Jesus. In: Work Shop de Recursos Naturais do Semiárido, 2015, Campina Grande. Anais... Campina Grande, 2015.
- MOLFI, P. R. A urbanização e os impactos ambientais em Palmas: o caso do Jardim Aureny III. 130f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília, 2009.
- OLIVEIRA, A. F.; PEREIRA, J. A. A.; COELHO, S. J.; PEREIRA, G. A.; ASSUNÇÃO, L. N. Diagnóstico parcial da arborização viária sob rede elétrica na Regional Oeste de Minas Gerais. Pesq. Flor. Bras., v.36, n.85, p.31-40, 2016.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, M. M. O.; SILVA, M. I. O.; MELO, L. L. S.; VASCON ELOS, L. G. L.; SOUSA, W. Análise quali-quantitativa de espécies arbóreas encontradas no Parque Santana, Recife-PE. In: Congresso Brasileiro, 15 e Congresso Ibero-americano de Arborização Urbana, 1, 2011, Recife. Anais... Recife-PE, 2011.
- OLIVEIRA, M. M.; ALVES, W. S. A influência da vegetação no clima urbano de cidades pequenas: um estudo sobre as praças públicas de Iporá-GO. Revista Territorial, v.2, n.2, p.61-77, 2014.
- PIVETTA, K. F. L.; SILVA FILHO, D. F. Arborização Urbana. Boletim Acadêmico. Série Arborização Urbana. Jaboticabal, 2002.
- REDIN C. G.; VOGEL, C.; TROJAHN, C. D. P.; GRACIOLI, C. R.; LONGHI, S. J. Análise da arborização urbana em cinco praças do município de Cachoeira do Sul, RS. Revista Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.5, n.3, p.149-164, 2010.
- REZENDE, T. M.; SANTOS, G. D. Avaliação quali-quantitativa da arborização das praças do bairro Jaraguá, Uberlândia-MG. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.5, n.2, p.139-157, 2010.
- RIBAS, A.; SCHMID, A.; RONCONI, E. Topofilia, conforto ambiental e o ruído urbano como risco ambiental: a percepção de moradores dos setores especiais estruturais da cidade de Curitiba. Desenvolvimento e Meio Ambiente, n.21, p.183-199, 2010.
- ROMANI, G. N.; GIMENES, R.; SILVA, M. T.; PIVETTA, K. F. L.; BATISTA, G. S. Análise quali-quantitativa da arborização na praça XV de Novembro em Ribeirão Preto-SP, Brasil. Revista Árvore, v.36, n.3, p.479-487, 2012.
- SANTOS, J. C.; LISBOA, G. S.; FRANÇA, L. C. J.; STEPKA, T. F.; SILVA, J. B. L.; MIRANDA, D. L. C.; CERQUEIRA, C. L. Relação entre variáveis meteorológicas e o uso e ocupação do solo no Sudoeste do Piauí, Brasil. Nativa, v.5, p.414-420, 2017.
- SILVA, A. F. Mobilidade sustentável calçadas: espaço destinados aos desbravadores urbanos no bairro de Santo Amaro. Revista Labverde, v.0, n.5, p.104-130, 2016.
- SILVA, A. G. Arborização urbana em cidades de pequeno porte: avaliação quantitativa e qualitativa. 150f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Florestais. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2000.
- SILVA, R. N. Caracterização e análise quali-quantitativa da arborização em praças da área central da cidade de Arapiraca, AL. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.7, n.2, p.102-115, 2012.
- SILVA, R. N.; GOMES, M. A. S. Comparação quali-quantitativa da arborização em espaços públicos da cidade de Arapiraca-AL. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.8, n.2, p.104-117, 2013.
- SOUZA, A. L.; FERREIRA, R. A.; MELLO, A. A.; PLÁCIDO, D. R.; SANTOS, C. Z. A.; GRAÇA, D. A. S.; JÚNIOR, P. P. A.; BARRETTO, S. S. B.; DANTAS, J. D. M.; PAULA, J. W. A.; SILVA, T. L.; GOMES, L. P. S. Diagnóstico quantitativo e qualitativo da arborização das praças de Aracaju, SE. Revista Árvore, v.35, n.6, p.1253-1263, 2011.
- SILVA, J. G.; PERELLÓ, L. F. C. Conservação de espécies ameaçadas do rio Grande do Sul através de seu uso no paisagismo. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.5, n.4, p.01-21, 2010.
- TEIXEIRA, I. F.; FIGUEIREDO, F. M.; TABORDA, I. G. R.; SOARES, L. M. Análise fitossociológica da praça Camilo Mércio no centro histórico de São Gabriel, RS. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.11, n.1, p.01-13, 2016.
- VERVLOT-FILHO, R. H. V.; PLASTER, O. B.; SILVA, A. G. Aspectos florísticos da arborização do campus de goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo. In: Congresso Brasileiro, 15 e Congresso Ibero-americano de Arborização Urbana, 1, 2011, Recife. Anais... Recife-PE, 2011.

ZAMPRONI, K.; BIONDI, D.; BOBROWSKI, R. Avaliação quali quantitativa da espécie *Licania tomentosa* (benth.) Fritsch na arborização viária de Bonito-MS. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.11, n.2, p. 45-58, 2016.

ZEA, J. D.; BARROSO, R. F.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S. Levantamento e diversidade da arborização urbana de Santa Helena, no semiárido da Paraíba. Agropecuária Científica no Semiárido, v.11, n.4, p.54-62, 2015.
ZILLER, S. R. O processo de degradação ambiental originados por plantas exóticas invasoras. Revista Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v. 30, n.178, p.77-79. 2001.

Capítulo 2**CONFORMIDADE EM SISTEMA PARTICIPATIVO DE GARANTIA EM AGRICULTORES
ORGÂNICOS DO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA-RJ****¹Charle Costa dos Santos****²Barbara Leandro Monteiro****³Denilson Costa dos Santos****⁴José Cláudio Souza Alves**¹Acadêmico em Agronomia, UFRRJ/Campus Seropédica, charle_costa@hotmail.com²Mestranda em Agricultura Orgânica, UFRRJ/EMBRAPA/PESAGRO/Campus Seropédica, barbyleandro@gmail.com³Acadêmico em Agronomia, UFLA/Campus Lavras, denilson.santos@agronomia.ufla.br⁴Dr. em Sociologia, Professor Titular UFRRJ/ICHs, Campus Seropédica, jclaudioalves9@gmail.com**Introdução**

Nos últimos anos foram observados uma crescente demanda por alimentos orgânicos no Brasil. Esse fato está relacionado com a procura por segurança alimentar, visando a qualidade nutricional e saúde dos seus consumidores, devido à ausência de resquícios de agrotóxicos em seu sistema de produção (BARBOSA & SOUZA, 2012; CAMPANHOLA & VALARINI, 2001).

O sistema de produção orgânica é sustentado e norteado por princípios conservacionistas, onde é mantido o equilíbrio entre os elementos no agroecossistema visando conservar, aumentar a biodiversidade e as atividades nele desenvolvidas, atendendo os aspectos sociais e economicamente viáveis (SAMINÊS et al., 2008; LACERDA et al., 2014).

De acordo com Maluf et al. (1996), os agricultores orgânicos têm se preocupado cada vez mais com a busca de novos métodos e processos agrícolas que viabilizem a sua produção, juntamente com a sustentabilidade ambiental e a segurança alimentar, no intuito de garantir a proteção da saúde humana e do meio ambiente.

Uma pressão social cada vez mais exigente por um alimento saudável e isento de contaminantes, deu origem a criação de um mecanismo regulador de qualidade que certifique a idoneidade do produto oferecido, sendo representada pelas normativas orgânicas e ambientais, garantindo a certificação para aqueles que as cumprem (PESSOA, 2002). Com a certificação, o agricultor está assegurado que de fato está seguindo a regulamentação técnica que orienta a produção orgânica (PENTEADO, 2001).

Com o objetivo de classificar e padronizar as atividades agrícolas no sistema de produção orgânica, buscando garantir a qualidade dos sistemas de produção, o Brasil dispõe atualmente de três sistemas de certificação orgânica, sendo elas: os Sistemas Participativos de Avaliação da Conformidade, a Organização de Controle Social e a Certificação por Auditoria (PINHEIRO, 2012).

O Sistema Participativo de Garantia através de visitas de verificação de conformidade, assegura por meio de troca de experiências entre os participantes e a cooperação de todos os integrantes envolvidos no sistema de produção orgânico, sejam eles os membros do sistema: os produtores, comercializadores, transportadores, armazenadores, consumidores, técnicos e organizações públicas ou privadas que atuam na rede de produção orgânica (BRASIL, 2003).

No que concerne à condição de produto orgânico certificado, deve-se atender aos parâmetros estabelecidos de acordo com a Instrução Normativa nº 46, de 6 de outubro de 2011, onde em seu Art. 3º, para efeito desta regulamentação técnica, evidencia a sustentabilidade como fragmento indispensável para incentivos que promovam a preservação de recursos não renováveis (MAPA, 2011).

O Organismo Participativo de Avaliação da Conformidade – OPAC, é composto por uma Comissão de avaliação e um conselho de recursos, responsabilizando-se formalmente pela avaliação como pessoa jurídica junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, assegurando-se que o conjunto de atividades executada no SPG estão seguindo as normas técnicas na produção orgânica (HIRATA, 2016).

Neste sentido, o Sistema Participativo de Garantia juntamente com a Certificação por auditoria, compõe o Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade Orgânica - SISORG, visando o controle social e a responsabilidade solidária (OLCZEVSKI & COTRIN, 2014).

Deste modo, este trabalho tem como objetivo analisar por meio de pesquisa quali-quantitativa e exploratória, os benefícios gerados no processo de certificação participativa na agricultura orgânica, com foco na cidade de Seropédica no Estado do Rio de Janeiro, mais especificamente relacionado ao grupo Raiz Forte.

Material e Métodos

O município de Seropédica está inserido na região conhecida como Baixada Fluminense, Latitude: 22° 44' 36" S e Longitude: 43° 42' 28" O, a uma elevação de 26 metros do nível do mar, estabelecendo limites com os municípios de Itaguaí, Japeri, Paracambi, Queimados e Nova Iguaçu no Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). O clima da região é classificado "Aw" (tropical chuvoso com inverno seco) segundo a classificação de Köppen e Geiger, a temperatura média é 23,5°C e precipitação média anual de 1.354mm.



Figura 1. Localização espacial do município em estudo. Fonte: Seropédica Online (2018).

A vegetação predominante na qual o município está inserido apresenta fragmentos remanescentes em 5% de mata atlântica, com florestas ombrófilas densas e vegetação secundária com característica de regeneração natural (Figura 2). Devido as ações antrópicas, é predominante a ocorrência de gramíneas e outros tipos de vegetações, caracterizando pasto sujo decorrente da retirada da vegetação nativa para exploração agropecuária (VICENTE, 2008; TCE, 2017).

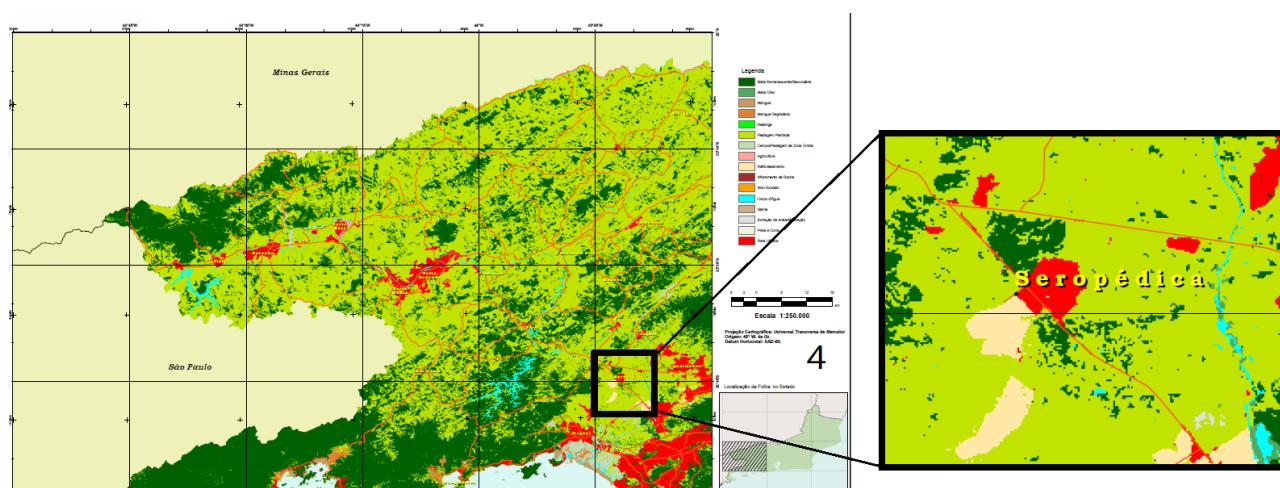


Figura 2. Mapa de uso atual e cobertura vegetal dos solos do Estado do Rio de Janeiro.
Fonte: Embrapa (2003).

A geomorfologia do município apresenta relevo suave ondulado e ondulado. As classes de solos predominantes na região são PLANOSOLOS HÁPLICOS Distróficos arênicos, ARGISSOLOS AMARELO

Eutróficos típicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos, com presença de argilas de atividade reduzida, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos, GLEISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos nas regiões de várzeas e nas planícies de aluvião dos rios Guandu encontram-se NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, onde ocorre a extração de areia/Mineração. Sua hidrologia está associada à macrobacia do Rio Paraíba do Sul e na microbacia que é acolhida pelo Rio Guandu (RAMOS et al., 1973; EMBRAPA, 2003; EMBRAPA, 2006; VICENTE, 2008).

Conforme informações coletadas em campo e contidas nos planos de manejo orgânico da ABIO cedidas pelos facilitadores, as propriedades são caracterizadas majoritariamente como unidades de produção familiar, possuindo de 3 a 10 hectares, compostas por cultivos de hortaliças, ervas medicinais e aromáticas (abóbora, alface, berinjela, batata, beterraba, brócolis, cebola, cenoura, couve, espinafre, jiló, manjericão, maxixe, mostarda, pimenta, pimentão, quiabo, salsa e tomate), por culturas anuais (Aipim, cana de açúcar, feijão de corda, feijão rajado e milho) e por culturas perenes (acerola, amora, banana, caju, coco, jabuticaba, jaca, lichia, limão, tangerina, manga, mamão e maracujá).

Para efeito de validação, os dados das produções foram confrontados com a tabela ASPA/AGROGEO da EMATER/RJ, que apresenta o relatório por municípios do sistema no ano de 2017.

O município possui o IDH de 0,713, com uma área total de 274 Km², no qual 6.022 hectares são atribuídos às atividades agropecuárias com características na agricultura familiar e a produção agrícola correspondendo a apenas 0,85% do PIB do município, tendo sua economia fundamentada na produção agrícola e um embrionário campo industrial (GUIMARÃES et al., 2009).

Foi realizado um levantamento junto à Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário – SEAD para identificar as propriedades rurais produtivas orgânicas.

Conforme detalhamento realizado pela fundação Banco do Brasil (2017), atualmente os agricultores orgânicos de Seropédica estão distribuídos em três grupos, sendo eles: SPG Seropédica, Serra Mar e Raiz Forte, este último é oriundo do desmembramento de outros grupos, que a medida que foi crescendo surgiu a necessidade de expandir e fazer uma nucleação, onde poderiam desenvolver as atividades de forma mais constante e eficiente, dando origem ao grupo Raiz Forte, que foi fundado em maio de 2016, e atualmente é composto por aproximadamente 30 famílias de agricultores.

Ao longo do trabalho foi adotado a metodologia participativa de Lakatos e Marconi (2003), que utiliza uma abordagem quali-quantitativa, onde realiza-se estudos de casos e visitas nas propriedades (Figura 3), acompanhamento das análises de conformidade junto as propriedades certificadas e aquelas que almejam a certificação, participação em reuniões realizadas a cada primeiro domingo do mês durante 4 meses, com início em setembro de 2017 e término em dezembro do mesmo ano, entrevistas a dois facilitadores com auxílio de um roteiro fundamentado no manual técnico de produção orgânico, onde foi elaborado um pequeno questionário com perguntas abertas de caráter geral, abordando o processo de certificação e os entraves enfrentados pelo grupo.

Vale ressaltar que os agricultores pertencentes ao grupo Raiz Forte recebem acompanhamento de forma contínua do grupo PET “Inclusão e oportunidades na vida acadêmica de alunos de origem popular” por intermédio do projeto ESP (Empreendedorismo Social Plural), que visa mitigar dificuldade inerentes aos sistemas de produção orgânico da região de Seropédica e adjacentes, através de ferramentas de gestão estratégica. E sob prévio consentimento, os mesmos assinam um termo de compromisso ressalvando o direito ao uso das informações coletadas ao longo do projeto.



Figura 3. Vistoria a unidade de produção agrícola no município de Seropédica, RJ.

Resultados e Discussão

No levantamento realizado junto à Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário - SEAD, diagnosticou-se que atualmente o município estudado dispõe de 30 Declaração de Aptidão ao Pronaf - DAP, sendo elas 17 ativas, 12 inativas e 1 cancelada, no entanto, o município possui o número aproximado de 140 propriedade rurais, com tudo, não foi possível estimar o número exato de agricultores, pois ainda existe um grande número que não possuem a DAP, e desenvolvem a atividade informalmente, impossibilitando o acesso as políticas públicas.

Em contrapartida, verificou-se que no grupo Raiz Forte possui um contingente de 25 agricultores certificados e 5 estão em processo de transição para a certificação orgânica, e suas propriedades ficam distribuídas pelos municípios de Seropédica, Itaguaí, Rio Claro, Piraí e Nova Iguaçu (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição espacial dos agricultores orgânicos certificados no município em estudo e fronteiriços

Municípios	Nº de agricultores
Seropédica	15
Rio Claro	0
Piraí	2
Itaguaí	4
Nova Iguaçu	9
Total	30

Segundo dados coletados em campo, 21,42% é referente a agricultores orgânicos pertencentes ao grupo, 3,57%, estão em processo de transição, e 82,14% são os demais agricultores familiares do município, como observa-se na Figura 4.

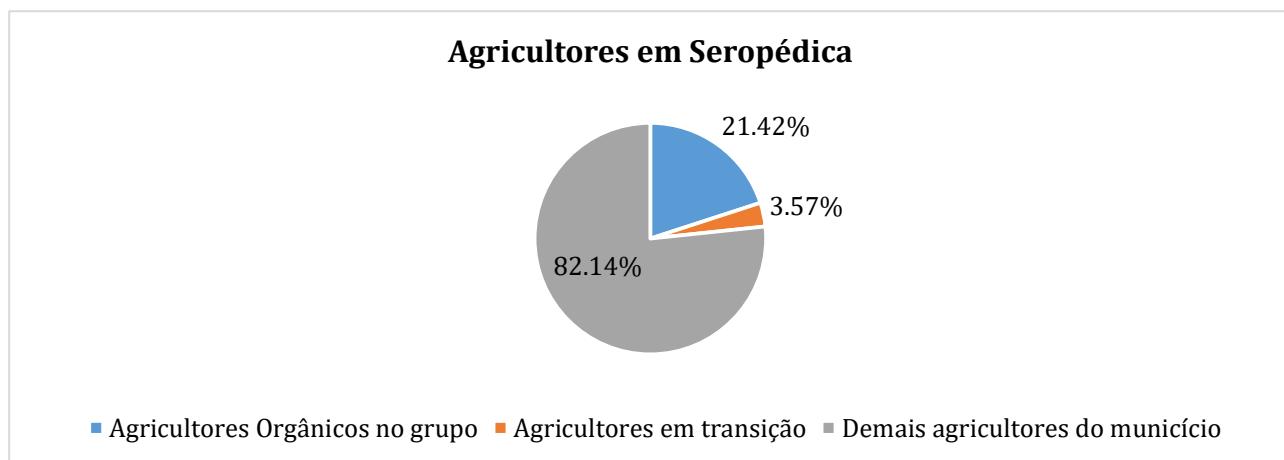


Figura 4. Distribuição dos agricultores no município de Seropédica.

Embora o Estado do Rio de Janeiro não possua papel de destaque na produção nacional, a produção orgânica vem ganhando notoriedade no Estado e este fato é decorrente da ação conjunta da Associação de Agricultores Biológicos do Estado do Rio de Janeiro - ABIO com os produtores, em prol da implantação de canais alternativos de comercialização que fomentam a participação de novos agentes no meio rural, com comprometimento em atender os requisitos que garantam a oferta de produtos com qualidade, seguindo os princípios norteadores da agroecologia, fato este, confirmado em estudos realizados por Mello (2004) e corroborado por Feres (2012).

Mello (2004) e Hirata (2016), evidenciam que para participar do grupo é necessário ter o interesse em produzir produtos orgânicos, executar as atividades, ir às reuniões e participar do processo de conversão. A partir daí é feito uma avaliação verificando a conformidade com base na exigência estabelecida pelo órgão fiscalizador e que se adequem em relação a filosofia do grupo, caso atenda a todas as premissas, o produtor recebe um parecer de conformidade emitido pela ABIO, que é a organização responsável por oferecer a certificação ao grupo, já aqueles que não estão aptos, recebem um prazo que é variável de acordo com as necessidades de ajuste de cada produtor para que se adequem a conversão.

Minetto et al. (2016), identificaram resultados equivalentes nas regiões Noroeste e Missões do Rio Grande do Sul, RS, Brasil. Onde mesmo com a certificação, foi observado que existem dificuldades que permeiam o grupo, dentre elas está a comercialização da produção, mesmo parte da produção sendo escoada através do Programa de Aquisição de Alimentos - PAA, Programa Nacional de Alimentação Escolar - PNAE, feira de agricultura familiar promovida pela UFRRJ e no circuito carioca de feiras orgânicas, ainda existe a necessidade de outros canais de escoamento, o que questiona à falta de um responsável por esta função.

Barbosa e Souza (2012), apontam que os produtores orgânicos no Brasil enfrentam dificuldades de insuficiência de corpos técnicos responsáveis para o serviço de Assistência Técnica e Extensão Rural - ATER, o que sugere o fortalecimento de parcerias entre os agricultores e os órgãos públicos, como a Prefeitura, EMARTER - RJ, PESAGRO e UFRRJ. Em contraste, o estudo realizado por Caldas et al. (2012), evidencia que os entraves políticos e construtivos impossibilitaram o avanço da proposta de implementação de um SPG em Andaluzia, Espanha.

Observa-se que o grupo enfrenta o desafio de agregar novos membros de regiões adjacentes e criar novos subgrupos, onde possam praticar os princípios da certificação participativa em forma de redes, que mobilize a organização dos pequenos produtores de forma compartilhada, sem hierarquização, com transparência e troca de conhecimento. Segundo Hirata (2016), ao estudar a constituição do sistema participativo de garantia sul de Minas e sua contribuição para a agroecologia na região, constatou-se que os agricultores compreendem o sentido dos mecanismos de controle social, pois fortalecem a construção de um conhecimento estabelecido na confiança, no comprometimento e troca de saberes agroecológicos, que preenche a inexistência de uma assistência técnicas especializada, além da abertura de mercado proveniente pela conquista do selo.

Identificou-se a dificuldade de contratar mão de obra, as intempéries impostas pelas condições climatológicas da região limitam a produção, que é refletida no desejo de expandir suas unidades produtivas, porém alguns dos agricultores questionam a ideia de expandir sua unidade de produção, pois eles não se consideraram microempreendedores e veem a atividade agrícola como subsistência.

Feres (2012), Thomson et al. (2015) e Minetto et al. (2016), obtiveram resultados semelhantes, comprovando que os agricultores consideram como parte essencial do processo de certificação ocorrer a troca de experiências entre os envolvidos no momento em que se deslocam da sua unidade de produção para as visitas de verificação.

Na pesquisa elaborada por Thomson et al. (2015), foram constatadas semelhanças nos resultados, onde pode-se destacar como benefícios gerados desde o início do processo de certificação a garantia de conseguir o selo com baixo custo, pois devido ao número de membros há facilidade em obter o mesmo, como também, a abertura de novos nichos de mercado, pois adquirem maior credibilidade junto ao consumidor, assim como, segurança e qualidade na venda dos produtos oferecidos.

Conclusão

Com a adesão ao SPG, possibilitou o acesso de forma justa, democrática e bidirecional, favorecendo os circuitos curtos de comercialização e o acesso direto a alimentos com garantia de qualidade, fortalecendo as práticas corretas da agricultura orgânica nas propriedades rurais e participação na articulação nacional de produção orgânica.

Referências

- BANCO DO BRASIL. Sistema participativo de garantia Abio: uma ferramenta de certificação inclusiva. Disponível em: <<http://tecnologiasocial.fbb.org.br/tecnologiasocial/banco-de-tecnologias-sociais/pesquisar-tecnologias/detalhar-tecnologia-671.htm>>. Acesso em: 18 de maio de 2018.
- BARBOSA, W. F.; SOUZA, E. P. Agricultura orgânica no Brasil: características e desafios. Revista Economia & Tecnologia, v.8, n.4, p.67-74, 2012.
- BRASIL. Decreto Nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6323.htm>. Acesso em: 13 de maio de 2018.
- BRASIL. Lei Nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.831.htm>. Acesso em: 13 de maio de 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 46, de 6 de outubro de 2011. Disponível em:

- <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Organicos/Legislacao/Nacional/Instrucao_Normativa_n_0_046_de_06-10-2011.pdf>. Acesso em: 27 de julho de 2018.
- CALDAS, N. V.; ANJOS, F. S.; BEZERRA, A. J. A.; CRIADO, E. A. Certificação de produtos orgânicos: obstáculos à implantação de um sistema participativo de garantia na Andaluzia, Espanha. Resr, v.50, n.3, p.455-472, 2012.
- CAMARGO, C. P.; PESSOA, M. C. P. Y.; SILVA, A. S. Qualidade e certificação de produtos agropecuários. Brasília. Embrapa Informação Tecnológica, 2002, 188p.
- CAMPANHOLA, C.; VALARINI, P. J. A agricultura orgânica e seu potencial para o pequeno agricultor. Cadernos de Ciência & Tecnologia, v.18, n.3, p.69-101, 2001.
- EMATER/RJ. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. 2017. Disponível em: <<http://www.emater.rj.gov.br/images/munic2017.htm>>. Acesso em: 31 de julho de 2018.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapeamento do uso atual e cobertura dos solos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Embrapa Solos (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 22). 2003. 44p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2^a Edição. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FERES, A. M. B. A Reorganização da agropecuária orgânica do estado do Rio de Janeiro em face da legislação brasileira atual e a formação do Sistema Participativo de Garantia da ABIO. 144f. Dissertação (Mestrado em Organização e Gestão do Território). IGEU. UFRJ. Rio de Janeiro, 2012.
- GUIMARÃES, L. D. D.; SANCHEZ, S. B.; DE ARAÚJO, S. D. Agroecologia como alternativa de produção sustentável para agricultura familiar no município de Seropédica. In: Encontro Internacional em Educação Agrícola da UFRRJ, 3, 2009, Seropédica. Anais... Seropédica: UFRRJ, 2009.
- HIRATA, A. R. A constituição do sistema participativo de garantia sul de Minas e sua contribuição para a Agroecologia na região. 196p. Dissertação (Mestrado profissional em Desenvolvimento Sustentável e Extensão). UFLA. Lavras, 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/seropedica/panorama>>. Acesso em: 14 de maio de 2018.
- LACERDA, A. F.; SOUZA, C. F.; FRANCISCO, P. R. M. Cartilha para divulgação dos alimentos orgânicos de uma bodega agroecológica. In:
- FURTADO, D. A.; BARACUHY, J. G. V.; FRANCISCO, P. R. M.; NETO, S. F.; SOUSA, V. A. Tecnologias adaptadas para o desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro. Campina Grande: EPGRAD, 2014. p.248–260.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos de metodologia. Ed. 5. São Paulo, SP. Atlas, 2003.
- MALUF, R. S.; MENEZES, F.; VALENTE, F. L. Contribuição ao tema da segurança alimentar no Brasil. Revista Cadernos de Debate, v.4, p.66-88, 1996.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/cadastro-nacional-produtores-organicos>> Acesso em: 14 de maio de 2018.
- MELO, J. A. V. B. Agricultura orgânica como contribuição para um meio ambiente sustentável. UFRJ, 2004. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos04/156_Resumo_seget_Jose%20Andre.doc>. Acesso em: 28 de julho de 2018.
- MINETTO, M. C.; BECKER, C.; DRESCHER, M. S. Os desafios da produção de alimentos orgânicos pela agricultura familiar nas regiões Noroeste e Missões do Rio Grande do Sul. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 11, 2016, Pelotas. Anais... Pelotas: SBPC, 2016.
- MINETTO, M. C.; AMARAL, A. R.; FROELICH, D. A.; VIONE, G. F.; BECKER, C. Ações de incentivo à produção de alimentos orgânicos como estímulo à permanência dos jovens nas propriedades da agricultura familiar. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 11, 2016, Pelotas. Anais... Pelotas: SBPC, 2016.
- OLCZEVSKI, C. R.; COTRIN, D. S. Certificação de produtos orgânicos por SPG - Sistema Participativo de Garantia, envolvendo pequenas cooperativas do ramo agropecuário, na região dos Coredes do Médio Alto Uruguai e Rio da Várzea/RS. Rev. Reflexão Cooperativista, n.3, 2014.
- PENTEADO, S. R. Agricultura orgânica. Série Produtor Rural. Ed. Esp. Piracicaba-SP. ESALQ, 2001. 41p.
- RAMOS, D. P.; CASTRO, A. F de; CAMARGO, M. N. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Série Agronômica, v.8, p.1-21, 1973.

- SEAD. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário. Disponível em: <<http://smap14.mda.gov.br/extratodap/>>. Acesso em: 14 de maio de 2018.
- TCE/RJ. Tribunal de Contas do Rio de Janeiro. Estudo Socioeconômico dos municípios do Estado do Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <<https://www.tce.rj.gov.br/estudos-socioeconomicos1>>. Acesso em: 30 de julho de 2018.
- THOMSON, C. R.; BORSATTO, R. S.; ABREU, L. S. DE. O estudo de caso do Sistema Participativo de Garantia (SPG) da Associação de Agricultura Natural de Campinas e Região (ANC), São Paulo - Brasil. In: Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales Argentinos y Latinoamericanos, 9, Buenos Aires. Anais... Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2015.
- VASCONCELLOS, G. B. S. DE. A dinâmica entre o rural e o urbano: um estudo sobre a agricultura no bairro Jardim Maracanã/Seropédica - RJ. Monografia (Graduação em Geografia). UFRRJ, 2015.
- VICENTE, J. F. Caracterização hidrogeológica de uma área experimental no Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Seropédica/RJ. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). PUC-RIO. Rio de Janeiro, 2008.

Capítulo 3**EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA IRRIGADA NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PIMENTÃO (*CAPSICUM ANNUUM L.*)****Antônio Ricardo Santos de Andrade¹****Cássio Lopes de Oliveira²****Palloma Rayza Lopes de Aquino Silva³****Analice Nunes Clarindo⁴****Lucas Figueira da Silva⁵**¹Dr. Professor de Estatística, UAG/UFRPE, Garanhuns-PE, ricoarsa@gmail.com²Graduando em Agronomia, UAG/UFRPE, Garanhuns-PE, cassio.agronomo@yahoo.com³Graduando em Agronomia, UAG/UFRPE, Garanhuns-PE, pallomarayza@gmail.com⁴Graduanda em Agronomia, UAG/UFRPE, Garanhuns-PE, analice_nc@hotmail.com⁵Graduando em Agronomia, UAG/UFRPE, Garanhuns-PE, lucasfigueira@gmail.com**Introdução**

O pimentão (*Capsicum annuum L.*), pertencente à família das solanáceas, encontra-se entre as cinco hortaliças que apresentam maior área cultivada no Brasil e no mundo. Sendo significativo o seu volume de comercialização nos grandes centros urbanos (HALFELD-VIEIRA et al., 2005). O pimentão floresce e frutifica em qualquer comprimento de dia, porém, o florescimento, a frutificação e a maturação dos frutos são mais precoces em dias curtos, favorecendo a produtividade (CARVALHO et al., 2011). Desenvolve-se sob temperaturas elevadas ou amenas, sendo intolerante a baixas temperaturas, no entanto, a temperatura ótima do pimentão com temperaturas diurnas entre 18 e 27 °C e noturnas entre 15 e 18°C, sendo que as temperaturas noturnas inferiores a 15 °C provocam maior ramificação e floração (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

No Brasil, o pimentão (*Capsicum annuum L.*) apresenta-se como uma das dez mais importantes hortaliças cultivadas, sendo seus frutos consumidos na forma imatura (verdes) ou madura (vermelhos ou amarelos), ou, ainda, utilizados na indústria alimentícia ou na produção de pigmentos (corantes). Tratando de valor econômico, a cultura do pimentão apresenta-se entre as dez hortaliças mais importantes no Brasil (NASCIMENTO et al., 2015). A área estimada de plantio é 19 mil hectares, com produção acima de 420 mil toneladas (FAO, 2017), no entanto, as estatísticas em relação ao cultivo de pimentão na literatura ainda são simplórias. É uma hortaliça com boa adaptação às condições do Semiárido, onde no Nordeste, destacam-se como principais produtores os estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Bahia em ordem decrescente (NASCIMENTO, 2014).

A região semiárida do Nordeste brasileiro é caracterizada por apresentar escassez hídrica e irregularidade de distribuição das chuvas e, desta forma o sistema de produção necessariamente depende da irrigação (CAVALCANTE et al., 2011; LIMA, et al., 2016). Além disso, nas águas provenientes dos mananciais desta região, os valores de condutividade elétrica superior a 1,5 dSm⁻¹ são comumentes encontradas, o que pode comprometer o crescimento e produtividade das culturas (NEVES et al., 2010).

Atualmente, principalmente para o plantio em estufa, as cultivares de pimentão estão sendo substituídas pelo plantio de híbridos, os quais apresentam maior produtividade por área (NETO, et al., 2012). Assim como várias hortaliças, tem sido produzida em condições de cultivo protegido, o qual possibilita um abastecimento contínuo e colheitas em períodos de baixa oferta do produto no mercado, alcançando, por isso, preços mais competitivos (MAGGI et al., 2006; SILVA et al., 2013). Porém, existem muitos problemas relacionados à adubação excessiva, levando o solo a um acúmulo de sais no solo e perca de nutrientes por percolação profunda (CARDOSO et al., 2008).

Segundo Andrade et al. (2016), o pimentão é bastante suscetível a deficiências hídricas, resultando em um crescimento reduzido e desuniformidade dos frutos. O uso da irrigação tem contribuído significativamente para o aumento da produtividade agrícola (SANTANA et al., 2003; SANTANA et al., 2004). Segundo o mesmo autor, solos normais podem se tornar improdutivos se receberem sais solúveis em excesso devido às irrigações malconduzidas com águas salinas.

De acordo com Oliveira et al. (2011), o aumento da área irrigada e a diminuição da disponibilidade de água de boa qualidade têm incrementado a utilização de águas marginais, com diferentes níveis de

salinidade. Desse modo, o grande desafio dos pesquisadores é a criação de tecnologias que possibilitem o desenvolvimento de uma agricultura irrigada, com o uso de águas salinas, com menor impacto ambiental e máximo retorno econômico (SILVA et al., 2014).

Toda água de irrigação possui pequenas quantidades de sais dissolvidos, que não forem removidas proporcionalmente na mesma quantidade em que estão sendo adicionadas ao solo, os sais podem concentrar, onde a partir de determinado nível começa a ocorrer quebra de produção chegando até a esterilização do solo (SUGUNO & BARROS, 2010; JÚNIOR et al., 2016). Além disto, mesmo sendo utilizada água de boa qualidade, altas doses de fertilizantes aplicadas via água de irrigação, elevam os níveis à salinidade da água, como a maioria das olerícolas (LIMA et al., 2007). Isso é agravado pelo uso de águas subterrâneas, com concentrações salinas relativamente elevadas, cujo efeito sobre a concentração de sais no solo está relacionado ao seu teor de sais e composição, à quantidade de água aplicada e à extensão da lixiviação realizada (RHOADES et al., 1992; LIMA et al., 2005).

De acordo com Silva et al. (2011), nem todas as culturas respondem igualmente à salinidade, algumas produzem rendimentos aceitáveis a níveis altos de salinidade e outras são sensíveis relativamente baixos, cuja diferença se deve à melhor capacidade de adaptação osmótica que algumas culturas têm, o que permite absorver, mesmo em condições de salinidade, maior quantidade de água. Esta capacidade de adaptação é muito útil e permite a seleção das culturas mais tolerantes e capazes de produzir rendimentos economicamente aceitáveis, quando não se pode manter a salinidade do solo ao nível de tolerância das plantas que se cultivam. A tolerância de uma cultura aos sais é a capacidade de suportar os efeitos do excesso de sais na zona radicular. Nem todas as culturas respondem igualmente à salinidade, visto que algumas produzem rendimentos economicamente aceitáveis a níveis altos de salinidade e outras são sensíveis a níveis relativamente baixos. Tal fato se deve à melhor capacidade de adaptação osmótica que algumas plantas têm, o que lhes permite absorver, mesmo em meio salino, maior quantidade de água (DIAS et al., 2003).

Em condições salinas, ocorre redução na disponibilidade de água às plantas com redução do potencial total de água no solo. Assim, a salinidade provocará um maior gasto de energia para a absorção da mesma (LEONARDO et al., 2003). O pimentão é considerado uma cultura moderadamente sensível à salinidade e tolera até $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ de CE, constitui um fator de aumento de produtividade e diminuição de riscos, influindo na qualidade e quantidade de frutos e em outros fatores de produção. O acréscimo de cada unidade de condutividade elétrica (CE) reduz a produção em 14% (LIMA et al., 2005). A cultura do pimentão é considerada moderadamente sensível à salinidade do solo. Segundo Nascimento et al. (2015), a diminuição de produtividade em relação à condutividade elétrica do extrato de saturação do solo é de 0%, 10%, 25%, 50% e 100%, para valores de 1,5; 2,2; 3,3; 5,1 e $8,1 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Entretanto, as concentrações de sais que restringem o crescimento da planta variam amplamente entre espécies, e dependem não apenas do tipo de sal, mas do tempo de exposição e do estádio de desenvolvimento da planta (MUNNS, 2005).

Os efeitos dos sais sobre as plantas podem ser notados pelas dificuldades de absorção de água salina, pela interferência dos sais nos processos fisiológicos, ou mesmo por toxidez, similares àquelas de adubações excessivas (QUEIROGA et al., 2006; ANDRADE et al., 2016). Alguns íons apresentam efeitos tóxicos às plantas, inclusive em concentrações muito inferiores às necessárias para prejudicar os cultivos via efeito osmótico (MUNNS, 2005).

Sendo assim, o presente trabalho, objetiva avaliar os efeitos da água salina aplicada em diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação CEa no crescimento inicial do pimentão (*Capsicum annuum L.*)

Material e Métodos

Localização e caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido, em vasos na casa de vegetação da área experimental do Campus da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG/UFRPE), localizada no município Garanhuns, PE, Brasil, nas coordenadas de latitude $8^{\circ}53'25''$ sul e a longitude $36^{\circ}29'34''$ oeste. A distância até a capital é de 229 km, e com uma área de aproximadamente 472 Km^2 , onde vivem cerca de 131.313 mil habitantes, em uma das mais importantes regiões leiteiras do Estado de Pernambuco. É limitado pelos municípios de São João, Jucati, Capoeiras, Caetés, Paranatama, Saloá, Terezinha, Brejão, Lagoa do Ouro, Correntes, Palmeirina. A Microrregião de Garanhuns é composta por dezenove municípios (IBGE, 2015).

O município de Garanhuns situa-se ao Sul da Chapada da Borborema, na mesorregião do Agreste Pernambucano, a uma altitude média de 900 metros. Seu ponto mais alto é o Monte Magano com 1.030 m de altitude, e seu rio mais importante o rio Mundaú, usufruindo assim, de um clima menos árido que o que predomina no interior do Estado e na região ocidental do município (IBGE, 2015). Por estar localizada também em uma região alta, beneficia-se de temperaturas menores e de uma ótima ventilação, o que proporciona um clima ameno e agradável em todos os meses do ano.

A temperatura média anual oscila em torno dos 20°C, podendo atingir 30°C ou mais nos dias mais quentes, e 15°C ou menos nas noites mais frias do ano. A umidade relativa do ar, na área urbana, varia entre 75 a 83%. A precipitação pluviométrica de 1.333mm, sendo os meses mais chuvosos de maio e junho (LIRA et al., 2006; APAC, 2015). A cidade situa-se na fronteira entre Mesorregiões de clima e vegetação diferentes. Ao nordeste, a paisagem é verde e arborizada, típica do brejo presente nas partes mais altas do planalto. Ao sudeste, encontra-se uma paisagem típica do agreste, com árvores e pastagens. As regiões oeste e sul do município, são dominados pelo clima e vegetação de rasteira (Caatinga) e clima seco (PTDRS, 2011).

Instalação e condução da cultura no campo

A cultura conduzida no experimento foi o pimentão (*Capsicum annuum L.*), híbridos comerciais Mayara. Esta cultivar apresenta um fruto de formato cônico, de coloração verde, peso médio de frutos 275g, ciclo de 120 dias. Sendo este híbrido, utilizado por atender a demanda das redes de supermercados, apresentar frutos grandes e mais pesados, possuir uma maior resistência a viroses e ser mais cultivado pelos produtores na região do Nordeste.

O experimento foi instalado em vasos, onde solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi um solo franco argiloso onde foi seco ao ar, destorrado, peneirado em uma peneira com malha de 2mm, posteriormente homogeneizada. As amostras de solo foram coletadas de 0 a 20 cm de profundidade. Da amostra de solo coletado para utilização do preenchimento dos recipientes foi retirado sub-amostras para serem analisadas (EMBRAPA, 1997). Utilizando-se da análise química de fertilidade, procedeu-se à correção da acidez, mediante a aplicação de CaCO₃, puro para análise.

Foram utilizados vasos com a capacidade de 25 litros com diâmetro inferior de 27 cm, superior 41 cm e altura de 57 cm, onde foram perfurados em sua parte inferior e acoplado a uma mangueira plástica com diâmetro de 13 mm, para possibilitar a drenagem da água. Na mangueira conectou-se um recipiente. Cada vaso recebeu uma camada de brita (2,2 kg), seguida por uma camada de areia grossa (3,5 kg) e, após, o solo (18,5 kg). No início do experimento, o solo de cada unidade foi elevado à capacidade de campo; para isso, foi feita uma irrigação, aplicando um volume de água sem sal suficiente para elevar o solo a uma condição de umidade próxima da saturação, de forma a forçar a perda de água apenas por drenagem, em seguida, mediu-se o volume drenado (ANDRADE et al., 2016). Logo após o final da drenagem, procedeu-se à semeadura. Até a confirmação do pegamento, cerca de sete dias após semeadura, as irrigações foram feitas diariamente.

Em cada vaso foram transplantadas três plantas de pimentão (*Capsicum annuum L.*), híbridos comerciais Mayara. Com 10 dias após a transplantio (DAT) das plantas houve o desbaste. Durante a condução do experimento, foram efetuados os tratos culturais e fitossanitários preconizados para a cultura, os quais são: controle de plantas invasoras; eliminação da primeira flor/fruto na primeira forquilha da planta. No desbaste foi deixada a planta mais central e que se apresentava mais vigorosa. A partir do décimo quinto dia, as plantas começaram a receber os tratamentos. A condução da cultura foi feita em espaldeira simples, onde as hastes da planta são conduzidas de maneira à forma um renque. Cada haste foi amarrada em fios de arame dispostos na horizontal com auxilio de fitilhos plásticos verticais espaçados de 1,0 m um do outro. Os fios de arame e os fitilhos foram suportados por mourões de madeira fixados ao solo e espaçados a cada 2,7 m na linha de plantio.

Cerca de 25 dias após o transplanto foram eliminados todos os brotos laterais que se formaram abaixo da primeira bifurcação. Essa desbrota foi feita de forma manual e com tesoura devidamente desinfetada, em uma solução de água e álcool. Em razão das características genética do híbrido, na primeira bifurcação surgem de duas a três hastes, em que à medida que se desenvolvem vão sendo formado a cada internódio um broto. Foram feitas a eliminação das hastes e das flores que surgiram na primeira bifurcação, garantido assim, um tamanho maior para os frutos e a precocidade na colheita.

No presente trabalho, os tratamentos com água salina foram aplicados em diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) preparadas em baldes de 50 litros para o armazenamento das águas salinas, com NaCl, CaCl₂, e água destilada para obtenção de diferentes níveis

de concentração elétrica (0,0036; 0,6; 1,0; 1,4 e 8,0 dSm⁻¹), mantendo-se a relação de adsorção de sódio (RAS) em nível 6,0 (mmolc L⁻¹)^{0,5}. A escolha destes níveis de salinidade tomou por base a variação em condutividade elétrica das águas utilizada para irrigação na região (MEDEIROS et al., 2003).

As quantidades de sais calculadas para cada tratamento foram misturadas com a água de abastecimento urbano, denominada de tratamento controle ($T_0 = 0,0036$ d Sm⁻¹), proveniente da caixa de abastecimento, localizado na área experimental, que foi caracterizada quimicamente através das metodologias recomendadas por Vieira (1994), cujas características estão dispostas na Tabela 1, para o preparo das demais águas de irrigação após se acrescentar o NaCl, CaCl₂, e água destilada, conforme tratamento, e posteriormente adicionou-se água, até ser atingido a condutividade elétrica desejada, sendo os valores conferido com um condutivímetro portátil ajustado a temperatura de 25°C.

Tabela 1. Analise química da água de abastecimento, utilizada no preparo das soluções para cada tratamento

CEa	RAS	pH	K	Ca	Mg	Na	CO₃⁻²	SO₄⁻²	HCO₃⁻	Cl⁻
dSm ⁻¹	(mmolc L ⁻¹) ^{0,5}					(mmolc L ⁻¹) ^{0,5}				
0,0036	6,0	6,9	0,4	0,3	0,7	0,77	0,09	0,3	1,1	1,2

A adubação, para todos os tratamentos, foi realizada de acordo com as análises químicas do solo e exigências nutricionais da cultura, seguindo orientações de Malavolta et al. (2002). Em fundação foram aplicados 5,2 kg de P₂O₅ por vaso. Ao longo do experimento foram aplicadas semanalmente as quantidades de nutrientes de 7,0g de N e 8,0 g de K₂O de acordo com a necessidade da cultura.

Para o controle racional tanto de pragas como de doenças, nesse experimento foi adotado o manejo no qual se efetuou o controle mediante exame visual do agente, inseto ou patógeno, e de acordo com recomendações técnicas do produto químico utilizado.

Sistema e manejo da irrigação

Utilizou-se um sistema de irrigação localizado do tipo gotejamento, com uma linha lateral por fileira de vasos com um emissor por vaso, colocado próximo às plantas, formando uma faixa contínua molhada. O sistema era composto de 4 linhas laterais de polietileno de 40,0 m de comprimento e diâmetro nominal de 16mm, tendo no início da linha de derivação um registro para controle das lâminas de água aplicadas nas parcelas que recebiam os tratamentos. Utilizaram-se gotejadores autocompensantes com vazão de 4 L h⁻¹ a uma pressão de serviço de 0,2 MPa, instalados sobre a linha lateral. O sistema foi suprido pela água de uma caixa de 5 mil litros que é abastecido pela água de abastecimento, a qual, de acordo com a classificação de qualidade da água para irrigação, indicada por Ayers e Westcot (1999). A frequência de irrigação foi diária, sendo a lâmina de irrigação estabelecida de acordo à evaporação do tanque Classe "A", onde se dispunha deste equipamento na estação meteorológica vizinha à área experimental.

O tempo de aplicação da lâmina de irrigação, tomada como controle, foi calculado a partir da Equação 1 (ARAGÃO et al., 2012; SANTOS & BRITO, 2016):

$$T_i = \frac{E_l \cdot E_g \cdot ECA \cdot Kr}{q \cdot E_a} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: Ti = tempo de irrigação (h); El = espaçamento entre linhas (m); Eg = espaçamento entre gotejadores (m); ECA = evaporação do Tanque Classe A (mm); Kr = coeficiente de cobertura do solo (adimensional); q=vazão do emissor (L.h⁻¹); Ea é a eficiência de aplicação (decimal).

Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro tratamentos, representados por níveis de condutividade elétrica da água de irrigação ($T_0 = 0,0036$; $T_1 = 0,6$; $T_2 = 1,0$; $T_3 = 1,4$ e $T_4 = 1,8$ dSm⁻¹) e quatro repetições, perfazendo um total de 20 unidades experimentais. Cada parcela foi constituída de um vaso com uma planta, esquematizados no croqui da área experimental, conforme a Figura 1.

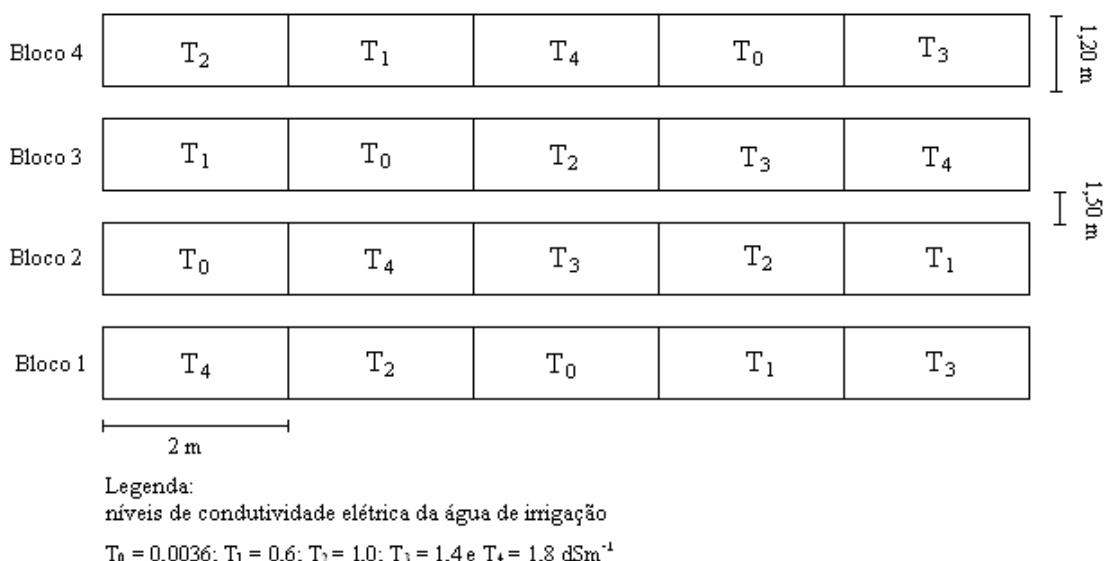


Figura 1. Croqui da área experimental, abrangendo os blocos e as parcelas com as respectivas dimensões e espaçamento do plantio.

Aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplantio (DAT), foram avaliados os efeitos da salinidade da água no desenvolvimento das plantas, onde foram medidas as variáveis de altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número total de frutos por planta (NTF).

O efeito dos diferentes tratamentos sobre o crescimento e produção do pimentão, foi analisado mediante aplicação de análise de variância, teste "F" e aplicou-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade para comparação das médias, com base em Costa Neto (1990). Por se tratar de fator quantitativo níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, utilizou-se o software SISVAR (FERREIRA, 2003) para realizar análise de regressão no sentido de explicar o efeito dos diferentes níveis de salinidade da água aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplantio de aplicação dos tratamentos. Também se utilizou na avaliação global dos modelos estimados, e para cada coeficiente do modelo de regressão estimado os testes "F" e "t de Student", respectivamente, com desdobramento dos graus de liberdade dos polinômios ortogonais (BUSSAB, 2008). Os modelos de regressão testados foram; linear, quadrático e cúbico. Escolheu-se o modelo mais adequado com base no significado físico e biológico, na significância dos coeficientes de regressão ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, e no maior coeficiente de determinação (R^2).

Resultados e Discussão

A análise de variância para as variáveis de crescimento e produção aos 30, 60, 90 e 120 dias após transplantio (DTA) da cultura do pimentão, está apresentada na Tabela 2, que possibilita verificar que o fator níveis de condutividade elétrica da água de irrigação afetou significativamente ($p < 1$ e 5%) as variáveis DC nas duas avaliações efetuadas (90 e 120 dias após transplantio - DAT). Os níveis de CE de irrigação aplicada não afetaram significativamente ($p < 5\%$) a componente de crescimento (altura da planta) e de produção (número total de frutos), nas quatro avaliações efetuadas, expressando, de uma maneira geral, a mesma tendência observada por outros autores (MEDEIROS, 1998; LEANDRO et al., 2003; SILVA et al., 2005; LIMA et al., 2007).

Tabela 2. Resumo da análise de variância das variáveis de crescimento e de produção obtidos no ensaio de avaliação aos 30, 60, 90 e 120 dias após transplantio (DAT) da cultura do pimentão, em função dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação

Fontes de variação	GL	Quadrados médios (QM)		
		AP (cm)	DC (mm)	NTF
30 DAT⁽¹⁾				
Níveis CE de irrigação	4	0,50 ns	0,008 ns	Ausente
Bloco	3	46,80 ns	0,017 ns	Ausente
Resíduo	12	23,61	0,006	Ausente
CV (%)		13,12	6,93	Ausente
Média geral		37,04	1,12	Ausente
60 DAT				
Níveis CE de irrigação	1	10,07 ns	0,000 ns	4,55 ns
Bloco	3	18,73 ns	0,025 ns	0,05 ns
Resíduo	6	23,10	0,006	1,55
CV (%)		11,99	6,28	13,91
Média geral		40,10	1,28	8,95
90 DAT				
Níveis CE de irrigação	1	7,18 ns	0,02 *	16,57 ns
Bloco	3	47,34 ns	0,03 *	48,33 ns
Resíduo	6	40,83	0,006	57,87
CV (%)		14,34	6,03	63,93
Média geral		44,55	1,33	11,90
120 DAT				
Níveis CE de irrigação	1	12,59 ns	0,027 **	15,07 ns
Bloco	3	45,01 ns	0,007 ns	31,20 ns
Resíduo	6	48,16	0,004	40,24
CV (%)		15,01	4,95	59,85
Média geral		46,22	1,42	10,60

GL - grau de liberdade; ns - não significativo; ** e * significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; CV= coeficiente de variância; ⁽¹⁾ 30 dias após o transplantio; AP - altura da planta; DC - diâmetro do caule, NF - número de folhas por planta e NTF - número total de frutos.

Segundo Mayer e Poljakoff (MAYBER, 1989) citado por Lima et al. (2005), o crescimento inicial das plântulas são estágios de desenvolvimento mais sensíveis à salinidade e independem da tolerância da planta mãe ao sal. Isto foi verificado no estudo quando se utilizou CE de 2,0 dS.m⁻¹, sendo que esta cultura em estágio de frutificação tolera até 1,5 dSm⁻¹ (LIMA et al., 2007).

Também observa-se pela Tabela 2, que de acordo com o resultado do teste F, o bloco não promoveu diferença estatística significativa ao nível de ($\alpha < 1$ e 5%) nas variáveis analisadas nas quatro avaliações efetuadas, ou seja, o controle local não influenciou as variáveis de crescimento e de produção da cultura do pimentão.

Na Figura 2 observa-se o comportamento da variável altura de planta (AP) para todos os tratamentos estudados, e aos 30, 60, 90 e 120 DAT do pimentão. Verifica-se que, a altura das plantas de pimentão diminuiu com o aumento da salinidade da água da irrigação. Apesar de AP ter diminuído com a salinidade da água ao longo dos quatro períodos estudados, os maiores valores foram observados na salinidade da água de irrigação de 0,6 dSm⁻¹. Segundo os pesquisadores Flowers (2004) e Lima et al. (2005), em condições de estresse salino, as plantas fecham os estômatos para reduzir a transpiração, tendo como consequência uma redução da taxa fotossintética, podendo esta alteração morfofisiológica, ser uma das principais causas na diminuição do crescimento nestas condições.

As curvas de regressão para AP, significativas ao nível de 1% de probabilidade apresenta-se na Figura 2. Conforme os estudos de regressão, os resultados de AP mostram uma resposta quadrática, indicando acréscimo da altura da planta à medida que se aumenta os níveis de salinidade da água de irrigação aplicada até o ponto 0,6 dSm⁻¹, para os quatro períodos de avaliações estudadas, havendo um decréscimo a partir desse limite.

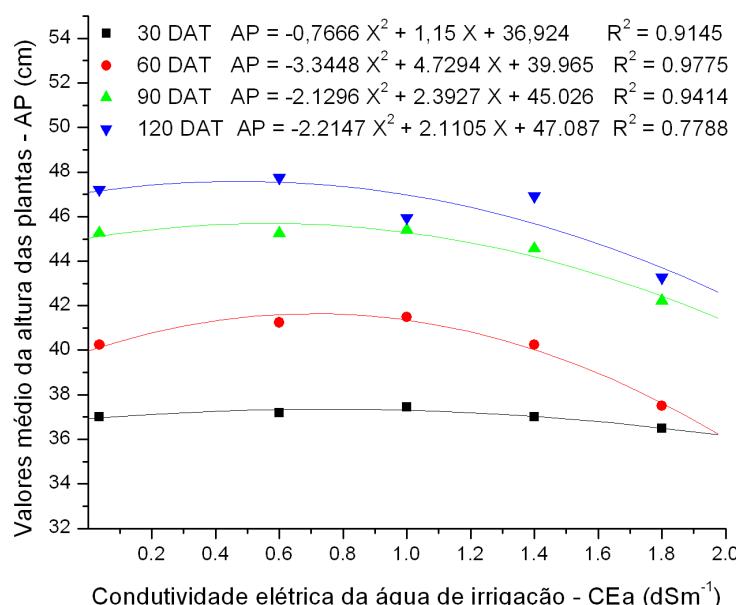


Figura 2. Valores médios dos dados da altura da planta (AP) aos 30, 60, 90 e 120 dias após transplantio do pimentão, em função os diferentes níveis de salinidade do solo.

O aumento dos níveis de CEa exerce efeitos significativos ($p<0,05$) na regressão sobre AP (Tabela 2) e através da regressão (Figura 2) verifica-se que, o modelo ao quais os dados melhor se ajusta foi o quadrático, onde se nota que altura da planta unitária foi influenciada pela salinidade da água de irrigação, sendo crescente até o nível $1,0 \text{ dSm}^{-1}$ aos 30 e 60 DAT; e partir deste nível houve decréscimo até o nível $1,8 \text{ dSm}^{-1}$, e aos 90 e 120 DTA crescentes até o nível $0,6 \text{ a } 1,0 \text{ dSm}^{-1}$ e partir deste nível, houve decréscimo até o nível $1,8 \text{ dSm}^{-1}$.

Lima et al. (2007), analisando os efeitos da produção de mudas de pimentão sob diferentes níveis de salinidade na água de irrigação ($0,00; 0,50; 1,00; 1,50$ e $2,00 \text{ dSm}^{-1}$) aplicados com razão de adsorção de sódio (RAS) 7,0, constataram que, a altura da planta apresentou resposta linear, tendo alcançado os valores médio de $5,41 \text{ cm}$, com o nível de salinidade na água de irrigação, correspondente a $2,0 \text{ dSm}^{-1}$.

Seguindo a mesma tendência da AP, para o número total de frutos (NTF), também apresentou uma resposta quadrática quando a cultura foi submetida aos diferentes níveis CEa estudados, sendo que o seu valor máximo foi atingido com $1,0 \text{ dSm}^{-1}$ aos 60 de avaliação e $1,8 \text{ dSm}^{-1}$ aos 90 e 120 de avaliações efetuadas (Figura 3). O número total de frutos se ajustou no modelo matemático polinomial quadrático, de modo que o aumento dos níveis de salinidade proporcionou maior NTF até o ponto ótimo $1,8 \text{ dSm}^{-1}$ aos 90 e 120 DAT, havendo um decréscimo a partir desse limite, e com ponto ótimo $1,0 \text{ dSm}^{-1}$ aos 60 DAT.

É provável que o decréscimo no número de frutos por planta em intervalo de $1,0$ a $1,8$ de dSm^{-1} sejam em decorrência da alteração no potencial osmótico reduzindo o consumo de água pelas plantas e, em consequência, nutrientes diminuindo, assim, o índice de pegamento dos frutos. Resultados semelhantes obtiveram Marques et al. (2012) e Oliveira et al. (2014) para a cultura da berinjela, além de outros autores para outras hortaliças, como tomate (MEDEIROS et al., 2012), pimentão (LEONARDO et al., 2008) e meloeiro (MELO et al., 2011).

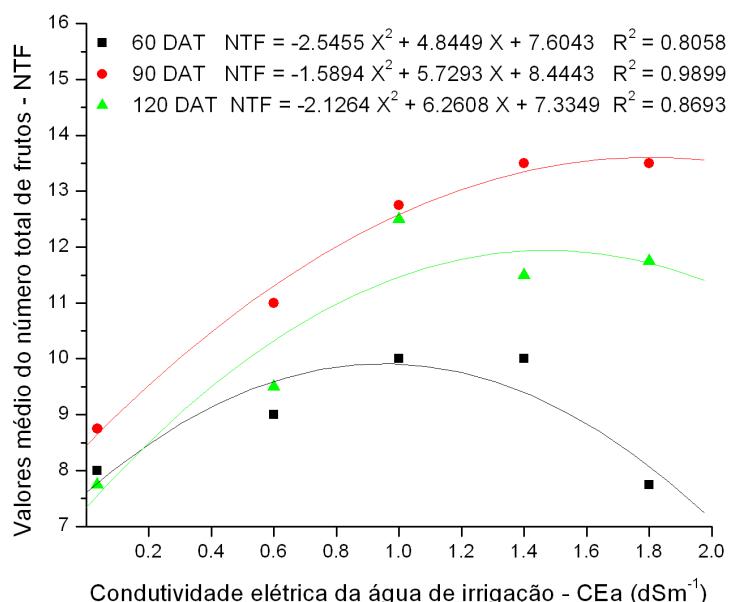


Figura 3. Valores médios dos dados do número total de frutos por planta (NTF), aos, 60, 90 e 120 dias após transplantio do pimentão, em função os diferentes níveis de salinidade do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Leandro et al. (2003), o qual obtiveram redução na produção da cultura do pimentão (*Capsicum annuum*, L.) híbrido Elisa cultivada em estufa, onde observaram que, para cada incremento de 1,0 dSm^{-1} ocorreu em média um decréscimo de 15% no peso médio de fruto. Outro autor que constatou resultados semelhantes, foi Medeiros et al. (2002), que verificaram redução no rendimento da cultura do pimentão cultivar "Luis" com o aumento da salinidade da água de irrigação.

O aumento do número total de frutos por planta em resposta à salinidade ocorreu em virtude da tolerância da cultura à salinidade visto que, de acordo com Lima et al. (2005) a cultura do pimentão é considerada uma espécie moderadamente tolerante à salinidade da água de irrigação apresentando salinidade limiar de 1,5 dSm^{-1} , apesar de tal tolerância variar em função de variações genéticas e condições ambientais.

Vale ressaltar que o tratamento que produziu a menor altura de planta foi o mesmo que apresentou a maior produtividade, os maiores valores de NTF, ou seja, provavelmente a planta ao priorizar o crescimento de frutos, diminuiu de certo modo a sua altura, como uma forma de economizar energia, com exceção aos 30 DAT. Aktas et al. (2006) e Lima et al. (2007), confirmam o efeito do incremento de sais na água de irrigação inibindo o crescimento em altura e diâmetro das plantas de pimentão.

Pode-se verificar, na Figura 4, o comportamento do variável diâmetro do caule (DC) para todos os tratamentos estudados. A análise de variância foi significativa para todos os tratamentos, havendo interação linear significativas em nível de 1% de probabilidade entre CEa, e os valores do DC aos 30, 60, 90 e 120 DAT.

Para o diâmetro do caule, observa-se que, o efeito foi linear, havendo decréscimo relativo a DC para cada incremento unitário de CEa de 0,0652, 0,0117, 0,1029 e 0,1126 dSm^{-1} , aos 30, 60, 90 e 120 DAT, respectivamente, refletindo o efeito negativo da salinidade sobre o DC (Figura 4). Também se verifica, que a aplicação da maior salinidade CEa (1,8 dSm^{-1}) provocou os menores valores médios do DC. Tal nível de CEa mostrou-se que, a cultura do pimentão não é tolerante a altos teores de sais e o maior incremento foi encontrado na testemunha. Alguns estudos confirmam os resultados apresentados, como o efeito do aumento na concentração salina na água causando redução no DC do pimentão (NASCIMENTO et al., 2015).

Os baixos valores do diâmetro do caule são decorrentes do efeito da exposição prolongada à salinidade. Vieira et al. (2016) estudando outra solanacea, o tomateiro, também observaram diminuição no DC sob condições de estresse salino (CEa variando de 0,3 e 4,5 dSm^{-1}), sendo a redução de 4,98% por incremento unitário da CEa.

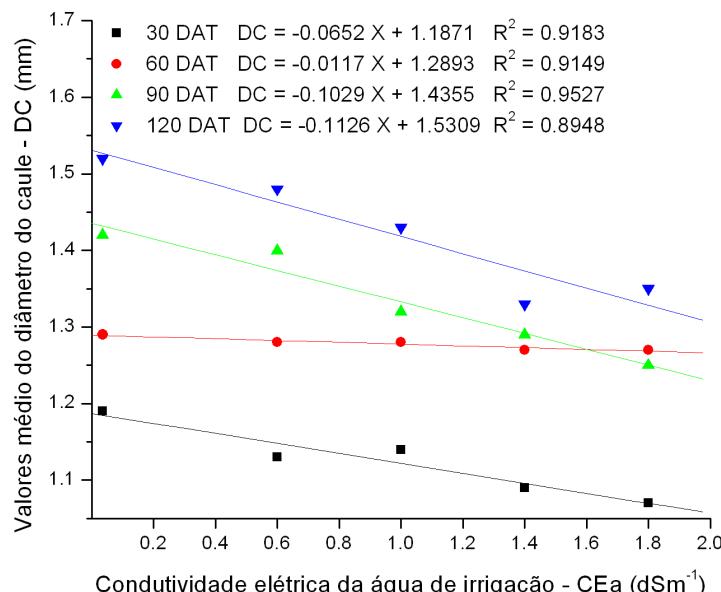


Figura 4. Valores médios dos dados do diâmetro do caule (DC), aos 30, 60, 90 e 120 dias após transplantio do pimentão, em função os diferentes níveis de salinidade da água (CEa).

Ainda na Figura 4, verifica-se, declínio acentuado do DC ao longo das colheitas, devido ao efeito da salinidade e, também, às características intrínsecas da cultura, e consequentemente, provocar modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas, comprometendo o crescimento, a floração, a qualidade do fruto, a redução do ciclo das culturas e produtividade (SILVA et al., 2009; NEVES et al., 2010; LIMA, et al., 2016).

Conclusão

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que, os diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (0,0036; 0,6; 1,0; 1,4 1,8 dSm⁻¹) não afetaram significativamente a característica de crescimento e produção; altura da planta e número total de frutos nas quatro avaliações estudadas;

Os níveis na salinidade da água de irrigação abaixo do valor de 0,6 dSm⁻¹, proporcionou a obtenção de melhores resultados para a altura da planta e valor acima de 1,4 dSm⁻¹ na salinidade da água, promoveram acréscimo na variável número total de frutos da cultura do pimentão. Já o diâmetro do caule, diminui linearmente com o acréscimo dos níveis de salinidade da água de irrigação aplicada;

A cultura do pimentão Mayara mostra – se eficiente sob salinidade na água na fase inicial para à variável altura da planta, isto mostra que para produção de mudas de pimentão é possível utilizar até 1,0 dSm⁻¹ na água de irrigação e tolerante sob níveis de salinidade altos em relação ao número de fruto total, por sua vez a variável diâmetro do caule não se mostra tolerância a valores altos de salinidade, causou grandes reduções no diâmetro do caule na planta.

Considerações Finais

Acredita-se que os efeitos da salinidade da água de irrigação no pimentão devem ser mais pesquisados, especialmente, devido ao crescimento e estabelecimento dos híbridos no mercado, em que as plantas se desenvolvem com diferentes níveis de salinidade da água, trazem prejuízos características dos frutos e produtividade para a cultura do pimentão.

Referência

- AKTAS, H.; ABAK, K.; CAKMAK, I. Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Scientiae Horticulturae*, v.110, n.3, p.260-266, 2009.
- ANDRADE, F. H. A.; ARAÚJO, C. S. P.; BATISTA, W. F.; NETO, J. A. Q.; DANTAS, E. E. M.; ANDRADE, R. Comportamento da cultura do pimentão submetido a diferentes níveis de salinidade. *Biofarm*, v.12, n.3, p.1-10, 2016.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas. Monitoramento Pluviométrico. 2015. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramentopluvio.php>. Acesso em: 20 de agosto de 2015.

- ARAGÃO, V. F.; FERNANDES, P. D.; FILHO, R. R. G.; CARVALHO, C. M; FEITOSA, H. O.; FEITOSA, E. O. Produção e eficiência no uso de água do pimentão submetido a diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.6, n.3, p.207-216, 2012.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. Estatística básica. 5a ed. São Paulo: Saraiva, 2003. 526p.
- CARDOSO, M. O.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, A. P.; SOUZA, A. P. Eggplant growth as affected by bovinemanure and magnesium thermophosphate rates. *Scientia Agricola*, v.65, n.1, p.77-86, 2008.
- CARVALHO, J. A.; REZENDE, F. C.; AQUINO, R. F.; FREITAS, W. A.; OLIVEIRA, E. C. Análise produtiva e econômica do pimentão-vermelho irrigado com diferentes lâminas, cultivado em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.6, p.569-574, 2011.
- COSTA NETO, P. L. O. Estatística. 10 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1990. 264p.
- DIAS, N. S.; GHEYI, H. R.; DUARTE, S. N. Prevenção, manejo e recuperação dos solos afetados por sais. Piracicaba, SP: USP. ESALQ, 2003.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande, PB: UFPB, 1994. 306p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FAO. Faostat – Statistics Database. Disponível em <<http://www.fao.org/statistics/en/>>. Acesso em: 02/09/2017.
- FERREIA, D. F. Sisvar: Um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v.6, p.36-41, 2008.
- FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, v.55, n.396, p.307-319, 2004.
- HALFELD-VIEIRA, B. de A.; NECHET, K. de L.; PEREIRA, P. R. V. da S.; MOURÃO JÚNIOR, M. Aspectos agronômicos de híbridos de pimentão em cultivo protegido de Roraima. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2005. 15p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat>>. Acesso em: 05 de junho de 2017.
- JÚNIOR, B. C. L.; LIMA, V. L. A.; FARIA, M. S. S.; NETO, J. D.; GUIMARÃES, J. P.; LIMA, M. G. M.; ALVES, A. S. Classificação da água de irrigação em uma área cultivada com fruticultura irrigada. *Revista Espacios*, v.38, n.3, p.1-11, 2016.
- LEONARDO, M.; BROETTO, F.; BÔAS, R. L. V.; ALMEIDA, R. S.; GODOY, L. J. G.; MARCHESE, J. A. Estresse salino induzido em plantas de pimentão e seus efeitos na produção de frutos. *Horticultura Brasileira*, v.21, n.2, p.30-38, 2003.
- LEONARDO, M.; BROETTO, F.; VILLAS-BÔAS, R. L.; MARCHESE, J. A.; TONIN, F. B.; REGINA, M. Estado nutricional e componentes da produção de plantas de pimentão conduzidas em sistema de fertirrigação durante indução de estresse salino em cultivo protegido. *Bragantia*, v.67, p.883-889, 2008.
- LIMA, G. S.; SANTOS, J. B.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; PEREIRA, R. F. P. Irrigação com águas salinas e aplicação de prolina foliar em cultivo de pimentão 'All Big'. *Com. Sci.*, v.7, n.4, p.513-522, 2016.
- LIMA, P. A. L.; CAMPANHARO, M.; ESPINDULA, M. C.; JUNIOR, S. J. A.; COSTA, J. V. T. DA; SIVA, G. B. Produção de mudas de pimentão sob diferentes níveis de salinidade na água de irrigação. *Engenharia na Agricultura*, v.15, n.1, p.30-38, 2007.
- LIMA, P. A.; CAMPANHARO, M.; ESPINDULA, M. C.; COSTA, J. V. T.; ARAÚJO, F. A. S.; LIRA JUNIOR, M. A. Crescimento inicial do pimentão submetido a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 45, 2005, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2005, p.20.
- LIRA, V. M.; OLIVEIRA, F. M.; DANTAS, R. T.; SOUZA, W. M. Alterações da precipitação em municípios do estado de Pernambuco. *Engenharia Ambiental*, v.3, n.1, p.52-61, 2006.
- MAGGI, M. F.; KLAR, A. E.; JADOSKI, C. J.; ANDRADE, A. R. S. Produção de variedades de alface sob diferentes potenciais de água no solo em ambiente protegido. *Irriga*, v.11, n.3, p.415-427, 2006.
- MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. Adubos e Adubações. São Paulo: Nobel, 2002. 200p.
- MARQUES, D. J.; BROETTO, F.; LOBATO, A. K. S.; SILVA, E. C.; CARVALHO, J. G.; ÁVILA, F. W.; ALVES, G. A. R.; ANDRADE, I. P. Photosynthetic pigments, nitrogen status, and flower behavior in eggplant exposed to different sources and levels of potassium. *Scientific Research and Essays*, v.8, p.67-74, 2012.

- MEDEIROS J. F. de; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; SILVA Jr, M. J.; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.469-472, 2003.
- MEDEIROS, J. F. de. Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão. 152f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 1998.
- MEDEIROS, J. F.; CRUCIANI, D. E.; FOLEGATTI, M. V.; MIRANDA, N. O. Tolerância do pimentão à salinidade sob cultivo protegido. Engenharia Agrícola, v.22, n.2, p.200-210, 2002.
- MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N.; UYEDA, C. A.; SILVA, E. F. F.; MEDEIROS, J. F.. Tolerância da cultura do tomate à salinidade do solo em ambiente protegido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p.51-55, 2012.
- MELO, T. K.; MEDEIROS, J. F. DE; ESPÍNOLA SOBRINHO, E.; FIGUEIRÊDO, V. B.; PEREIRA, V. C.; CAMPOS, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.1235-1242, 2011.
- MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist, v.167, n.3, p.645-663, 2005.
- NASCIMENTO, I. B.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. S. V.; LIMA, B. L. C.; SILVA, J. L. A. Desenvolvimento inicial da cultura do pimentão influenciado pela salinidade da água de irrigação em dois tipos de solos. Agropecuária Científica no Semi-Árido, v.11, n.1, p.37-43, 2015.
- NASCIMENTO, W. M. Produção de Sementes de Hortaliças - Volume I. 1. ed., v. 1, 2014, 315p.
- NETO, H. S. L.; NOGUEIRA, S. O.; SILVES, T. Análise do crescimento inicial do pimentão submetido a diferentes níveis de salinidade. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, v.8, n.14, 2012.
- NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F. DE; TEIXEIRA, A. DOS S.; COSTA, C. A. G.; GHEYI, H. R. Monitoring soil coverage and yield of cowpea furrow irrigated with saline water. Revista Ciência Agronômica, n.41, p.59-66, 2010.
- OLIVEIRA, F. DE A.; CAMPOS, M. DE S.; OLIVEIRA, F. R. A.; OLIVEIRA, M. K. T. DE; MEDEIROS, J. F. DE; MELO, T. K. DE. Desenvolvimento e concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar da berinjela em função da salinidade. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.6, n.1, p.37-45, 2011.
- OLIVEIRA, F. A; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LINHARES, P. S. F.; MEDEIROS, A. M.A; OLIVEIRA, M. K. T. Interação entre salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada na cultura da berinjela. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient., v.18, n.5, p.480-486, 2014
- PTDRS. Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável do Agreste Meridional de Pernambuco. Secretaria de Desenvolvimento Territorial e Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2011. 101p.
- QUEIROGA, R. C. F.; ANDRADE NETO, R. C.; NUNES, G. H. S.; MEDEIROS, J. F.; ARAÚJO, W. B. M. Germinação e crescimento inicial de híbridos de meloeiro em função da salinidade. Horticultura Brasileira, v. 24, n.3, p.315-319, 2006.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. The use of saline waters for crop production. Rome: FAO, Irrigation and Drainage Paper, 48, 1992. 133p.
- SANTANA, M. J. DE; CARVALHO J. DE A.; FAQUIN, V.; QUEIROZ, T. M. de. Produção do pimentão (*Capsicum annuum* L.) irrigado sob diferentes tensões de água no solo e doses de cálcio. Ciência Agrotécnica, v.28, n.6, p.1385-1391, 2004.
- SANTANA, M. J. DE; CARVALHO J. DE A.; SILVA É. L. DA; MIGUEL D. DA S. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Ciência Agrotécnica, v.27, n.2, p.443-450, 2003.
- SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. Revista Agrotecnologia, v.7, n.1, p.33-41, 2016.
- SILVA, E. F. F.; CAMPECHE, L. F. DE S. M.; DUARTE, S. N.; FOLEGATTI, M. V. Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e de salinidade para o pimentão cultivado em estufa. Magistra, v.17, n.2, p.58-63, 2005.
- SILVA, E. M.; SOUZA LIMA, C. J. G. S.; DUARTE, S. N.; BARBOSA, F. S.; MASCHIO, R. Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características da berinjela cultivada em ambiente protegido. Rev. Ciênc. Agron., v.44, n.1, p.150-158, 2013.
- SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; LIMA, C. S.; VIÉGAS, R. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-manso submetido à salinidade. Pesquisa Agropecuária Brasileira, n.44, p.437-445, 2009.
- SILVA, I. N; FONTES, L. O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade de água na irrigação: Revisão de literatura. Agropecuária Científica no Semi-Árido, v.7, n.3, p.01-15, 2011.

- SILVA, J. L. A.; ALVES, S. S. V.; NASCIMENTO, L. B.; MEDEIROS, J. F.; TARGINO, A. J. O.; LINHARES, P. Teores foliares no pimentão submetido à estresse salino em diferentes solos. Agropecuária Científica no Semi-Árido, v.10, n.2, p.77-82, 2014.
- SUGUINO, H. H.; BARROS, J. C. Dimensionamento de sistema de drenagem. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicações. Fortaleza, INCT Sal, p.43-59, 2010.
- VIEIRA, I. G. S.; NOBRE, R. G.; DIAS, A. S.; PINHEIRO, F. W. A. Cultivo do tomateiro cereja irrigado com águas salinizadas e adubação nitrogenada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental n.20, p.27-33, 2016.
- VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (Ed.). Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, p.103-132, 1994.

FLORÍSTICA, FITOSSOCIOLOGIA E INVENTÁRIO FLORESTAL VOLUMÉTRICO EM UM FRAGMENTO DE CERRADO DA BAHIA, BRASIL

¹Frederico Vasconcelos Ribeiro

²Gerson dos Santos Lisboa

³Luciano Cavalcante de Jesus França

⁴Vagner Alex Pesck

⁵Clebson Lima Cerqueira

⁶Felipe Almeida da Costa

⁷Thiago Floriani Stepka

⁸Dirceu Lúcio Carneiro de Miranda

**¹Ms. em Agronomia Tropical - UFAM, Diretor Executivo da RM Agroflorestal, Itabuna, BA,
fredericoribeiro@rmagroflorestal.com.br**

**²Dr. em Engenharia Florestal - UFSM, Docente da UFSB/Manejo Florestal - Campus Jorge Amado, Itabuna, BA,
gerson.lisboa@gmail.com**

**³Ms. em Ciência Florestal - UFVJM, Doutorando Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFLA,
Lavras, MG, lucianodejesus@florestal.eng.br**

**⁴Dr. Eng. Florestal - UFPR, Docente Universidade Estadual do Centro Oeste/Sensoriamento Remoto -Irati, PR,
vapesck@unicentro.br**

**⁵Ms. em Ciências Florestais e Ambientais - UFMT, Doutorando em Manejo Florestal no Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, clebsonlima10@hotmail.com**

**⁶ Estudante do Curso Técnico em Agropecuária - Instituto Federal de Uruçua,
felipecosta@rmagroflorestal.com.br**

**⁷Dr. Eng. Florestal - UFPR, Docente Universidade Estadual do Estado de Santa Catarina/Manejo Florestal - Lages,
SC, tfstepka@yahoo.com.br**

**⁸Dr. em Manejo de Florestas Tropicais - INPA, Docente da UFMT/Engenharia Florestal - Campus de Sinop, MT,
mirandaufmt@hotmail.com**

Introdução

O domínio Cerrado é considerado a segunda maior formação vegetal brasileira em extensão, possui uma das maiores diversidades florísticas, com aproximadamente 12.000 espécies vasculares de plantas superiores nativas (MENDONÇA et al., 2008). Este Bioma detém alta biodiversidade contida nos seus diferentes tipos fitofisionômicos, agrupados nas formações florestais, savânicas e campestres (RIBEIRO & WALTER, 2008). Grandes áreas de vegetação nativas deste domínio fitoecológico estão sendo substituídos ou transformados em culturas agrícolas, florestais ou ainda, atividades pecuárias (DRUMMOND et al., 2005). O gerenciamento da vegetação é fundamentado em produção contínua e sustentada por um ecossistema florestal, a fim de alcançar o equilíbrio entre o produto e a produção ecológica (WAKEEL et al., 2005).

Nas atividades florestais e nas avaliações ambientais relativas aos recursos florestais o inventário florestal é sempre uma técnica importante e imprescindível ao bom conhecimento do potencial desses recursos florestais existentes em uma determinada área (SANQUETTA et al., 2014). Esses recursos, tanto de florestas plantadas ou nativas, possuem as funções de produção e proteção, exigindo informações precisas e fidedignas para conservar e manejar esses recursos, o que só é possível por meio da realização de um inventário florestal de qualidade (SANQUETTA et al., 2009). Dessa forma, o inventário florestal é uma atividade que faz uso dos fundamentos da teoria da amostragem, a fim de determinar ou estimar uma dada característica, seja quantitativa ou qualitativa, de uma amostra (PÉLLICO NETTO & BRENA, 1997).

Os inventários florestais podem ter como objetivo a estimativa de variáveis quantitativas da floresta (volume, área basal, diâmetro médio quadrático, altura média, etc.) podendo, no caso de florestas nativas, abrangerem outras características (densidade, dominância, frequência, valor de importância, posição sociológica, etc.) que descrevem a estrutura da floresta, e ainda contemplam variáveis qualitativas como estado fitossanitário, qualidade e valoração dos fustes (SCOLFORO & MELLO, 2006).

O Inventário Florestal por amostragem, é o método mais adequado de obtenção das estimativas dos parâmetros de uma comunidade ou fragmento florestal. A amostra, por sua vez, representa o conjunto de elementos extraído da comunidade ou população, fundamentando-se em métodos estatísticos. Mesmo com a realização de diversos estudos, ainda há lacunas de informações ecológicas básicas sobre o bioma Cerrado (FELFILI et al., 1993).

Neste contexto, o objetivo do trabalho é obter informações da composição florística, da volumetria por hectare e da área total, bem como obter parâmetros fitossociológicos de componentes arbóreos da área complementar de intervenção direta da Fazenda Santa Bárbara, Itajuípe, Bahia, Brasil.

Material e Métodos

Área de estudo

A área de estudo deste trabalho localiza-se no município de Itajuípe, Estado da Bahia, Brasil (Figura 1).

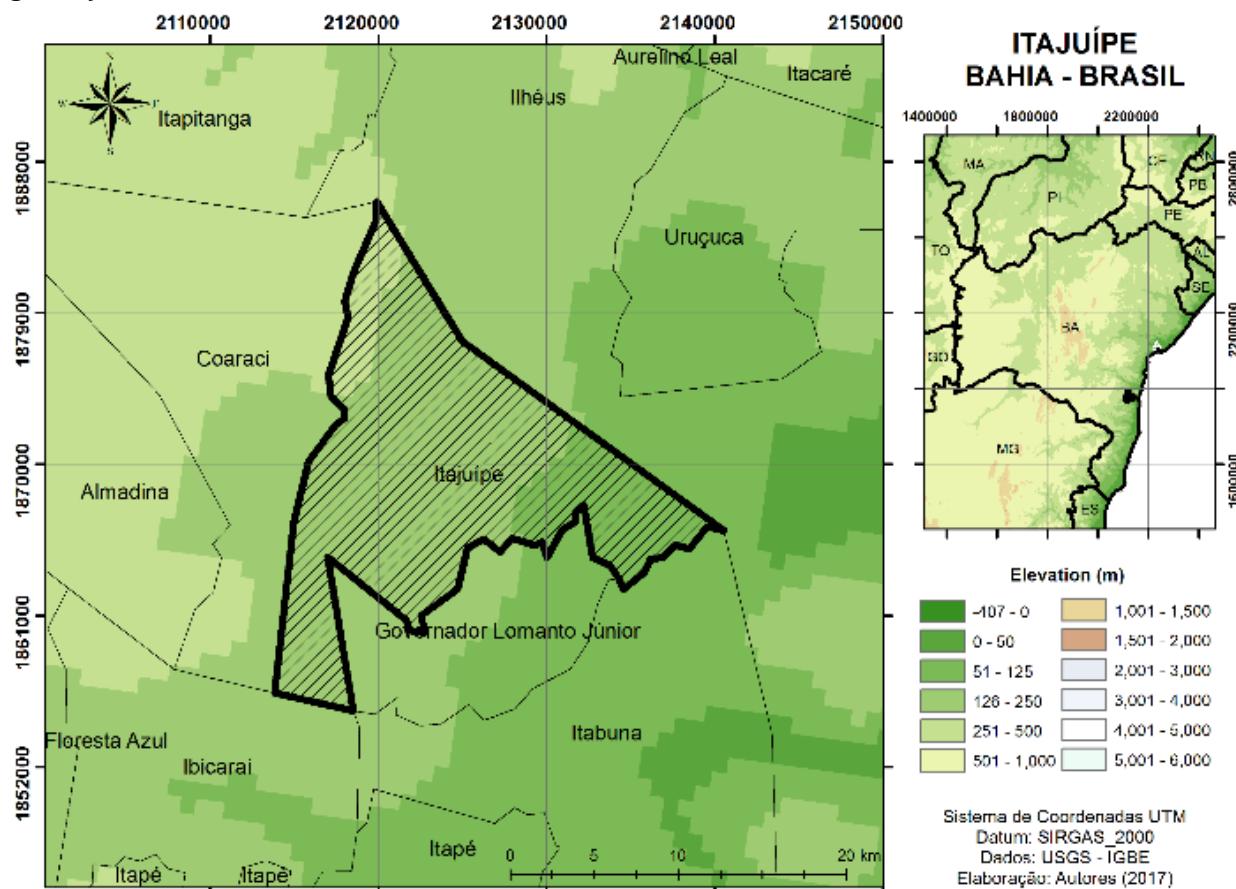


Figura 1. Mapa hipsométrico de localização do município de Itajuípe, BA.

Florística e Inventário Florestal

Os estudos de campo foram realizados no período de 27 de julho de 2016 a 23 de setembro de 2016. A área analisada apresenta aproximadamente 34 hectares. O sistema de inventário utilizado foi a 100% da vegetação.

Dados coletados

Na área de estudo foram mensuradas as seguintes variáveis, seguindo os critérios definidos no Protocolo da Rede de Inventário Florestal (RMFC, 2005):

- *CAP* - circunferência a altura do peito, mensurada a 1,30m da superfície do solo, utilizando-se defita métrica com aproximação de 0,5cm;
- *Altura* - mensurada com régua graduada com aproximação de 0,10m;
- *Identificação* - todas as espécies medidas foram identificadas com placa numerada;
- *Espécies* - foram identificadas em campo com o auxílio de um parabotânico com conhecimento das espécies vegetais da região, onde posteriormente foi identificado o nome científico com o

auxílio de bibliografia especializada como Lorenzi (1992), Silva Junior (1984), Martins (1979), Netto e Brenda (1993), além de consulta a herbário quando necessário.

Critérios de medição adotados

- Todos os indivíduos vegetais com CAP maior que 45cm;
- Para os troncos bifurcados à altura do peito (1,30m), mediu-se a circunferência abaixo da bifurcação;
- Para os troncos bifurcados abaixo da altura do peito (1,30m), considerou-se dois troncos sendo registrados duas medidas de diâmetro com apenas uma área basal;
- Quando as árvores eram ramificadas próximo da superfície do solo, considerou-se os troncos como indivíduos distintos, sendo mensurado independentemente a circunferência de cada uma das ramificações;
- Quando houve deformidade no tronco à altura do peito, mediu-se a circunferência acima da mesma.

A transformação do CAP para DAP foi realizada a partir da tabulação dos dados. Todas as parcelas foram georreferenciadas com o auxílio de aparelho GPS, com obtenção de pontos de coordenadas nos locais de amostragem da flora. Foi adotada a projeção em UTM e Datum Horizontal SIRGAS 2000, sendo esses parâmetros também utilizados na elaboração da planta planimétrica e o mapeamento da distribuição espacial dos componentes arbóreos da área de estudo.

O processamento ou computação dos dados de campo foi realizado mediante o *Software Mata Nativa 2*.

Para classificação da tipologia vegetal presente ao longo da área de intervenção direta do empreendimento utilizou como referência o Geobahia produzida pela antiga Diretoria de Desenvolvimento Florestal - DDF (DDF, 1998) e imagem de satélite, com intuito de padronizar os diferentes sistemas de classificação de vegetação existentes na Bahia

Inventário Florestal volumétrico

Determinação do volume

Para obter o volume das árvores, utilizou-se o modelo matemático de Spurr ajustado para a região em trabalhos anteriores (JORGE, 1982; ZUGAIB et al., 2016). A cubagem rigorosa foi obtida pelo método de Smalian descrito em Machado e Figueiredo Filho (2006).

Equações para estimativas Volumétricas

Para o cálculo do volume utilizou-se a Equação 1 ajustada de Spurr (ZUGAIB et al., 2016):

$$V = 0,10653181 + 0,0000533772 \cdot (Dap^2) \cdot ht \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: dap = Diâmetro à altura do peito; ht = Altura total.

Para o cálculo do volume cilíndrico utilizou-se a Equação 2.

$$V_{\text{cil}} = \pi \cdot (dap^2) \cdot ht / 40000 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: $\pi = 3,14...$; dap = Diâmetro à altura do peito; ht = Altura total.

Fitossociologia

Estrutura Horizontal

A estrutura horizontal foi representada por parâmetros que indicam a ocupação do espaço horizontal da floresta pelas diferentes espécies. Para representá-la foram utilizados valores do número total de árvores e número de árvores por hectare e dominância.

Densidade

É o parâmetro quantitativo que expressa o número de indivíduos de cada espécie na área total da amostragem. Essa densidade avalia o grau de participação das diferentes espécies identificadas na

comunidade vegetal. Este índice refere-se ao número de indivíduos de cada espécie dentro de uma associação vegetal por unidade de superfície e foi realizado pela Equação 3.

$$DA = \frac{n_i}{ha} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que: DA: Densidade Absoluta; ni: n° total de indivíduos amostrados de cada espécie por área e; ha: hectare.

Densidade Relativa

Indica o número de indivíduos de uma determinada espécie em relação ao total de indivíduos de todas as espécies elaborado pela Equação 4.

$$DR = \frac{n/ha}{N/ha} \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: DR: Densidade Relativa (%); N: n° total de indivíduos amostrados, de todas as espécies do levantamento; n: n° total de indivíduos amostrados de cada espécie por unidade de área; ha: hectare.

Dominância

Dominância Absoluta

Calcula-se a soma das áreas seccionais dos indivíduos pertencentes a uma mesma espécie por unidade de área calculada pela equação 5.

$$DoA = \Sigma g/Ha \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que: DoA = dominância absoluta em cm²/ha ou m²/ha; gi = área seccional de cada espécie.

Dominância Relativa

Indica a porcentagem da área basal de cada espécie que compõe a área basal total de todas as árvores de todas as espécies, por unidade de área obtida pela Equação 6.

$$DoR = \frac{g/ha}{G/ha} \times 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que: DoR: dominância relativa (%); G: Área basal total de todas as espécies encontradas, por unidade de área; g: Seção transversal.

Índice do Valor de Cobertura (IVC)

Este parâmetro corresponde ao somatório dos parâmetros relativos de densidade e dominância, informando a importância da ocupação da superfície do solo por cada espécie em relação ao povoamento florestal calculada pela Equação 7.

$$IVC = DR + DoR \quad (\text{Eq. 7})$$

Valor de Importância (IVI)

Este parâmetro corresponde ao somatório dos parâmetros relativos de densidade, dominância e frequência das espécies amostradas, informando a importância ecológica da espécie em termos de distribuição horizontal na comunidade estudada obtida pela Equação 8.

$$IVI = DR + FR + DoR \quad (\text{Eq. 8})$$

Estrutura Vertical - Posição Sociológica

A análise da estrutura vertical permite avaliar a importância da espécie considerando a sua participação nos estratos verticais que o povoamento apresenta. Os estratos verticais encontrados na vegetação podem ser divididos em: espécies dominantes, intermediárias e dominadas. Aquelas espécies

que possuírem um maior número de indivíduos representantes em cada um desses estratos certamente apresentarão uma maior importância ecológica no povoamento em estudo.

Para estudar a posição sociológica de cada espécie na comunidade, o povoamento foi dividido em três estratos de altura total (h_j) segundo o seguinte procedimento de Souza e Leite, (1993) conforme as equações 9, 10 e 11.

$$\text{Estrato Inferior: árvore com } (\bar{h}_j - 1.S) \leq h_j < (\bar{h}_j + 1.S) \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\text{Estrato Médio: árvore com } h_j < (\bar{h}_j - 1.S) \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\text{Estrato Superior: árvore com } h_j \geq (\bar{h}_j + 1.S) \quad (\text{Eq. 11})$$

Em que: h : média das alturas dos indivíduos amostrados; S : desvio padrão das alturas totais (h_j); h_j : altura total da j -ésima árvore individual; Com a estratificação, as estimativas de Posição Sociológica Absoluta (PSA_i) e Relativa (PSR_i), por espécie são obtidas pela solução das expressões (FINOL, 1971).

Resultados e Discussão

A Figura 2 observa-se o registro fotográfico de algumas das atividades realizadas no inventário florestal.



Figura 2. Amostragem dos indivíduos (Registro fotográfico realizado em campo).

Vegetação da Área de Influência

Observa-se que a vegetação da área de influência do empreendimento está inserida no domínio fitogeográfico do Bioma Mata Atlântica, sendo a fitofisionomia classificada como área de Mata Atlântica.

Composição Florística

Os resultados com relação à composição florística estão apresentados na Tabela 1. O levantamento fitossociológico da área de intervenção direta do empreendimento apresenta 1854 indivíduos,

pertencentes a 17 famílias botânicas e 41 espécies. As famílias que mais contribuíram para o número de espécies amostradas foram a Fabaceae com 857 indivíduos amostrados, Euphorbiaceae com 291 indivíduos amostrados e Moraceae com 245 indivíduos amostrados. Estas 3 famílias juntas correspondem por 75,13% do total de indivíduos amostrados (Tabela 2).

A família Fabaceae representa 46,22% do total de indivíduos (Tabela 2), com 12 espécies, com destaque para Eritrina (*Erythrina poeppigiana*), que apresenta número de exemplares (270) (Figura 5c) com 14,56% do total de indivíduos amostrados. As outras 16 famílias contribuem com 53,78% do total de espécies amostradas (Tabela 2).

Tabela 1. Composição florística, nome científico, nome popular família

Nome Científico	Nome Popular	Família
<i>Albizia polyccephalum</i> (Benth.) Killip ex Record	Monzê	Fabaceae
<i>Alchornia iricurana</i> Casar.	Lava Prato	Euphorbiaceae
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Cajueiro	Anacardiaceae
<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Jaqueira	Moraceae
<i>Bauhinia longifolia</i> (Bong.) Steud.	Pata de Vaca	Fabaceae
<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	Castanha do Pará	Lecythidaceae
<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	Jequitibá	Lecythidaceae
<i>Caryocar edule</i> Casar.	Pequi-preto	Caryocaraceae
<i>Cecropia glaziovii</i> Snethl.	Embauba	Cecropiaceae
<i>Cedrela</i> sp.	Cedro	Meliaceae
<i>Copaifera langsdorfii</i> Desf.	Pau Óleo	Fabaceae
<i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K. Schum.	Quina	Rubiaceae
<i>Eriotheca candolleana</i> (K. Schum.) A. Robyns	Imbiruçu	Bombacaceae
<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O. F. Cook.	Eritrina	Fabaceae
<i>Eugenia jambolana</i> Lam.	Jambolão	Myrtaceae
<i>Ficus salzmanniana</i>	Gameleira	Moraceae
<i>Gallesia scorododendrum</i> Casar.	Pau Alho	Phytolacaceae
<i>Genipa americana</i> L.	Jenipapo	Rubiaceae
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Mutamba	Sterculiaceae
<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.	Seringueira	Euphorbiaceae
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	Fabaceae
<i>Inga edulis</i> Mart.	Engazeira	Fabaceae
<i>Jacaranda obovata</i> Cham.	Carobinha	Bignoniaceae
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Sapucaia	Lecythidaceae
<i>Mangifera indica</i> L.	Mangueira	Anacardiaceae
<i>N.I</i>	N.I	Fabaceae
<i>N.I</i>	Dandá	Fabaceae
<i>Nectandra</i> sp.	Louro	Lauraceae
<i>Neea</i> spp.	Farinha Seca	Nyctaginaceae
<i>Pagamea guianensis</i> Aubl.	Abiu-do-mato	Rubiaceae
<i>Plathymenia foliolosa</i> Benth.	Vinhático	Fabaceae
<i>Psidium</i> sp.	Araçá	Myrtaceae
<i>Pterocarpus rhori</i> Vahl	Pau Sangue	Fabaceae
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Brauna	Anacardiaceae
<i>Schizolobium parahyba</i>	Pinho	Fabaceae
<i>Senna multijuga</i> (L. C. Rich.) H. S. Irwin & Barneby	Cobi	Fabaceae
<i>Sloanea obtusifolia</i> (Moric.) K. Schum.	Gindiba	Elaeocarpaceae
<i>Spondias mombin</i> L.	Cajá	Anacardiaceae
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	Caraiba	Bignoniaceae
<i>Tabebuia</i> sp.	Pau Darco	Bignoniaceae
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Pau Pombo	Anacardiaceae

N.I: Indivíduo não identificado.

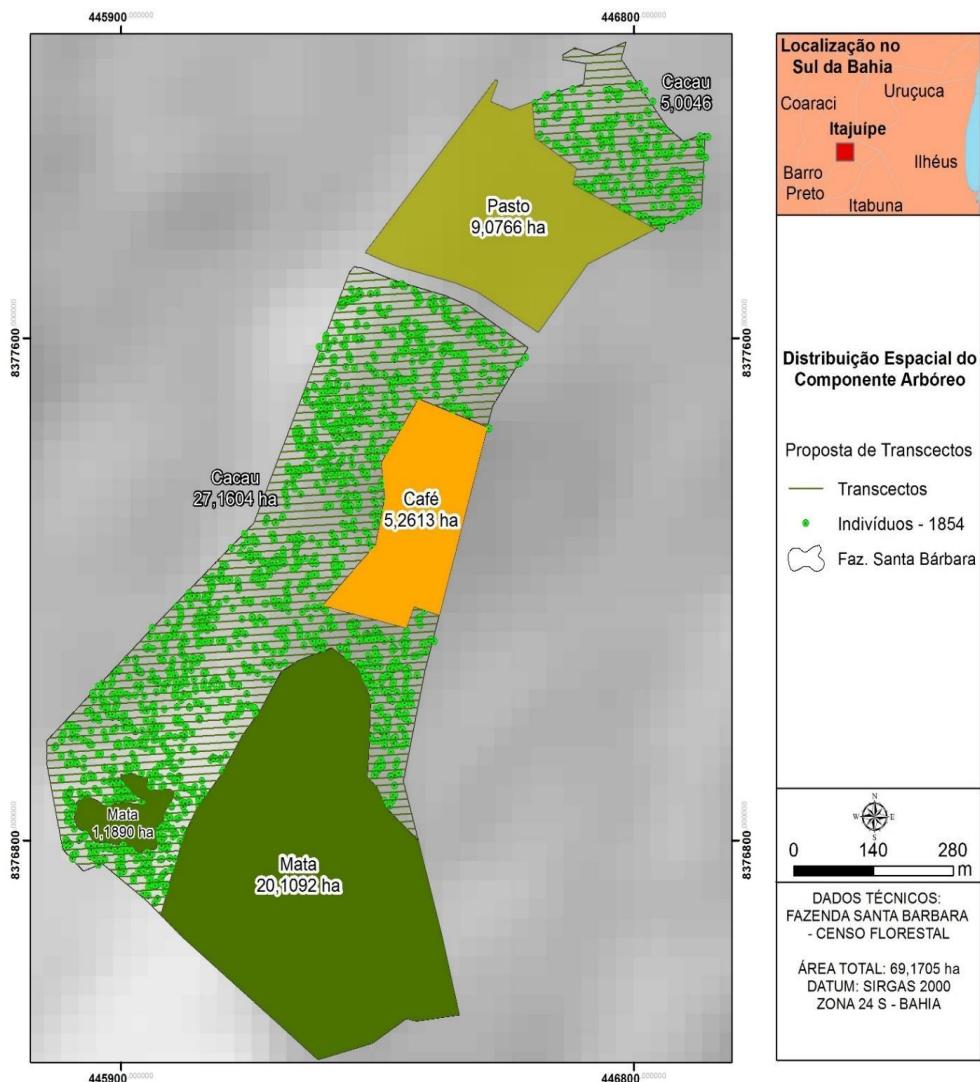


Figura 3. Distribuição espacial de todos indivíduos arbóreos quantificados na área de estudo.

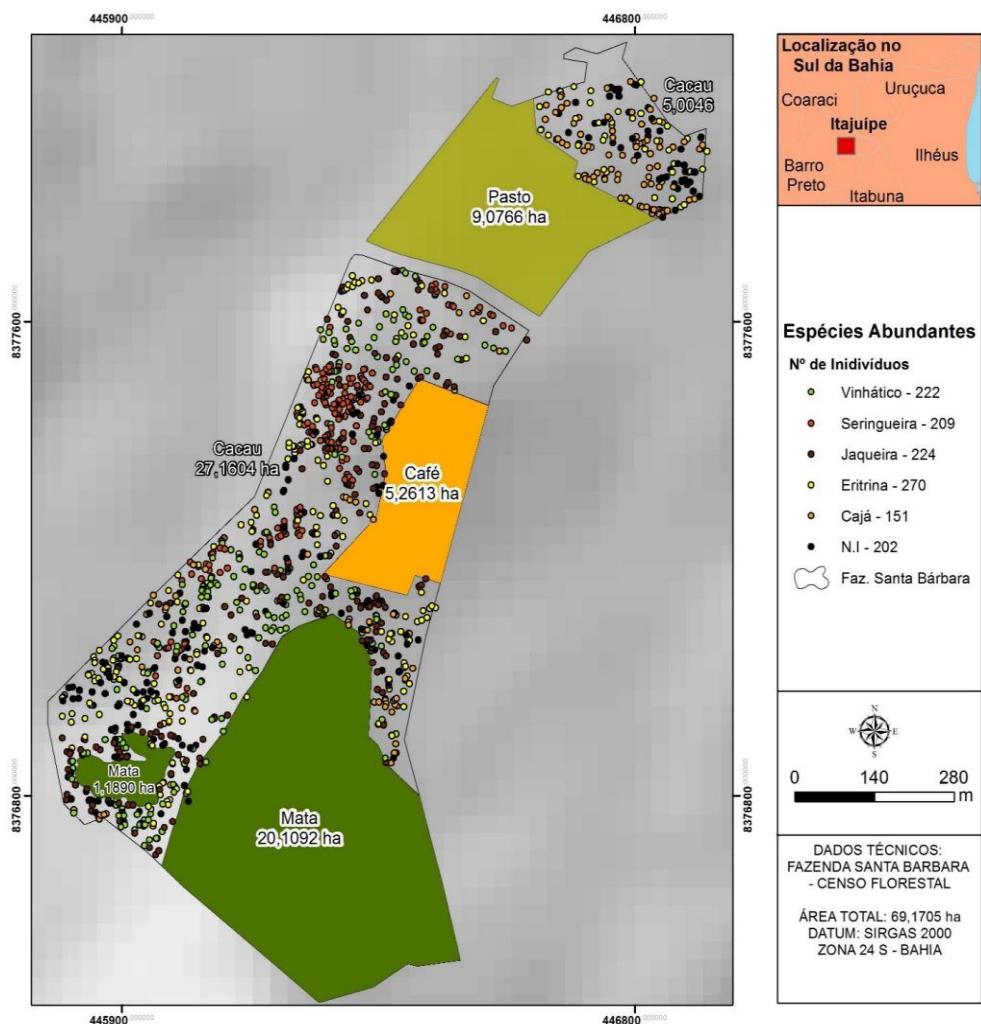


Figura 4. Distribuição espacial das espécies abundantes na área de estudo.

Tabela 2. Composição florística de família

Família	Nº Indivíduos	% Total
Fabaceae	857	46,22
Euphorbiaceae	291	15,70
Moraceae	245	13,21
Anacardiaceae	228	12,30
Meliaceae	40	2,16
Lauraceae	32	1,73
Lecythidaceae	32	1,73
Myrtaceae	28	1,51
Rubiaceae	27	1,46
Cecropiaceae	20	1,08
Nyctaginaceae	19	1,02
Phytolacaceae	15	0,81
Bignoniaceae	7	0,38
Bombacaceae	6	0,32
Sterculiaceae	3	0,16
Caryocaraceae	2	0,11
Elaeocarpaceae	2	0,11

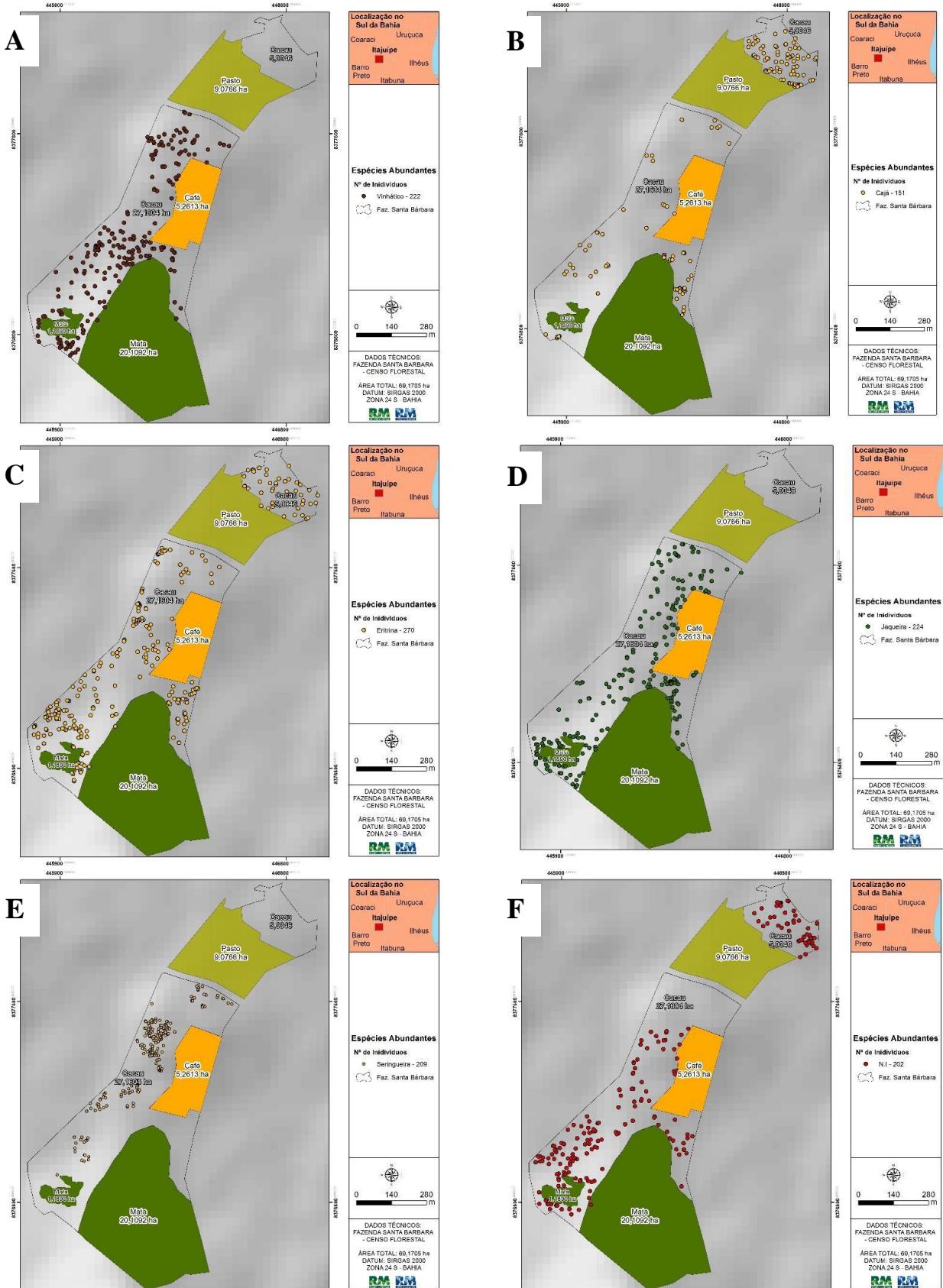


Figura 5. Abundância de espécies para o grupo das mais ocorrentes, sendo elas: Vinhático com 222 indivíduo (A); 151 indivíduos de Cajá (B); Eritrina 270 indivíduos (C); Jaqueira com 224 indivíduos (D); Seringueira com 209 indivíduos (E) e N.I com 202 (F).

Estrutura Fitossociológica**Densidade Absoluta (DA)**

Para a densidade absoluta, o destaque vai para as espécies Eritrina (*Erythrina poeppigiana*) com 9.000 indivíduos por hectare, Jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) com 7.467 indivíduos por hectare, Vinhático (*Plathymenia foliolosa*) com 7.400 indivíduos por hectare e Seringueira (*Hevea brasiliensis*) com 6.967 indivíduos por hectare.

Densidade Relativa (DR)

Para a densidade Relativa, o destaque vai para as espécies Eritrina (*Erythrina poeppigiana*) com 14,56%, Jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) com 12,08%, Vinhático (*Plathymenia foliolosa*) com 11,97% e Seringueira (*Hevea brasiliensis*) com 11,27%. Essas espécies juntas representam aproximadamente 49,88% da densidade absoluta da área.

Dominância Absoluta (DoA)

Para a Dominância Absoluta, o destaque vai para as espécies Vinhático (*Plathymenia foliolosa*), Eritrina (*Erythrina poeppigiana*), (N.I) e Cajá (*Spondias mombin*).

Dominância Relativa (DoR)

Para a Dominância Relativa, o destaque vai para as espécies Vinhático (*Plathymenia foliolosa*) com 16,46%, Eritrina (*Erythrina poeppigiana*) com 16,37%, (N.I) com 11,98% e Cajá (*Spondias mombin*) com 8,08%.

Valor de Importância (VI) e Valor de Cobertura (VC)

O valor de importância e de cobertura o destaque vai para as espécies: Eritrina (*Erythrina poeppigiana*), Vinhático (*Plathymenia foliolosa*), (N.I) e Seringueira (*Hevea brasiliensis*). Essas espécies juntas representam aproximadamente 37,08 e 50,75% dos valores de Importância e Cobertura respectivamente das espécies amostradas de dominância absoluta por unidade de área.

Estrutura Diamétrica

Em relação ao total de indivíduos amostrados, os valores de DAP variam entre 14,32 a 212,63cm, com média de 49,10cm (Tabela 4), sendo que, 227 indivíduos (12,24%) estão concentrados na terceira classe de diâmetro. Já em relação ao volume total, os indivíduos se concentram na classe diamétrica de 62 ≤ 68 cm (Tabela 5 e Figura 6), representando 6,02% da volumetria total da área.

Estrutura Vertical

Considerando o número de indivíduos por hectare (ha) e posição sociológicas absoluta (PSA) e relativa (PSR) das espécies de maior valor de importância (VI%) amostrada e apresentada na Tabela 5, observa-se que a maioria das espécies se encontram no estrato médio no intervalo de altura total (H) 11,32 <= H < 24,79 metros, com destaque para as espécies Eritrina (*Erythrina poeppigiana*) e Seringueira (*Hevea brasiliensis*).

Inventário Florestal Volumétrico

Por se tratar de um inventário 100% (censo), foram levantados todos os indivíduos com CAP ≥ 45 cm sendo amostradas 1854 plantas (fustes), distribuída em 41 espécies (Tabela 1).

Em relação ao volume total (VT) e a área basal (AB), das espécies amostrados, os valores médios do volume foi de 190,8397 e 11,5764m³ respectivamente. Com destaque para as espécies Vinhático (*Plathymenia foliolosa*), com volume total (VT) de 1671,4356m³ e área basal (AB) de 78,1472m³ e Eritrina (*Erythrina poeppigiana*) com volume total (VT) de 1178,6189m³ e área basal (AB) de 77,6925m³ (Tabela 9). Essas duas espécies juntas representam aproximadamente 36,42% volume total (VT) e 32,83% da área basal (AB).

Tabela 3. Estrutura Diamétrica da área 1 – Dist. do (s) parâmetro (s): números de indivíduos (N), área basal (AB), volume total (VT), densidade absoluta (DA), dominância absoluta (DoA) e volume total por hectare (VT/ha)

Área	N	AB	VT	DA	DoA	VT/ha
1	1854	474,63	7824,42	61,8	15,82	260,8142
*** Total	1854	474,63	7824,42	61,8	15,82	260,8142
*** Média	1854	474,63	7824,42	61,8	15,820	260,8142

Conclusão

Os resultados da importância ecológica obtidos nos parâmetros fitossociológicos permitiram concluir que Eritrina (*Erythrina poeppigiana*) e Seringueira (*Hevea brasiliensis*) são espécies com maior capacidade de

resiliência e adaptação. Tais levantamentos foram importantes para o reconhecimento da composição, estrutura e valoração dos fustes das árvores da floresta estudada.

Referências Bibliográficas

- DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. A. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.
- FELFILI, J. M.; SILVA-JÚNIOR, M. C. A comparative study of cerrado (*sensu stricto*) vegetation in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, v.9, n.3, p.277-289, 1993.
- JORGE, L. A. B. Equações de volume comercial com casca em floresta tropical pluvial no norte do Espírito Santo. In: Congresso Florestal Sobre Essências Nativas, 1, 1982, Campos do Jordão. Anais... Campos do Jordão, 1982.
- MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T; SILVA-JR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do cerrado: Checklist com 12.356 espécies. In: SANO, S. M. E ALMEIDA, S. P. (Eds.). Cerrado: ecologia e flora. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, 2008. p.417-1279.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). Cerrado: Ecologia e Flora. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.151-212.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. Inventário Florestal. Curitiba, 1997. 316p.
- SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. Inventário Florestal. Lavras: UFLA-FAEPE, 2006. 561p.
- SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDEZ, L. A. V. Inventários florestais: Planejamento e Execução. 2^a Edição. Curitiba: Multi-Grafic Gráfica e Editora, 2009. 316p.
- SANQUETTA, C. R.; CÔRTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. Inventários Florestais: Planejamento e Execução. 3^a Edição - Revisada e Ampliada. Curitiba: Multi-Grafic Gráfica e Editora, 2014. 406p.
- WAKEEL, A.; RAO, K. S.; MAIKHURI, R. K.; SAXENA, K. G. Forest management and use/cover changes in a typical micro watershed in the mid elevation zone of Ventral Himalaya, India. *Forest Ecology and Management*, v.213, n.1/3, p.229-242, 2005.
- ZUGAIB, A. C. C.; LOBÃO, D. É.; PAULA, F. C. F.; CUNHA, J. M. Valoração ambiental do sistema cacau cabruca para efeito de crédito rural em Barro Preto, Bahia. Boletim Técnico. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. Centro de Pesquisas do Cacau. 2016. 47p.

FENOLOGIA DE UMBUZEIROS (*Spondia tuberosa*) PLANTADOS SOB ADUBAÇÃO COM BIOFERTILIZANTES DE LIBERAÇÃO LENTA

Frederico Campos Pereira¹
Ivana Daciana Araújo Dantas²
Edinalva Alves Vital dos Santos³
Gabriela Medeiros⁴

¹Prof. Dr. IFPB, Picuí, fredcampos2000@yahoo.com.br

²Graduanda em Agroecologia, IFPB, Picuí, dacianaivana@gmail.com

³Mestranda em Biodiversidade, UFPB, Areia, ednalva.avs@gmail.com

⁴Doutoranda Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Cascavel, gabsmedeiros@gmail.com

Introdução

Quase metade da vegetação nativa da Caatinga já foi desmatada, comprometendo a biodiversidade e os cursos de água. A desertificação e salinização dos solos constituem grandes ameaças. Apesar disso, existem poucos incentivos para o uso sustentável da biodiversidade e menos de 1% da Caatinga está protegida por Unidades de Conservação. O uso da vegetação é bastante variado, sendo a retirada de madeira a principal causa da diminuição da cobertura vegetal, que vem sendo substituída pela pecuária e agricultura. O Umbu (*Spondias tuberosa*) espécie endêmica da Caatinga é bastante utilizado pelas populações rurais da região Nordeste como base alimentar e econômica. Apresentando, em média, 68% de rendimento em polpa, ele pode ser consumido in natura ou preparado na forma de sucos e refrescos, doces em calda e em corte, geleias e sorvetes (NEVES & CARVALHO, 2005).

A exploração do umbu é feita de forma extrativista, constituindo uma importante fonte de renda complementar e de mão de obra familiar para as comunidades do Semiárido Brasileiro (SAB). Na Bahia, estado responsável por quase 88% da produção nacional de umbu, o preço médio pago ao extrativista na safra 2014 foi de R\$ 0,99 por kg do fruto (CONAB, 2014). Existem ainda as unidades de processamento dos frutos, que tem como principal produto derivado a polpa, além de doces e geleias. O Umbu ainda é uma atividade eminentemente de cunho extrativista.

O umbuzeiro pode ser plantado praticamente em toda região semiárida, através de sementes, de estacas de ramo ou de enxertia. Pensar em lavouras xerófilas como alternativas viáveis para o semiárido é pensar de forma sistêmica e acreditar em saídas que realmente venham transformar a face do Nordeste, porém um longo caminho precisa ser trilhado.

O grande desafio e a quebra de paradigmas é realizar um plantio de umbu na forma convencional como qualquer outra frutífera. Convencional, no sentido de estabelecer espaçamento definido e alguns tratos culturais, porém trazendo essa performance para o modelo agroecológico. Iniciar as prospecções no que tange a saber alguns detalhes referente a adubação orgânica, e pelo fato de ser uma cultura perene, optou-se por buscar conhecimento em biofertilizante que libere nutrientes de forma lenta e duradoura, optando pela fibra de coco misturada a esterco bovino fresco aplicando-o em fundação e em cobertura.

Diante do exposto abraçou-se o desafio de realizar um plantio de umbuzeiro em áreas degradadas do Seridó Paraibano e desenvolver uma forma adequada de aplicar adubação orgânica a base de biofertilizante de lenta liberação a base de fibra de coco e esterco fresco como um importante passo para o estabelecimento do umbuzeiro como uma lavoura de referência que possa dar ao homem do campo uma alternativa de melhoria de renda e qualidade de vida.

Partindo deste experimento o presente trabalho tem por objetivo avaliar o desenvolvimento fenológico de umbuzeiros em resposta a adubação com biofertilizantes de liberação lenta.

Material e Métodos

O experimento foi montado na Fazenda Agroecológica Gavião, localizada na Zona Rural do município de Picuí-PB, situada na região centro-norte do Estado da Paraíba localizada na mesorregião da Borborema e microrregião do Seridó Oriental Paraibano.

As mudas dos umbuzeiros selecionadas para implantação deste experimento foram do tipo “Pé franco”, sem enxertia, oriundos de propagação por sementes e com aproximadamente um ano plantadas em viveiros. Elas foram adquiridas através de um convênio, já existente, entre o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e o IFPB Campus Picuí, e foram plantados em espaçamento 10,0 x 10,0 m, em berços de 30,0 cm³.

Para o preparo da fibra utilizou-se a máquina trituradora de resíduos orgânicos MTCn, equipamento disponível no IFPB. A casca foi triturada em pedaços para diminuir o embuchamento do sistema de alimentação

da trituradora. Após o desfibramento, as fibras longas foram enleiradas e regadas para a diminuição do tanino (substância tóxica) e passaram pela secagem ao sol por cerca de 15 dias ou até atingirem 15-20% de umidade, posteriormente foram incorporadas quantidades de esterco bovino verde e fresco na proporção de 6,0% do peso de cada leira. As leiras pesavam aproximadamente 100 Kg. Durante cinco semanas essa mistura de esterco fresco mais água na proporção de 1:1, foi incorporada em cada leira que era posteriormente revirada.

A adubação foi realizada em quatro maneiras: A) fundação, constou de 2,0 kg de biofertilizante de liberação lenta à base de esterco fresco de bovinos e cascas de cocos trituradas em triturador orgânico MCTn na fundação, ou seja, no fundo do berço e; B) A mesma quantidade do biofertilizante (2,0 Kg), a base de casca de coco na superfície do solo, acompanhando o coroamento ao redor da planta; C) 2,0 kg de composto orgânico a base de restos vegetais e esterco de bovinos na fundação; e D) 2,0 kg de composto orgânico a base de restos vegetais de bovinos na superfície das plantas em condição de campo.

Trabalhou-se com médias simples para avaliar alguns parâmetros. Devido à estiagem prolongada enfrentada no período do experimento alguns parâmetros não puderam ser analisados pela característica caducifólia dessa planta xerófila e do curto espaço de tempo para as observações em uma frutífera perene e clímax do bioma Caatinga.

As avaliações foram feitas aos 60 e aos 150 Dias Após o Plantio, onde se avaliaram os parâmetros: Índice de sobrevivência; Número de folhas; Número de ramos laterais; Altura de plantas e a presença e formação fisiológica dos túberos (Xilopódios). Não se utilizou o método da destruição amostral de plantas para evitar a morte das mesmas e assim poder preservá-las no período de seca prolongada que afetou sobremaneira o experimento. O procedimento foi realizado por observação e contagem visual.

Resultados e Discussão

Todos os tratamentos obtiveram um índice de sobrevivência de 100% (Tabela 1), e todas as plantas de todos os tratamentos apresentaram a formação de túberos (xilopódios), apesar de fisiologicamente apresentarem-se quase desprovida de folhas e terem diminuído o número de ramos e brotações laterais. (Figura 1.A-C). Estes resultados demonstram a boa adaptabilidade da espécie em resistir e se desenvolver. Bastos et al. (2014), avaliou o índice de sobrevivência do Umbu-Cajazeira enxertado com o Umbuzeiro e registrou que a sobrevivência das mudas também foi na ordem de 100%.

A formação dos túberos é extremamente importante para o armazenamento de água, e minerais de modo que em períodos de estiagem prolongados garantirá a planta utilizar-se de suas reservas e sobreviver a escassez de água no ambiente. O índice de sobrevivência exitoso das mudas do umbuzeiro se deu em razão desta adaptação ao clima do semiárido.

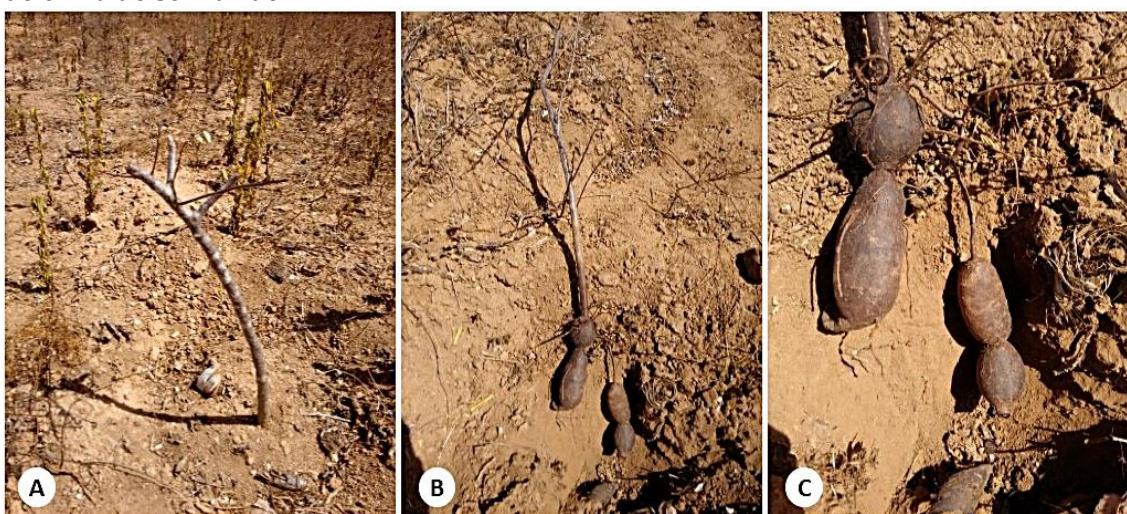


Figura 1. A. Muda do Umbuzeiro; B. Formação de túberos; C. Detalhes dos xilopódios.

Com relação à altura das plantas utilizando o biofertilizante de coco, obteve-se uma altura de 58,3 cm de altura para o sistema de fundação, enquanto para o sistema de superfície a altura foi de 54,4 cm nas medições de sessenta dias (Figura 2). Esses valores elevam-se na medição dos 150 dias após o plantio onde as plantas no campo obtiveram 65,2 e 63,0 cm de altura com o biofertilizante de cobertura e de fundação respectivamente.

Utilizando o Esterco bovino os resultados revelam que o sistema de superfície apresentou nas plantas uma altura de 55,0 cm, enquanto o sistema de fundação foi de 54,5 cm de altura nas medições dos sessenta dias e um aumento que chegou a 59,0 e 59,10 centímetros com a aplicação do esterco em cobertura e em fundação respectivamente (Tabela 1).

Segundo Cruz et al. (2016), o teste de média realizado com valores de altura obtidos aos 78 dias após o plantio do Umbuzeiro mostra que as plantas se desenvolveram melhor no substrato que continha 40% de esterco

curtido possibilitando um crescimento em altura correspondente a 44,52 cm, o que foi inferior ao obtido nesse experimento. Os substratos que continham esterco bovino do experimento dos autores citados obtiveram um incremento de até 19,72 cm na altura das plantas do umbu.



Figura 2. *Spondia tuberosa*. A. Brotações. B. Contagem do número de folhas, C. Biometria (Altura).

Em se tratando do número de folhas, observa-se que utilizando o Esterco Cobertura (EC), as mudas do Umbuzeiro emitiram maiores quantidades de folhas, nos diferentes tempos de plantação. De modo que, aos 60 dias registrou-se 50 folhas, e aos 150 dias, 17 folhas. Para os demais tratamentos e tempo de plantio os números de folhas são mais baixos. Bastos et al. (2014), avaliaram o número de brotos do umbu-cajá (*Spondias* sp.) enxertadas sobre umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) e as maiores médias de brotações foram de 4,12 aos 30 dias de plantio e 8,37 aos 120 dias.

Observa-se que, houve uma diminuição no número de folhas devido a fisiologia da planta ser caducifólia, e a mesma responder a fatores hormonais que permitem a queda das mesmas em períodos de estiagem, o que se comprovou no período do experimento. O mesmo observa-se para os ramos mais tenros e jovens das mudas que fisiologicamente respondeu da mesma maneira. Uma das estratégias utilizadas pelo umbuzeiro para sua sobrevivência durante a estação seca é a abscisão de suas folhas para reduzir a superfície transpiratória e, consequentemente, a perda de água (LIMA FILHO, 2011). Ainda segundo o autor, a abscisão total das folhas do umbuzeiro ocorre cerca de 1 a 2 meses após a última precipitação.

As plantas de umbuzeiro responderam bem quanto a sua altura, mesmo que discretamente para o período observado, não havendo diferença significativa das médias dos tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Avaliação de nº de folhas, altura de planta e nº de brotações em umbuzeiros plantados sob diferentes biofertilizantes e profundidade de adubação

Tratamentos	Parâmetros					
	60 Dias		150 Dias			
	Nº Folhas	Altura (cm)	Nº Brotações	Nº Folhas	Altura (cm)	Nº Brotações
BC = Biofertilizante cobertura	42	54,40	9	4	65,20	12
BF = Biofertilizante fundação	41	58,30	14	4	63,00	10
EC= Esterco cobertura	50	55,00	21	7	59,00	17
EF= Esterco fundação	30	54,50	12	8	59,10	7

Há alguns estudos com plantas de outros biomas com a fibra e o pó de coco funcionando como substrato, não como biofertilizante. Em estudos com Bromeliaceae, D'Andréa e Demattê (2000) e Demattê e Oshiro (2001), avaliaram substratos alternativos ao xaxim para cultivo de *Aechmea fasciata* e observaram que, a mistura composta de 45% de casca de coco, 45% de bagaço de cana e 10% de húmus pode ser recomendada. Da mesma forma, Demattê (2001; 2002) verificou que fibra de coco, casca de pinus e húmus, poderiam substituir o xaxim na composição dos substratos para cultivo de *Tillandsia gardneri*, sendo que as plantas em substratos contendo maior porcentagem de fibra de coco, apresentaram maior número de folhas em relação àquelas cultivadas em xaxim.

O trabalho mostrou que, o umbu é uma planta adaptada ao Semiárido Paraibano, gerando renda e valorizando o fruto para a agricultura familiar. Segundo Lima Filho (2011) a comercialização dos frutos do umbuzeiro é a principal fonte de renda para a maioria dos pequenos agricultores durante a época de safra. A recuperação de áreas degradadas contribui com o projeto pois o umbu teve grande desenvolvimento juntamente com o consorcio com o mandacaru (*Cereus jamacaru*). O umbuzeiro, quando plantado de forma convencional como uma lavoura qualquer e adubado organicamente, passa a exercer uma excelente ferramenta de recuperação de áreas em processo de degradação, além de ter importância ambiental, social e econômica para a agricultura e os agricultores de Semiárido Brasileiro (SAB).

Neste aspecto, o cultivo de lavouras xerófilas e de outras espécies na região semiárida, tem e pode ser vista, como uma atividade viável que precisa apenas do desenvolvimento de técnicas e formas de manejo do solo e dos recursos florísticos. É preciso compreender também, que para produzir, se faz necessário o uso dos recursos disponíveis, da reciclagem e de seus próprios insumos, bem como de manter e recuperar a fertilidade do solo com eficiência e menor dependência de insumos e energia externas. Além da necessidade de desenvolver e se apropriar de técnicas que sejam referências e possam ser replicadas para uma correta condução da lavoura para uma produção de excelência.

Contudo, este experimento se insere como técnica inovadora, tendo em vista, a falta de literatura que tragam informações técnico-científicas suficientes que consolidem os tratos culturais de condução de plantas de umbuzeiro como sendo uma lavoura convencional, que necessite de um espaçamento adequado, formas de adubação em períodos corretos e em quantidades adequadas, podas, técnicas de enxertia, conhecimento sobre pragas e doenças e seus controles e etc.

Conclusão

O experimento apontou que o índice de sobrevivência, formação de xilopódio (túberos), altura da planta, número de brotações e total de folhas do umbu foram satisfatórios utilizando o biofertilizante de coco e o esterco, porém com pequenas diferenças para os sistemas de fundação e de superfície. A aplicação de adubação orgânica a base de biofertilizante de lenta liberação a base de fibra de coco e esterco fresco foi importante para o estabelecimento do umbuzeiro como uma lavoura de referência que possa dar ao homem do campo uma alternativa de melhoria de renda e qualidade de vida e onde se possa aplicar tratos culturais como a adubação orgânica.

O trabalho mostrou que, o umbuzeiro tem importância ambiental, social e econômica para a agricultura familiar. Contudo, conclui-se que, o plantio do umbu utilizando estes fertilizantes apresentou-se viável, de modo a estabelecer uma lavoura xerófila que pode apresentar maiores resultados econômicos, e principalmente ecológico a propriedade, inclusive como ferramenta para recuperação de áreas degradadas.

Referências

- BASTOS, L. P.; DANTAS, A. C. V. L.; COSTA, M. A. P. C.; BASTOS, M. S. M.; ALMEIDA, V. O. Propagação vegetativa de Umbu-Cajazeira. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v.10, n.18; p.2.512, 2014.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Umbu (fruto): In: DUQUE, J. G. O Nordeste e as lavouras xerófilas. Fortaleza, BNB/ETENE, 1964. 237p.
- CRUZ, F. R. S.; ANDRADE, L. A.; FEITOSA, R. C. produção de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) em diferentes substratos e tamanho de recipientes. Ciência Florestal, v.26, n.1, p.69-80, 2016.
- D'ANDRÉA J. C; DEMATTÊ, M. Effect of growing media and fertilizers on the early growth of *Aechmea fasciata* Bak. Acta Horticulturae, v.511, p.271-276, 2000.
- DEMATTÊ, M. Cultivo de *Tillandsia gardneri* Lindl. em diferentes substratos. In: Congresso Brasileiro de Floricultura e Plantas Ornamentais, 13, 2001, São Paulo. Anais... São Paulo: SBFPO. p.118, 2001.
- DEMATTÊ M. E. Cultivo de *Tillandsia gardneri* Lindl. (Bromeliaceae) em substratos contendo ou não xaxim. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 42, 2002, Uberlândia. Anais...Uberlândia: SOB, 2002. CD-ROM.
- DEMATTÊ, M.; OSHIRO L. Substratos e fertilizantes no crescimento e na floração de *Aechmea fasciata* BAK. (Bromeliaceae). In: Congresso Brasileiro de Floricultura e Plantas Ornamentais, 13, 2001, Uberlândia. Anais... São Paulo: SBFPO. p.107, 2001.
- LIMA FILHO, J. M. P. Ecofisiologia do umbuzeiro (*Spondias tuberosa*, Arr. Cam.). Embrapa Semiárido-Documentos. INFOTECA-E, 2011.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. Tecnologia da produção do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). Lavras: UFLA. 2005. 101p. (Nota Técnica, 127).

PROPOSTA DE MÉTODO ALTERNATIVO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DE MANGUEZAL E APICUM EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

¹Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes

²Aruza Rayana Morais Pinto

³Raimunda Thyciana Vasconcelos Fernandes

⁴Almir Mariano de Sousa Junior

⁵Breno Dayano Azevedo da Silveira

¹Professor, Msc. UFERSA/Campus Angicos, rogeriotaygra@ufersa.edu.br

²Engenheira Agrônoma, Equilíbrio Gerenciamento Ambiental, equilibrioga@hotmail.com

³Zootecnista, Dsc. Equilíbrio Gerenciamento Ambiental, fernandesrtv@hotmail.com

⁴Professor Dsc. UFERSA/Campus Mossoró, almir.mariano@ufersa.edu.br

⁵Engenheir, Msc. UFERSA/Campus Mossoró, brenno.azevedo@ufersa.edu.br

Introdução

Manguezais e apicuns são ecossistemas costeiro de transição entre os ambientes terrestre e marinho, característico de regiões tropicais e subtropicais e sujeito ao regime das marés. Ocorrem em regiões costeiras abrigadas como estuários, baías e lagunas, e apresenta condições propícias para alimentação, proteção e reprodução para muitas espécies animais, sendo considerado importante transformador de nutrientes em matéria orgânica e gerador de bens e serviços (SILVA et al., 2005). Embora a importância desses ecossistemas seja indiscutível, observa-se em todo o mundo, uma clara tendência de degradação dos manguezais e apicuns, sendo reportado uma perda de 30-50% da sua área, o que resulta no grande risco de extinção de aproximadamente 40% das espécies de animais restritas aos mesmos (LUTHER & GREENBURG, 2009; DONATO et al., 2011). Corroborando com essa observação, Duke e Schmitt (2015) afirmam que, nesse ritmo em 100 anos tais ecossistemas serão reduzidos a áreas tão pequenas que sua funcionalidade será perdida.

O Brasil, país que possui a terceira maior área de manguezal e apicum do mundo, com aproximadamente 25.000 km², sofre forte pressão antrópica, fruto, principalmente, da carcinocultura e expansão imobiliária, resultando numa taxa de degradação destes ecossistemas de até 0,3% no período compreendido entre 1980 a 2005 (FERNANDES, 2012). Como medida de proteção, em maio de 2012 a Lei Federal N° 12.651, mais conhecida como Novo Código Florestal, assegurou aos manguezais, em toda sua extensão, o status de Áreas de Preservação Permanente (APP), reconhecendo sua função na prestação de serviços ecológicos, tais como a preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da biodiversidade, além de propiciar o fluxo gênico de fauna e flora, influenciando o bem-estar das populações humanas.

Mesmo que o reconhecimento dos manguezais como APP assegure, legalmente, a estes ecossistemas proteção total contra atividades que possam resultar em sua degradação, na prática, os manguezais continuam sendo degradados (SANTOS et al., 2011). Neste contexto, Fernandes (2012) afirma que, apenas a proibição da degradação das áreas de manguezais e apicuns ainda existentes, não será suficiente para garantir a preservação dos mesmos e a manutenção de suas funções ecológicas, sendo primordial a implantação de ações que busquem recuperar as áreas já degradadas, necessitando, para isso, o desenvolvimento de técnicas e métodos de recuperação condizentes com as condições naturais e a realidade climática e ambiental de cada região. Este alerta é especialmente aplicável para o Brasil, que por suas dimensões continentais, possui áreas de manguezal e apicuns em regiões com condições climáticas e oceanográficas completamente distintas, com precipitação que superam 2.000 mm.ano⁻¹ e marés com variação diária de mais 6 m na região Norte, e precipitação inferior a 400 mm.ano⁻¹ e variação de maré inferior a 2 m no Nordeste, por exemplo.

Nesse contexto, alguns métodos são utilizados para a recuperação dessas APPs. O sistema de recuperação conhecido como “Método da Espinha Peixe” é o mais tradicional e difundido em todo mundo, e vem sendo usado com sucesso em diversos projetos de recuperação de manguezais no Brasil. O referido método consiste na escavação de canais rasos, conectando a área em recuperação ao curso principal do estuário, com a função de promover a irrigação e alagamento do solo do mangue, mimetizando, desta forma, as gamboas e canais naturalmente existente nos manguezais (FIELD, 1997). Os canais possibilitam restabelecer o fluxo e refluxo das marés, e em suas margens são plantadas as mudas e propágulos de mangue. Este método vem sendo empregado na área de estudo há mais de uma década, com o plantio de mais de 6.000 mudas de mangue por ano.

Ainda que o método da espinha de peixe seja tecnicamente reconhecido por seus resultados, o mesmo não tem se mostrado adequado para recuperar a áreas de manguezais e apicuns de clima semiárido, onde a evaporação anual supera em mais de 3 vezes a precipitação e a drenagem continental somadas, resultando em

um quadro de balanço hídrico negativo. Soma-se a isto a baixa amplitude de maré característica da região, normalmente inferior a 2 metros, o que reflete diretamente sobre a estrutura da comunidade vegetal do manguezal, uma vez que a vegetação de mangue só se desenvolve em zonas entre marés (alagadas pelo menos duas vezes ao dia).

Diante do exposto, objetiva-se com o presente trabalho desenvolver o Método do Berçário para recuperação de manguezais e apicuns, na Salineira São Camilo, localizada no litoral do estuário da bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, em alternativa ao Método Tradicional “Espinha de Peixe”.

Material e Métodos

Caracterização da Área

A região onde a presente pesquisa foi desenvolvida é conhecida popularmente como Costa Branca brasileira, ou Território do Sal, e compreende os estuários dos rios Apodi-Mossoró, Piranhas-Açu e Galinhos Guamaré. O clima é classificado como semiárido quente (Köppen) e é caracterizada pelo predomínio de estações secas com duração média de 7 a 8 meses (de junho a janeiro), e uma estação chuvosa que se estende geralmente de fevereiro a maio. A precipitação pluviométrica mensal é bastante variável, sendo o trimestre mais chuvoso compreendido entre os meses de fevereiro, março e abril, com totais mensais médios oscilando entre 102,8 e 167,9mm, enquanto que o período mais seco compreende os meses de setembro, outubro e novembro com a média mensal entre 1,9 e 4,9mm. Em razão da combinação das condicionantes naturais, como as altas temperaturas, ventos secos, intensa evaporação, prolongada estação de estiagem, e extensas áreas alagáveis, esta região se tornou a maior produtora de sal marinho do país (DINIZ & VASCONCELOS, 2017), tornando-se uma parte significativa da economia do Rio Grande do Norte, com produção anual de cinco a seis milhões de toneladas de sal, e 70 mil empregos gerados, direta ou indiretamente (SIESAL, 2016). No entanto, por usar a água do mar como matéria prima, e depender de condições climáticas específicas, as salinas, historicamente, vêm sendo construídas às margens de estuários e baías, resultando na ocupação e degradação de grandes áreas de manguezal e apicuns.

Utilizou-se uma área experimental de 10 hectares pertencente a Salineira São Camilo, localizada no litoral do estuário da bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, nas coordenadas de Latitude: 5° 3'47.85"S e de Longitude: 37°14'40.67"O (Figura 1).

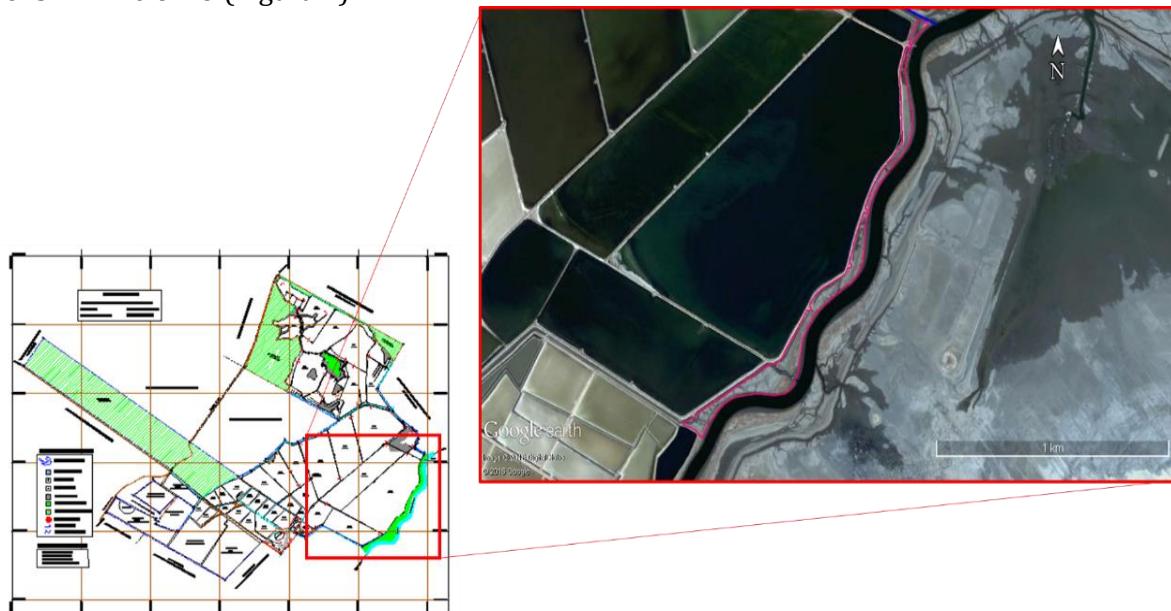


Figura 1. Área de Preservação Permanente que não sofreu ocupação por salineira que está localizada no litoral do estuário do Rio Apodi/Mossoró.

Proposta de método alternativo (Método do Berçário)

Considerando o insucesso do processo de recuperação por meio da aplicação de métodos tradicionais, desenvolveu-se formas alternativas para restaurar as condições naturais do ambiente. Devido à ausência de dados técnicos na literatura sobre projetos de recuperação de apicuns e manguezais em regiões semiáridas, foram adotadas medidas de manejo baseadas na experiência empírica da equipe técnica do projeto, tomando como referência testes realizados em campo. Desta forma, desenvolveu-se o que se denominou como “Método do Berçário”, em que se optou por substituir os canais de maré por pequenos tanques de terra medindo aproximadamente 10 x 20m e com profundidade média 20 centímetros. Os berçários funcionam como módulos de recuperação, independentes entre si, que permitem controlar de maneira mais eficiente a dinâmica hidrológica (Figura 2).

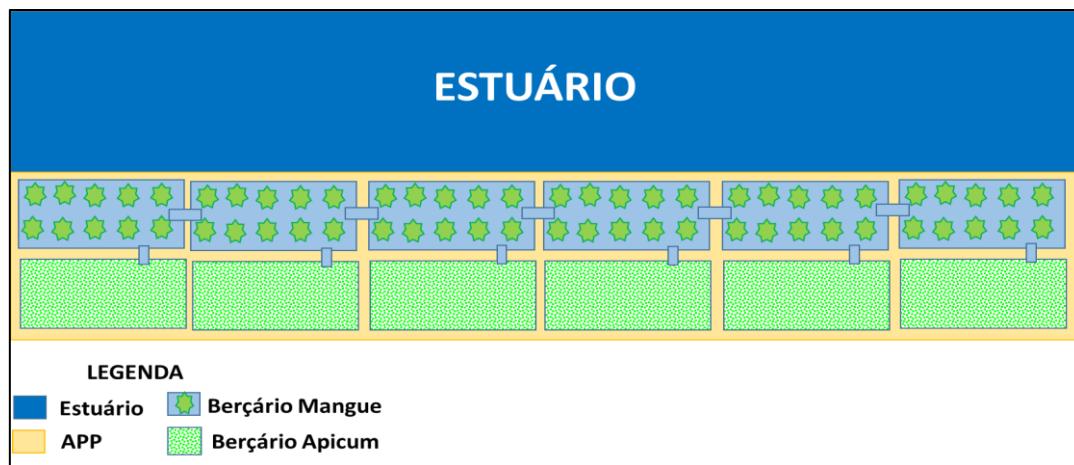


Figura 2. Esquema ilustrativo do método de recuperação de manguezais por meio de berçários.

Foram produzidas mudas das espécies arbóreas típicas dos manguezais da região, sendo estas a *Avicennia germinans*, *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, e a espécie rasteira característica de apicuns *Batis marítima*. As mudas foram produzidas a partir de propágulos, colhidos diretamente das árvores matrizes, ou coletados do solo. Utilizou-se somente propágulos considerados saudáveis. Os propágulos passaram pelo processo de quebra de dormência pela imersão em água doce por 48 horas (Figura 3), e então plantados em recipientes (copos e sacos plásticos) contendo substrato composto por areia e esterco bovino (Figura 4). Toda a etapa de produção de mudas foi realizada no Horto da Salineira avaliada.



Figura 3. Propágulos de *Laguncularia racemosa* durante o processo de quebra de dormência.

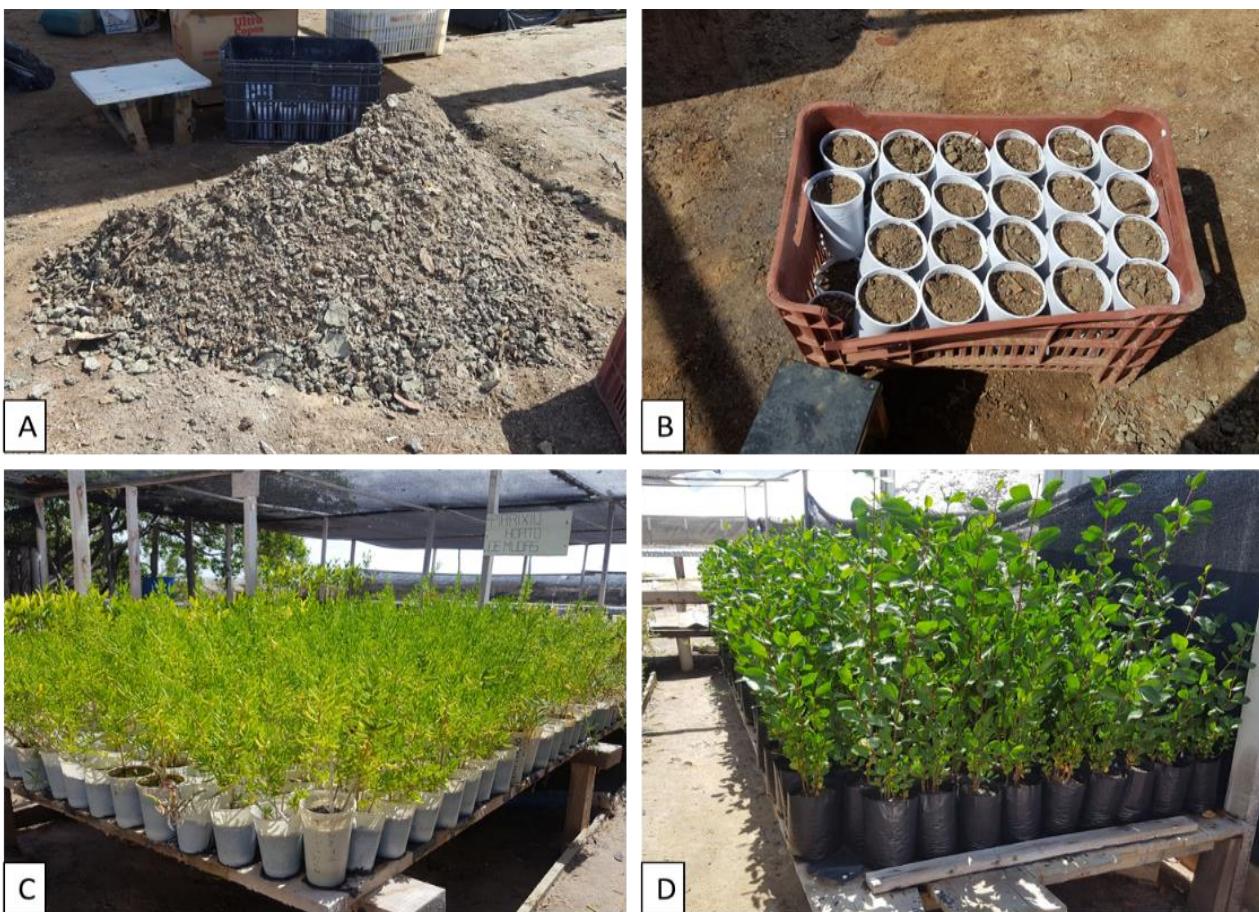


Figura 4. Processo de produção de mudas no horto da Salineira São Camilo: preparação do substrato (A); enchimento de recipientes (B); mudas produzidas em copos (C); e mudas produzidas em sacos plásticos (D).

Após o estágio inicial de desenvolvimento no horto (em média 90 dias), as mudas foram levadas para os berçários, previamente preparados por meio do revolvimento manual do solo (Figura 5), onde foram plantadas com espaçamento aleatório, conforme preza os sistemas de restauração ecológica (6). As mudas foram distribuídas conforme as áreas que margeiam o estuário, portanto nas margens de 8 a 12 metros e utilizou-se a vegetação de mangue, e nas áreas mais internas utilizou-se a vegetação de apicum, mais precisamente da espécie *Batis marítima* (Figura 7).



Figura 5. Colaborador preparando a área do berçário antes do plantio das mudas.



Figura 6. Execução do plantio das mudas na área dos berçários.



Figura 7. Água retida pelos berçários instalados na margem do estuário.

Manejo fitossanitário preventivo e corretivo

Realizou-se o monitoramento semanal do estado fitossanitário das mudas em campo, com o objetivo de identificar possíveis focos de infestação de pragas ainda em seu estado inicial, possibilitando o controle mais efetivo do mesmo.

Como medida de controle, considerando não ser adequado o uso de defensivos agrícolas devido ao risco de contaminação de uma área de alto valor ecológico como os apicuns e manguezais, optou-se por pulverizar as plantas infestadas, por uma solução descrita por Fernandes et al. (2017), aplicados uma vez por semana, ou sempre que identificado um novo foco da praga, até não haver novos sinais de infestação.

Tabela 1. Ingredientes e modo de preparo de solução para combate a lagarta do coqueiro

Ingrediente	Concentração
Água	2L
Tabaco (<i>Nicotina tabacum</i>)	100g
Sabão em pó (sem amaciante e alvejante)	20g
Querosene	20g
Óleo de soja	20g

Resultados e Discussão

Proposta de Método Alternativo (Método do Berçário)

Com a construção dos canais de maré – “Espinha de peixe” (Figura 8), observou-se que a área do projeto só foi realmente irrigada/alagada pelas marés de sizígia, que ocorrem somente uma vez a cada mês (ROCHA et al., 2011), ficando o solo sobre o efeito da evaporação durante todo o período decorrido entre as grandes marés (28 a 30 dias), o que resulta na deposição de sais no solo, tornando a área imprópria para o desenvolvimento da vegetação de mangue. Ressalta-se ainda, que este quadro decorre das condições naturais do ambiente, verificadas em outras áreas do litoral norte do estado, onde a vegetação de mangue é caracterizada fisiograficamente como formação do tipo franja (COSTA et al., 2010), com vegetação de mangue do tipo anã, desenvolvendo-se apenas na beira do estuário (Figura 9).

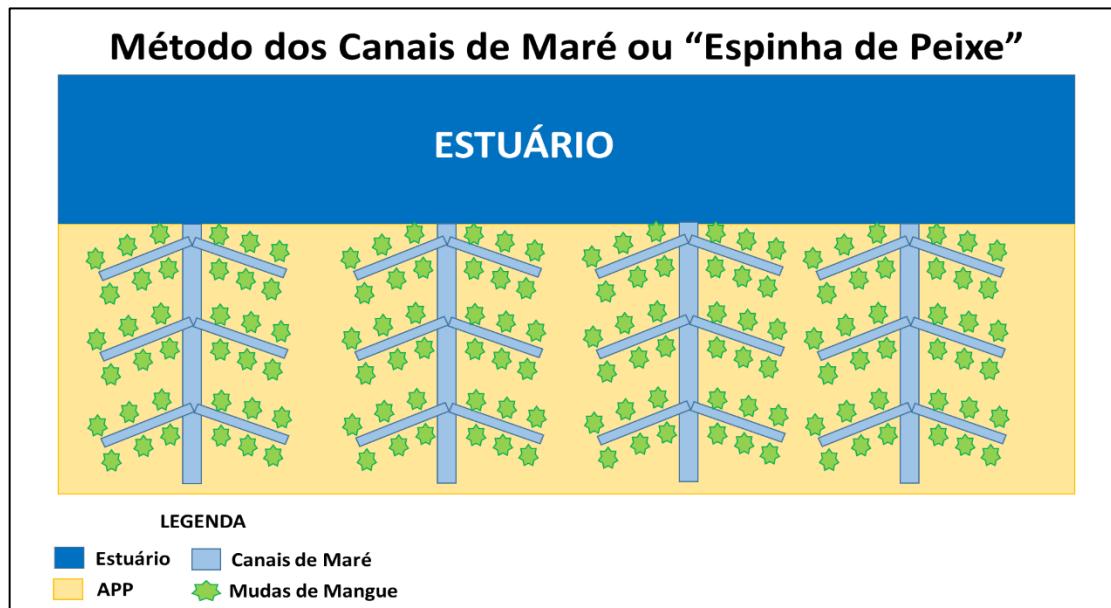


Figura 8. Esquema ilustrativo do método de recuperação de manguezais por meio de canais de maré (espinha de peixe).

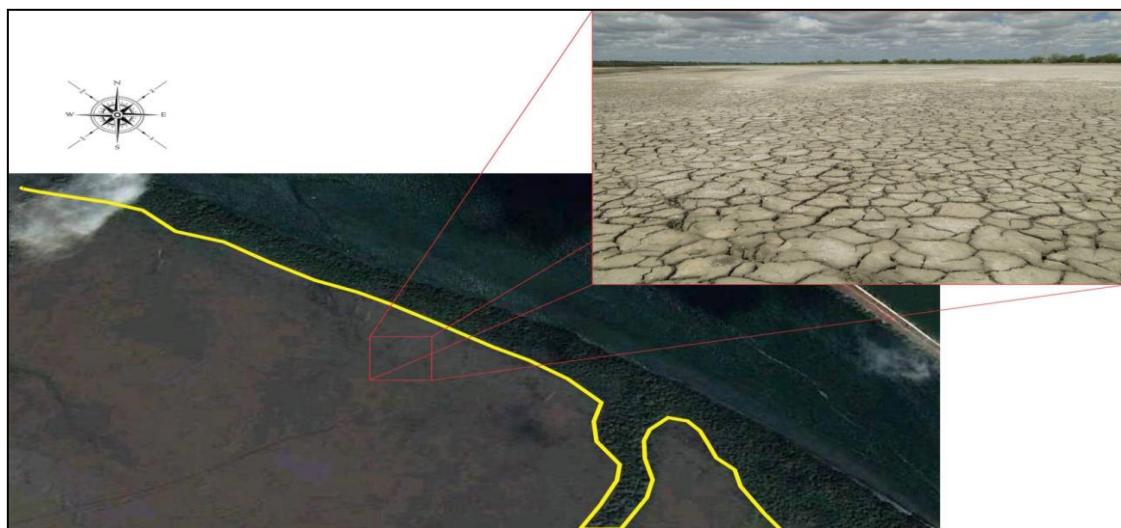


Figura 9. Vista do limite da franja ocupada pelo manguezal (linha amarela) em áreas do litoral norte do Rio Grande do Norte, com destaque para o acúmulo de sais no solo da área interna da planície de maré.

Por sua vez, o emprego do Método do Berçário, embora ainda em fase experimental, mostrou-se mais efetivo que o Método da Espinha de Peixe, o que foi possível devido a retenção da água da maré por mais tempo, reduzindo a exposição do solo ao sol, impedindo o aumento da salinidade. Nesse sentido, Medeiros et al. (2018) ao estudarem os padrões de sedimentação e hiper salinidade na cobertura vegetal de planície estuarina, observaram que a presença de canais, encontrada no método tradicional, propicia fluxos mais lentos e favorece o aprisionamento de sais, permitindo as características naturais edafo-sedimentológicas nitidamente hipersalinas.

Para efeitos de comparação, o Método do Berçário alcançou taxas de sobrevivência superiores a 85%, enquanto o método tradicional não possui resultados superiores a 25% de sobrevivência. Cabe destacar que os

canais de marés, desenvolvidos para a recuperação de manguezais através do Método Tradicional ou “Espinha de Peixe”, apresentam deficiência do fluxo fluvial, influenciada por variáveis ligadas à geometria dos canais como largura, profundidade e sinuosidade, que são determinantes na distribuição dos sedimentos, e portanto, dos solos os quais se constituem como bases para a sustentação da cobertura vegetal, fortemente influenciadas pelas condições de salinidade (MEDEIROS et al., 2018).

Adicionalmente, verificou-se que a substituição da vegetação de mangue pela vegetação herbácea típica de apicum, nas áreas mais internas do projeto, resultou na propagação dessa cobertura vegetal nos berçários, reduzindo a percentagem de solo exposto, o que contribui para o controle da erosão e redução da salinização do solo, além de facilitar a colonização natural de propágulos de mangue (Figuras 10 e 11). Tal resultado já era esperado, pois segundo Medeiros et al. (2018) uma vez que a elevada salinidade se torna o principal fator limitante ao desenvolvimento do manguezal, ocorre a predominância de apicuns/salgados para a típica cobertura das áreas de estuários hipersalinos.



Figura 10. Mangue se desenvolvendo dentro dos berçários. Evolução rápida e elevada taxa de sobrevivência comparada aos anos anteriores.



Figura 11. Vegetação da espécie *Batis marítima* recobrindo o solo da área do projeto, o que demonstra a vocação natural da região para formação de apicuns.

Outro aspecto positivo decorrente da implantação dos berçários, foi o desenvolvimento de tapetes de algas, que recobrem o solo, criando uma espécie de película protetora contra o ressecamento provocado pelo sol, e mantém a salinidade em níveis toleráveis (Figura 12).



Figura 12. Tapete de algas formado no solo dos berçários funcionam como películas protetoras contra o ressecamento.

Destaca-se ainda o avistamento cada vez mais comum de animais típicos dos apicuns e manguezais. Exemplos incluem ninhos de aves encontrados nas plântulas de mangue (Figura 13), e tocas de caranguejos escavados na lama dos berçários (Figura 14).



Figura 13. Ninho construído junto às plântulas de mangue plantadas nos berçários.



Figura 14. Tocas de caranguejos escavadas na lama dos berçários.

As aves atuam na transferência de matéria e energia do ecossistema aquático para o ecossistema terrestre e no controle biológico de espécimes debilitados diminuindo o risco de proliferação de doenças pela retirada destes organismos do ambiente (ELIAS, 2017). Os crustáceos, principalmente os siris e caranguejos, por sua vez, são reconhecidos por sua importância social e econômica, como fonte de alimento e subsistência para as populações ribeirinhas, e do ponto de vista ecológico são peças chaves na reciclagem da matéria orgânica, primeiro por seu hábito alimentar detritívoro, e segundo e igualmente importante, seu comportamento de cavar tocas, formando galerias no solo dos manguezais, melhorando a oxigenação do mesmo e revolvendo a terra do subsolo para a superfície, disponibilizando nutrientes novamente para o ecossistema (SANTOS et al., 2016).

Manejo fitossanitário preventivo e corretivo

Foram encontrados pequenos focos de lagartas do gênero *Brassolis sp*, conhecidas popularmente como lagarta do coqueiro (Figura 15), que se destacam por causar grande desfolhamento e queda prematura dos frutos nas diversas espécies de plantas que são acometidas por eles (Figura 16). Na sua fase larval (dura em torno de 80 a 120 dias) possui uma cabeça castanho-avermelhada e corpo com listras longitudinais marrom escuras e claras, recoberto por fina pilosidade, podendo atingir de 6,0 a 8,0cm de comprimento (FERREIRA & FILHO, 2007).



Figura 15. A lagarta do coqueiro *Brassolis spp.*, ataca o mangue durante a estação chuvosa.



Figura 16. Aspecto da vegetação de mangue após o ataque da lagarta do coqueiro *Brassolis spp.*. Em casos severos de infestação pode provocar a morte da planta.

Durante o monitoramento, após a quarta semana de aplicação da solução teste para combate à infestação de pragas na área avaliada, foi possível observar menor motilidade e consequentemente, menor alimentação e morte das lagartas. Segundo Oliveira et al. (2007) e Fernandes et al. (2017), compostos fitoquímicos presentes no tabaco (*Nicotina tabacum*) utilizado nesse estudo, não matam diretamente os insetos, mas levam inicialmente uma pressão fisiológica que resulta em menor motilidade com posterior inanição dos insetos, o que ratifica o comportamento observado nas lagartas. Também se observou morte de pupas e mariposas nesse mesmo período.

Fernandes et al. (2017) ao avaliarem a ocorrência de *Brassolis sp.* em manguezais à margem do estuário do Rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte, observaram que esses insetos atacam e infestam as espécies de mangue *Avicennia germinans*, *Avicennia schaueriana*, e *Rhyzophora mangle*, e que, a solução testada como controle da infestação por insetos *Brassolis sp.* provoca letargia das lagartas e morte de pupas e mariposas após 4 semanas de uso.

Não são encontrados na literatura resultados de pesquisas que avaliaram o Método Berçário em alternativa ao Método Tradicional, também conhecido como “Canais de Marés” ou “Espinha de Peixe, para recuperação de áreas de Manguezais e Apicuns, uma vez que esse Método alternativo e sua metodologia foi proposto pelo presente estudo e seus respectivos autores. No entanto, repetições para validação desse estudo, ou até mesmo outras alternativas para recuperação desses ecossistemas se fazem necessárias, uma vez que as funções e serviços prestados pelos manguezais e apicuns são numerosos, destacando-se que se constituem na base da cadeia trófica com espécies de importância econômica e/ou ecológica, servem de área de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, litorâneas e terrestres, além de pouso de aves migratórias, protegem a linha de costa contra erosão, previnem as inundações e protegem contra tempestades.

Conclusão

A utilização de técnicas tradicionais como o Método da Espinha de Peixe se mostrou inadequada para recuperação de manguezais em regiões semiáridas, e não obteve resultados positivos por mais de 10 anos de aplicação na área do projeto. As condições ambientais naturais da região não favorecem a formação de grandes áreas de manguezais, ficando a vegetação de mangue restrita a uma estreita faixa à margem dos cursos d’água principais, enquanto as áreas mais internas são favoráveis ao desenvolvimento de vegetação rasteira, caracterizando apicuns.

A técnica experimental adotada para recuperação da área, denominada Método do Berçário, consistindo na criação de estruturas que retém por mais tempo a água trazida pelas marés, possibilitou a manutenção de condições ambientais mais favoráveis para o estabelecimento da vegetação de mangue e apicum, ficando o mangue restrito às zonas mais próximas à margem do estuário e o apicum nas áreas mais internas.

Referências

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-

- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 28 mai. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- COSTA, D. F. S.; ROCHA, R. M.; CESTARO, L. A. Análise fitoecológica e zonação de manguezal em estuário hipersalino. Mercator, Fortaleza, v.13, n.1, p.119-126, 2014.
- DINIZ, M. T. M.; VASCONCELOS, F. P. Condicionantes naturais à produção de sal marinho no brasil. Mercator, Fortaleza, v.16, e1613b, 2017.
- DONATO, D. C.; KAUFFMAN, J. B.; MURDIYARSO, D.; KURNIANTO, S.; STIDHAM, M.; KANNINEN, M. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. Nature Geoscience, v.4, p.293-297, 2011.
- DUKE, N. C.; SCHMITT, K. Mangroves: unusual forests at the sea edge. Tropical Forestry Handbook, p.1-24, 2015. Disponível em: <<https://research.jcu.edu.au/tropwater/publications/MangrovesUnusualforestsattheseasedge.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- ELIAS, A. P. R. Salinas artificiais como habitat alternativo para aves limícolas charadriiformes: sazonalidade e uso do habitat no Estuário Apodi-Mossoró, RN, Brasil. 81f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação). Universidade Federal do Semi-Árido. Mossoró, 2017.
- FERNANDES, R. T. V. Recuperação de manguezais. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 78p.
- FERNANDES, R. T.V.; FERNANDES, R. T. V.; PINTO, A. R. M.; OLIVEIRA, J. F.; MELO, A. S.; MARINHO, J. B. M. Ocorrência de *Brassolis* sp. em manguezais à margem do estuário do Rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte. Revista Verde de Agricultura e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, v.12, n.3, p.617-621, 2017.
- FERREIRA, J. M. S.; FILHO, M. M. A cultura do coqueiro: Pragas e métodos de controle. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2007. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Coco/ACulturadoCoqueiro/pragas.htm>>. Acesso em: 01 set. 2018.
- FIELD, C. La Restauracion de Ecosistemas de Manglares. Managua, 1997. 280p.
- LUTHER, D.; GREENBURG, R. Mangroves: a global perspective on the evolution and conservation of their terrestrial vertebrates. Bioscience, v.59, n.7, p.602-612, 2009.
- MEDEIROS, S. R. M.; CARVALHO, R. G.; PIMENTA, M. R. C. A proteção do ecossistema manguezal à luz da lei: 12.651/2012: novos desafios para a sustentabilidade dos manguezais do Rio Grande do Norte. Geotemas, v.4, n.2, p.59-78, 2014.
- MEDEIROS, D. H. M.; CAVALCANTE, A. A.; PINHEIRO, L. S. Respostas dos padrões de sedimentação e hipersalinidade na cobertura vegetal de planície estuarina sob influência da Semiaridez. Geosul, v.33, n.66, p.70-84, 2018.
- OLIVEIRA, M. S. S.; ROEL, A. R.; ARRUDA, E. J.; MARQUES, A. S. Eficiência de produtos vegetais no controle da lagarta-do-cartucho-do-milho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). Ciência e Agrotecnologia, v.31, n.2, p.326-330, 2007.
- ROCHA, A. B.; CLAUDINO-SALES, V. C.; SALES, M. C. L. Geoambientes, uso e ocupação do espaço no Estuário do rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. Revista Eletrônica do Prodema, v.7, n.2, p.60-75, 2011.
- SANTOS, H. V. S.; SANTOS, T. O.; HOLANDA, F. S. H. Indicadores para diagnóstico das alterações antrópicas no manguezal do estuário do rio São Francisco. Tropical Oceanography, v.39, n.2, p.166-175, 2011.
- SANTOS, M. C. F.; SANTOS, C. F.; BRANCO, J. O.; BARBIERI, E. Caracterização da pesca e dos pescadores artesanais de camarões *Penaeidae* em salina no município de Macau - Rio Grande do Norte. Boletim do Instituto de Pesca, v.42, n.2, p.465-478, 2016.
- SIESAL. Sindicato da Indústria da Extração do Sal no Estado do Rio Grande do Norte. Atas das Assembleias Ordinárias. Mossoró, Rio Grande do Norte, 2016.
- SILVA, M. A. B.; BENINE, E.; CARMO, T. M. S. Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, ES, Brasil. Acta Botânica Brasílica, v.19, n.3, p.465-471, 2005.

RELAÇÃO DO ÍNDICE S COM O DIÂMETRO DE POROS NA INFLEXÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE ÁGUA NO SOLO

¹Ícaro Vasconcelos do Nascimento

²Alcione Guimarães Freire

³Alexandre dos Santos Queiroz

⁴ Thiago Leite de Alencar

⁵Carlos Vítor Oliveira Alves

^{1,2}Pós-graduando em Ciência do Solo, UFC/Campus Fortaleza, icaro_agro@hotmail.com; alcionegef@hotmail.com

³Graduando em Agronomia, UFC/Campus Fortaleza, queiroz.alexandre@outlook.com

⁴Professor Adjunto, IFPI/Campus Pio IX, thiagoleitealencar@yahoo.com.br

⁵Dr. em Ciência do Solo, Cooperativa de Trabalho e Assistência à Agricultura Familiar Sustentável do Piemonte/Jacobina-BA, cvoalves@me.com

Introdução

Um bom indicador de qualidade do solo, deve identificar um conjunto de propriedades do solo que possibilitem elucidar processos e integrar propriedades biológicas, físicas e químicas do solo. Além disso, deve ser acessível a muitos usuários e aplicável a condições de campo, ser sensível às variações de manejo e de clima no tempo e, quando possível, ser componente de banco de dados já existente (DORAN & PARKIN, 1994).

Os critérios para escolha de indicadores de qualidade do solo dependem dos objetivos estabelecidos, sendo a sensibilidade do indicador às alterações no processo, uma das principais características requeridas. Água, oxigênio, temperatura e resistência mecânica são fatores que estão associados à emergência de plântulas e ao crescimento de raízes, agindo diretamente no crescimento de plantas (PEDROTTI & MELLO JÚNIOR, 2009). Portanto, é necessário o desenvolvimento de indicadores quantitativos da qualidade física do solo relacionados com propriedades físicas como textura, estrutura, porosidade, retenção de água no solo, permeabilidade intrínseca do solo ao ar, etc., pois afetam diretamente esses fatores e, portanto, indiretamente o crescimento e produtividade de plantas.

A relação existente entre o potencial mátrico (ϕ_m) e o conteúdo de água no solo (θ), é importante para a caracterização de muitos dos atributos hidráulicos do solo (CICHOTA & VAN LIER, 2004). Esta relação é definida matematicamente por $\theta = f(\phi_m)$ ou $\phi_m = f(\theta)$ (LAL & SHUKLA, 2004), com a representação gráfica denominada curva característica da água no solo (REICHARDT & TIMM, 2012).

A partir da curva característica de água no solo derivam vários indicadores que podem ser utilizados para inferências sobre a qualidade física do solo, por exemplo, porosidade (macro e microporosidade), distribuição de poros por tamanho e capacidade de água disponível às plantas. Ademais, a partir dela é possível calcular o índice S – a inclinação da reta tangente ao ponto de inflexão da curva característica de água no solo (DEXTER, 2004).

A teoria do índice S considera distribuição unimodal de raios de poros e, desse modo, segundo Durner (1994), não pode ser aplicada para os solos que apresentem curva característica de água com distribuição bimodal ou multimodal de poros. Para Van Lier (2014), a base teórica do índice S é conceitualmente interessante, porém não deve gerar expectativas de que, como um indicador absoluto seja capaz de predizer, sozinho, sobre a qualidade física de solos.

O índice S tem sido muito utilizado para predizer sobre a qualidade física do solo em relação à friabilidade, permeabilidade e estabilidade da estrutura, possibilitando classificar o solo quanto à sua qualidade estrutural, segundo Dexter e Czyz (2007), em muito bom ($S \geq 0,050$), bom ($0,050 > S \geq 0,035$), ruim ($0,035 > S \geq 0,02$) e muito ruim ($S < 0,02$). Estes valores, que classificam o solo quanto à sua qualidade estrutural são arbitrários, por isso há quem considere o uso do índice S como indicador de qualidade física do solo contestável, uma vez que, este não apresenta valores limites que independem do tipo de solo e ambiente e que possam ser interpretados fisicamente. Para Van Lier (2014), o valor limiar comumente utilizado do S é igual a 0,035, não tendo sustentação sob as várias condições de contorno descritas na literatura.

Poucos trabalhos tratam da relação do índice S com os poros no ponto de inflexão da curva característica de água no solo. Santos et al. (2011) evidencia que o índice S sofre alteração e o diâmetro equivalente de poros no ponto de inflexão da curva característica de água no solo é deslocado em função da mudança da densidade do solo. Alencar (2014), ao comparar pontos de inflexão em 60 curvas características de água no solo, fez a análise de regressão das variáveis potencial mátrico no ponto de inflexão (variável dependente) e percentagem de microporos (variável independente), e obteve a função $y = -0,35x + 67,126$, com coeficiente de correlação $r =$

0,76, coeficiente angular b diferente de zero, ambos significativos a 1% de probabilidade, evidenciando que aumento na microporosidade desloca o ponto de inflexão para potenciais mátricos mais negativos.

Partindo da hipótese de que o índice S não está associado exclusivamente a um mesmo valor de diâmetro de poros (que divide as porosidades estrutural e textural do solo), o objetivo deste trabalho é verificar a correlação entre o Índice S e o diâmetro do poro no ponto de inflexão de curvas características de água oriundas de solos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo, para assim realizar as devidas inferências.

Material e Métodos

Coleta de dados

Os dados para a realização deste trabalho foram oriundos de solos da Chapada do Apodi, localizada no estado do Ceará. Foram consideradas 165 curvas características de água no solo, todas de pesquisas realizadas no setor de Física do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, a saber: Grupo I – 30 curvas de uma área cultivada com bananeira e mata nativa secundária contígua (para cada situação foram obtidas 15 curvas, sendo cinco na camada de 0,025-0,075 m, cinco de 0,125-0,175m e cinco de 0,225-0,275m); Grupo II – 30 curvas de uma área cultivada com abacaxi e mata nativa secundária contígua (para cada situação foram obtidas 15 curvas, sendo cinco na camada de 0,025-0,075 m, cinco de 0,125-0,175m e cinco de 0,225-0,275m); Grupo III – 45 curvas de uma área cultivada com mamoeiro, cujo preparo do solo considerou os tratamentos de camalhão e sulco para o plantio, e mata nativa secundária contígua (para cada situação foram obtidas 15 curvas, sendo cinco na camada de 0,025-0,075m, cinco de 0,125-0,175m e cinco de 0,225-0,275m); e Grupo IV – 65 curvas de uma área cultivada com figo, considerando como tratamentos as aplicações de biofertilizante na proporção de 0, 20, 40 e 60% da lâmina de irrigação, e mata nativa secundária contígua (para cada situação foram obtidas 12 curvas, sendo quatro na camada de 0,025-0,075m, quatro de 0,125-0,175m e quatro de 0,225-0,275m).

Nos locais e camadas estudados foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada e não preservada. No material com estrutura preservada foram realizadas análises de granulometria, pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986), e de densidade das partículas, pelo método do balão volumétrico (BLAKE & HARTGE, 1986a). A densidade do solo foi determinada nas amostras com estrutura não preservada, coletadas com amostrador tipo Uhland (cilindros de 0,05m de altura e 0,05m de diâmetro) e secas a 105°C até massa constante (BLAKE & HARTGE, 1986b). Conhecendo-se a densidade do solo e de partículas calculou-se a porosidade total pela equação $PT = [1 - (\rho_s/\rho_p)]$, sendo PT a porosidade total ($m^3.m^{-3}$), ρ_p e ρ_s a densidade de partículas e do solo ($kg.m^{-3}$), respectivamente.

Todas as curvas características da água nos solos foram construídas em dois estágios: o estágio I compreendeu os pontos de baixas tensões (2, 4, 6, 8 e 10 kPa), cujo conteúdo de água foi determinado mediante ao uso do funil de Haines; o estágio II compreendeu os pontos para as tensões mais elevadas (33, 100, 700 e 1500 kPa), obtidos em extrator de placa porosa de Richards (KLUTE, 1986). A saturação, isto é, o ponto correspondente à tensão de 0 kPa, foi considerada como a porosidade total. O ajuste da curva foi feito pelo modelo matemático proposto por van Genuchten (1980) (Equação 1).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\phi_m|)^n]^m}, \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: θ_r e θ_s são, respectivamente, os conteúdos de água residual e de saturação ($m^3.m^{-3}$); ϕ_m o potencial mátrico da água no solo (kPa); α (escalonador do ϕ_m); m e n (parâmetros relacionados ao formato da curva).

Para avaliar mudanças no ponto de inflexão da curva característica da água no solo considerou-se a teoria do índice S , um indicador associado à inclinação da reta tangente a este ponto. De acordo com Dexter e Czyz (2007), a partir da equação de van Genuchten é possível simplificar o cálculo do S ao se derivar essa equação duas vezes em relação ao logaritmo da tensão ($\ln h$) e, igualando-a a zero, obtém-se o módulo do potencial mátrico da água (h_i) no ponto de inflexão (Equação 2).

$$h_i = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{1}{m} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Eq. 2})$$

A inclinação da reta tangente ao ponto de inflexão (índice S) é calculada em termos dos parâmetros da equação de van Genuchten pela Equação 3.

$$S = -n(w_{sat} - w_{res}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad (\text{Eq. 3})$$

Conhecido o potencial mátrico da água no solo no ponto de inflexão (h , eq. 2) e a partir da equação da capilaridade, desde que se considere para as condições da água a temperatura de 25 °C, o ângulo de contato igual a zero para a condição de solo não saturado, é possível determinar o diâmetro equivalente do poro drenado a esta tensão h por meio da Equação 4.

$$\varphi = \frac{0,3}{h} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: φ é o diâmetro equivalente do poro (cm de coluna de água) drenado ao potencial mátrico h , em módulo (cm de coluna de água).

Análise dos dados

Os dados foram analisados considerando para cada grupo de curvas o delineamento experimental inteiramente casualizado: Grupo I – 2 situações de solo e 5 repetições; Grupo II – 2 situações de solo e 5 repetições; Grupo III – 3 situações de solo e 5 repetições; e Grupo IV – 5 situações de solo e 4 repetições; todos com análise individualizada por camada.

Para os grupos I, II e III, individualmente e por cada camada de solo, aplicou-se o teste t de Student a 5% de significância para a comparação das médias (t tabelado, para cinco repetições, igual a 2,306). Para o grupo IV, por cada camada de solo, aplicou-se o teste t de Student a 5% de significância para a comparação das médias (t tabelado, para quatro repetições, igual a 2,448). Foram comparadas as médias das variáveis índice S e diâmetro de poros no ponto de inflexão da curva característica de água no solo entre as situações de uso e manejo do solo para cada espécie cultivada.

Em seguida, considerados os solos em seus usos e manejos, por cultura, foram tomados em cada profundidade os pares de dados (valores médios) para as variáveis índice S e diâmetro equivalente de poros no ponto de inflexão da curva característica de água no solo, aos quais se aplicou análise de regressão (considerando o modelo de regressão linear) e de correlação. Aplicou-se o teste t de Student, ao nível de 5% de significância, para testar os coeficientes angular (b) e de correlação (r).

Resultados e Discussão

Com base no triângulo textural contido em Santos et al. (2013), o solo sob cultivo com bananeira apresenta todas as camadas com textura franco argilosa. Para o solo sob mata nativa, a camada de 0-0,1m foi classificada com textura franco argilosa, enquanto as demais apresentam textura argila. No caso dos solos cultivados com mamoeiro, o manejo em sulco levou a que todas as camadas fossem classificadas com textura franca. No caso do manejo em camalhão e no uso sob mata nativa, as camadas de 0,0-0,1m, 0,1-0,2m e 0,2-0,3m foram classificadas como de textura franco arenosa, franco-argilo arenosa e franco argilosa, respectivamente. Para a situação de solo sob cultivo com abacaxi, as camadas de 0,0-0,1m e 0,1-0,2m foram classificadas com textura franco-argilo arenosa e a de 0,2-0,3m como franco argilosa. Para a situação sob mata nativa, a camada de 0,0-0,1m apresentou textura franco-argilo arenosa; as demais camadas se enquadraram na classe de textura franco argilosa. No caso do cultivo com figo e sua respectiva mata nativa, em todas as situações avaliadas a camada de 0,0-0,1m foi classificada com textura franco arenosa, enquanto as outras camadas apresentaram textura franco-argilo arenosa.

Aplicado o teste t de Student a 5% de significância para comparar as médias do índice S , bem como as médias do diâmetro equivalente de poros no ponto de inflexão da curva característica de água no solo (Tabela 1) verificou-se que na maioria dos casos que não houve diferença significativa para as variáveis comparadas, isto é, não há diferença entre os índices S e entre os diâmetros equivalentes de poros dentro das camadas em cada uma das situações consideradas de uso e manejo dos solos.

Tabela 1. Estatística para o teste *t* de Student a 5 % de significância para a comparação dos índices S e diâmetros equivalentes de poros no ponto de inflexão da curva característica de água no solo

Situações de uso do solo e variáveis comparadas		Camada	Teste t	Camada	Teste t	Camada	Teste t
Mata S φi (μm)	Banana S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	0,210 ^{ns} 1,631 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	-1,358 ^{ns} 0,407 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	-1,311 ^{ns} 1,151 ^{ns}
Mata S φi (μm)	Abacaxi S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	-4,194* -1,283 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	-0,150 ^{ns} 0,159 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	-2,096 ^{ns} -4,545*
Mata S φi (μm)	Mamão Camalhão S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	-2,333* -3,842*	12,5 a 17,5 cm	-2,002 ^{ns} 0,613 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	-0,556 ^{ns} 0,382 ^{ns}
Mata S φi (μm)	Mamão Sulco S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	-4,539* -2,780*	12,5 a 17,5 cm	-2,900* -2,594*	22,5 a 27,5cm	-1,411 ^{ns} -2,833*
Mamão Camalhão S φi (μm)	Mamão Sulco S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	-2,399* -1,517 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	-0,062 ^{ns} -2,620*	22,5 a 27,5cm	-1,142 ^{ns} -2,868*
Mata S φi (μm)	Figo 0% S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	3,149* 1,442 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	2,170 ^{ns} 0,080 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	3,844* 0,806 ^{ns}
Mata S φi (μm)	Figo 20% S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	1,814 ^{ns} 1,667 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	1,518 ^{ns} 0,442 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	1,195 ^{ns} 1,339 ^{ns}
Mata S φi (μm)	Figo 40% S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	4,288* 3,008*	12,5 a 17,5 cm	2,180 ^{ns} 1,987 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	1,447 ^{ns} 0,946 ^{ns}
Mata S φi (μm)	Figo 60% S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	1,176 ^{ns} 1,469 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	0,905 ^{ns} 3,890*	22,5 a 27,5cm	0,141 ^{ns} 2,220 ^{ns}
Figo 0% S φi (μm)	Figo 20% S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	0,127 ^{ns} 0,571 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	0,026 ^{ns} 0,230 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	-1,085 ^{ns} 0,936 ^{ns}
Figo 0% S φi (μm)	Figo 40% S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	1,436 ^{ns} 0,416 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	1,007 ^{ns} 0,941 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	-0,835 ^{ns} 0,371 ^{ns}
Figo 0% S φi (μm)	Figo 60% S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	-0,397 ^{ns} 0,320 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	-1,458 ^{ns} 1,697 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	-2,086 ^{ns} 2,401 ^{ns}
Figo 20% S φi (μm)	Figo 40% S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	0,740 ^{ns} -0,371 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	0,798 ^{ns} 0,847 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	0,197 ^{ns} -0,505 ^{ns}
Figo 20% S φi (μm)	Figo 60% S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	-0,407 ^{ns} -0,237 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	-0,896 ^{ns} 1,827 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	-0,785 ^{ns} 0,679 ^{ns}
Figo 40% S φi (μm)	Figo 60% S φi (μm)	2,5 a 7,5 cm	-1,199 ^{ns} 0,065 ^{ns}	12,5 a 17,5 cm	-1,685 ^{ns} 1,545 ^{ns}	22,5 a 27,5cm	-0,981 ^{ns} 1,388 ^{ns}

Considerando os 45 pares de variáveis analisadas, constata-se que em 80% deles, quando os índices S não diferem estatisticamente, também não há diferença significativa entre os diâmetros equivalentes de poros no ponto de inflexão na curva característica de água no solo, ou seja, o comportamento estatístico do índice S seguiu, na maioria dos casos, o comportamento estatístico do diâmetro equivalente de poros no ponto de inflexão, embora isso não signifique dizer que necessariamente ambas as variáveis sejam fortemente correlacionadas. O que se constata em maior parte das situações, se considerada a avaliação da qualidade física a partir do índice S, é que, os usos e manejos a que os solos foram submetidos não provocam mudanças significativas na estrutura do solo, inclusive no ponto de inflexão das curvas características de água no solo, aliás, como se comprovou nos trabalhos de Mota et al. (2013; 2014) e Alencar (2014).

Analizando as Figuras de 1 a 6, que contêm a correlação e regressão para o índice S e diâmetro equivalente de poros no ponto de inflexão, verifica-se que ao se aplicar a derivada primeira, que corresponde ao próprio

coeficiente angular da função matemática, verifica-se que, o índice S varia muito pouco em relação à variação do diâmetro equivalente de poros no ponto de inflexão da curva característica de água no solo. Além disso, com exceção para a situação em que se compararam as variáveis entre o solo sob mata nativa e sob cultivo com mamão em sulco, não há correlação significativa entre ambas as variáveis pelo teste *t* de Student a 5% de probabilidade. Aplicado o teste *t* de Student ao coeficiente angular *b*, verifica-se que ele não difere de zero e, destarte, a reta que representa a função é paralela ao eixo das abscissas, ou seja, de fato, variações no diâmetro equivalente de poros no ponto de inflexão da curva característica de água no solo não provocaram variações no índice S, deixando claro que não existe relação de causa e efeito entre as variáveis analisadas.

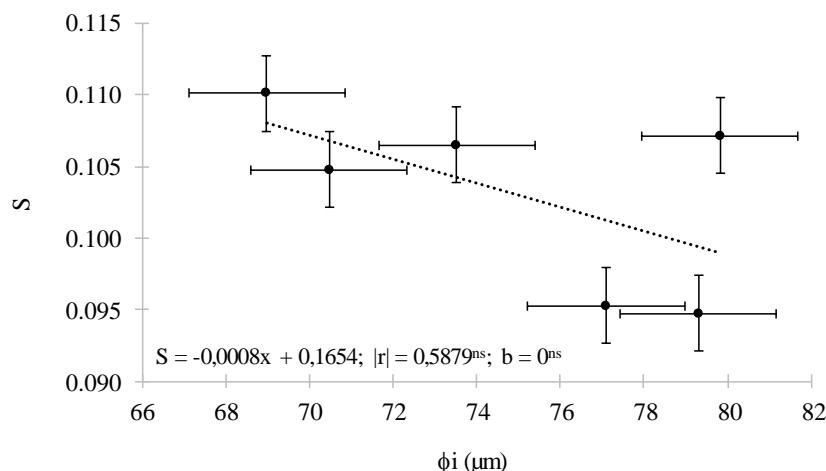


Figura 1. Relação do índice S com o diâmetro de poros no ponto de inflexão da curva característica de água em solo cultivado com banana e sob mata nativa (barras representam o erro padrão).

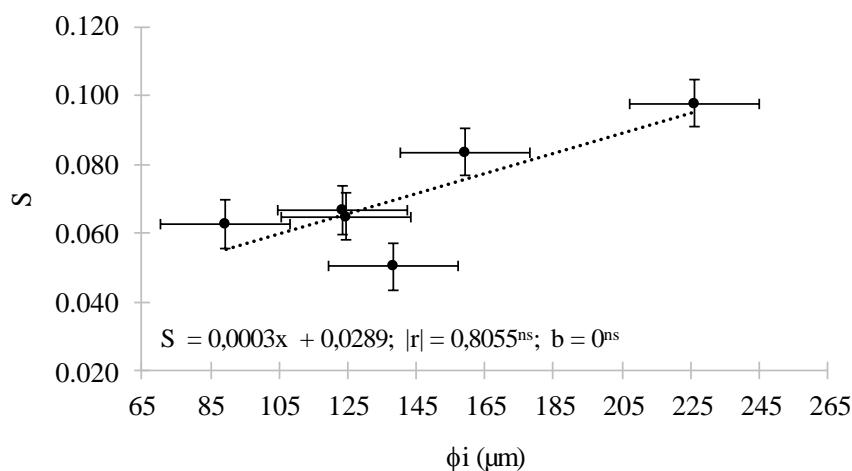


Figura 2. Relação do índice S com o diâmetro de poros no ponto de inflexão da curva característica de água em solo cultivado com abacaxi e sob mata nativa (barras representam o erro padrão).

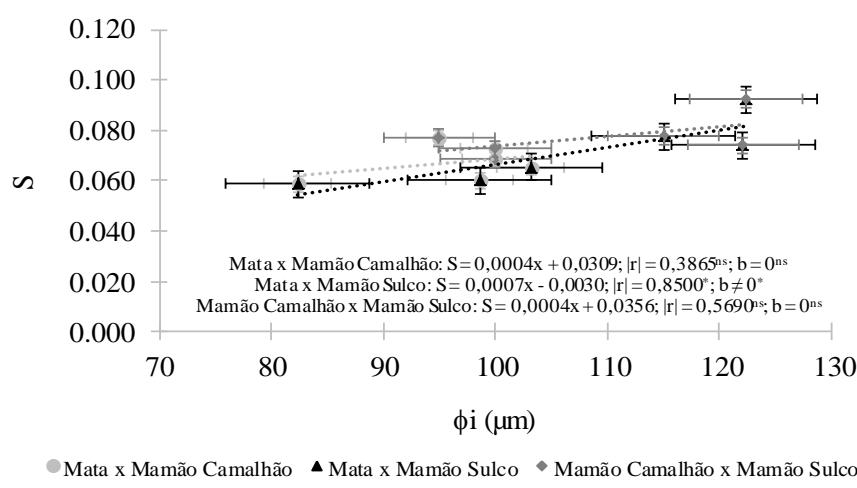


Figura 3. Relação do índice S com o diâmetro de poros no ponto de inflexão da curva característica de água em solo cultivado com mamão e sob mata nativa (barras representam o erro padrão).

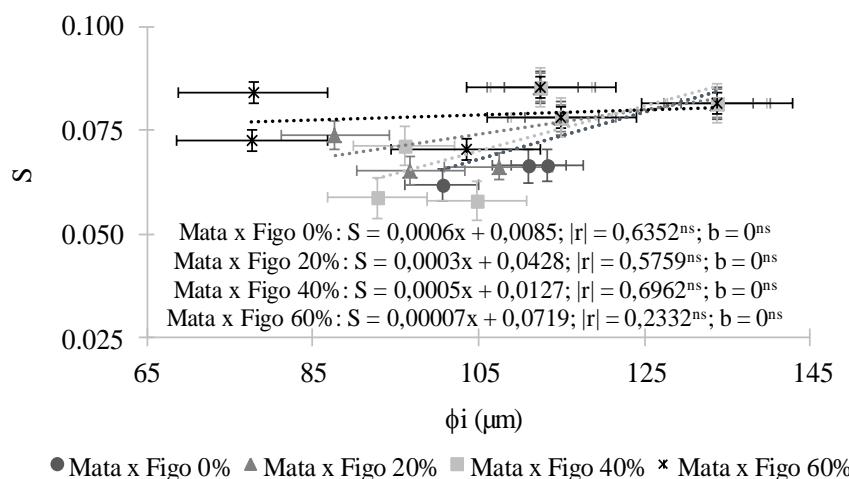


Figura 4. Relação do índice S com o diâmetro de poros no ponto de inflexão da curva característica de água em solo cultivado com figo e sob mata nativa (barras representam o erro padrão).

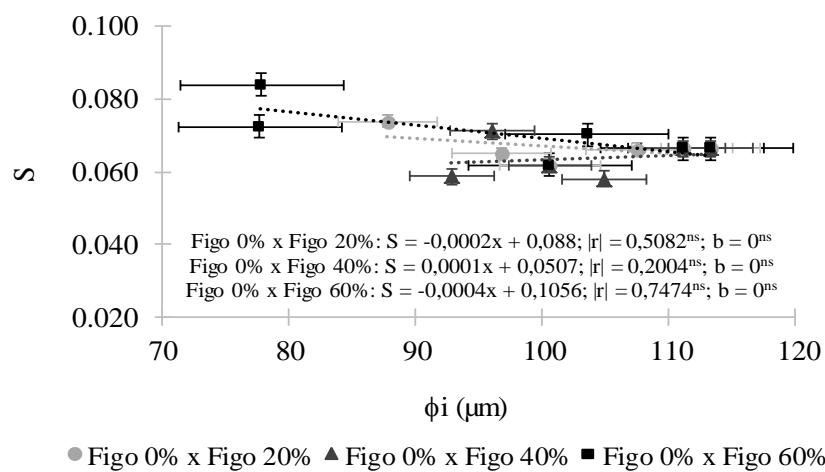


Figura 5. Relação do índice S com o diâmetro de poros no ponto de inflexão da curva característica de água em solo cultivado com figo (barras representam o erro padrão).

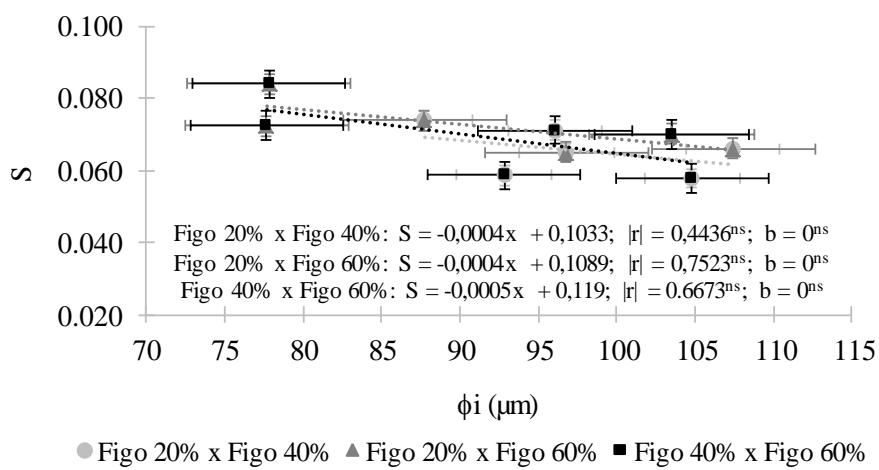


Figura 6. Relação do índice S com o diâmetro de poros no ponto de inflexão da curva característica de água em solo cultivado com figo (barras representam o erro padrão).

Com base na equação da capilaridade de Jurin (Eq. 4), que define o diâmetro de poro correspondente à tensão com que a água se encontra no solo, o diâmetro equivalente de poros que drenam sob o campo de força gravitacional deve ser sempre o mesmo. Vale ressaltar que a inflexão da curva característica de água no solo define o limiar entre as porosidades textural e estrutural (DEXTER, 2004), portanto também indicadora da

capacidade de campo. Para ilustração, considere que o menor poro a ser drenado pelo campo de força gravitacional seja de $50\mu\text{m}$. Não necessariamente é esse diâmetro que define a inflexão da curva, visto que, nem há poros com esse diâmetro no solo, daí o porquê de a inflexão da curva ser deslocada para a esquerda ou direita em função da variação dos poros do solo.

Os efeitos do manejo sobre a geometria e distribuição dos poros são vários, de grande complexidade, uma vez que dependem da estrutura, da composição do solo, daí a dificuldade do pleno entendimento das relações entre índice S e diâmetro de poros na inflexão (SANTOS et al., 2011).

Conclusão

O índice S não apresentou correlação significativa com o diâmetro equivalente de poros no ponto de inflexão da curva característica de água no solo.

Agradecimentos

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo apoio financeiro à pesquisa.

Referências

- ALENCAR, T. L. Alterações físicas em um Cambissolo tratado com biofertilizante: indicadores de qualidade e refinamento do método de avaliação pelo S relativo. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986a. pt.1, p.363-375. (Agronomy Monograph, 9).
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986b. pt.1, p.377-382. (Agronomy Monograph, 9).
- CICHOTA, R.; JONG VAN LIER, Q. Análise da variabilidade espacial de pontos amostrais da curva de retenção da água no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.4, p. 585-596, 2004.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, v.120, n.3-4, p. 201-214, 2004.
- DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A. Applications of S-theory in the study of soil physical degradation and its consequences. Wiley Interscience, n.4, p.369-381, 2006.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAM, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. (Publication Special, 35).
- DURNER W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resource Research*, v.30, p.211-223, 1994.
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt.1, p.383-411. (Agronomy Monograph, 9).
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt.1, p.635-662. (Agronomy Monograph, 9).
- LAL, R.; SHUKLA, M. K. principles of soil physics. New York: Marcel Dekker, 2004. 682p.
- MOTA, J. C. A.; ALVES, C. V. O.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Uni and multivariate analyses of soil physical quality indicators of a Cambisol from Apodi Plateau-CE, Brazil. *Soil Tillage Research*, v.140, p.66-73, 2014.
- MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.1196-1206, 2013.
- PEDROTTI, A.; MELLO JÚNIOR, A. V. Avanços em Ciência do Solo: a física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental. São Cristóvão: Editora da Universidade Federal de Sergipe, 2009. 212p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. São Paulo: Manole, 2004.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. *Ciência Rural*, v.36, n.6, p. 1931-1935, 2006.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.
- VAN GENUCHTEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.892-897, 1980.

USO DE PRODUTO A BASE DE ALGA NO TRATAMENTO DE SEMENTES NA SOJA**¹Silene Tais Brondani****²Ana Paula Moraes Mourão Simonetti**¹Bacharel em Agronomia pelo Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – Paraná, silenetais@outlook.com²Doutora em Engenharia Agrícola pela UNIOESTE, Professora e Coordenadora do Curso de Agronomia – Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – Paraná, anamourao@fag.edu.br**Introdução**

A cultura da soja já existe no Sul do Brasil a mais de 130 anos, desde então, essa oleaginosa passou a ser explorada em diferentes regiões do país (FREITAS, 2011). O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, sua área de plantio tem se expandido ao decorrer dos anos. A cada ano a cultura obteve aumento, segundo CONAB (2016), cerca de 1,9%, em relação à safra anterior, isto se dá pela utilização de pacotes tecnológicos e material genético excelente disponível para os produtores rurais, e pelo clima que auxiliou para a produção de safra recorde.

De acordo com Carvalho (2013), a produtividade é o componente genético que a semente irá desenvolver sua expressão conforme as condições que foram expostas, isso irá refletir sobre o número de vagens por planta, número de sementes por vagem e o rendimento da cultura. Produtividade é um dos pontos mais importantes de uma safra, a mesma demanda um custo ao produtor rural, porém apresenta grandes resultados quando aliada a tecnologias mais atualizadas do mercado (CONAB, 2016).

A temperatura ideal da cultura da soja para seu desenvolvimento é em torno de 30°C, podendo adaptar de 20 a 30°C, sua semeadura deve ser realizada até 20°C, não menos que isso, pois a baixa temperatura prejudica a germinação e emergência no seu desenvolvimento inicial. Sua floração é evidenciada em temperaturas que sejam acima de 13°C (EMBRAPA, 2011).

Uma semente de alto vigor necessita de uma emergência da cultura com controle de patógenos no meio, para isto, o tratamento de sementes é a garantia de melhor distribuição entre plantas pelo fato de controlar patógenos indesejáveis para uma grande produção. O tratamento de semente retarda quaisquer ações que possam vir a prejudicar o seu desenvolvimento, especialmente a deficiência hídrica onde a semente é revestida e evita-se o problema gerado. O contato com a semente ajuda a protegê-la contra fungos do solo que estão presentes no meio (EMBRAPA, 2016).

Atualmente, muitos tratamentos de sementes já recebem o complemento com extratos de algas. Os benefícios das algas na agricultura são altos, pois, sua composição favorece a vida microbiológica do solo. Segundo Alves e Fernandes (2014), o uso de algas no solo na agricultura é trabalhado há anos, a prática era realizada pelos romanos que juntavam as algas coletadas no mar e eram incorporadas ao solo, para manejo do solo ou em hortaliças.

As algas podem funcionar na agricultura como fonte natural de macro e micronutrientes, além de possuírem concentrações de sais minerais. Algumas marinhas são ricas em bioestimulantes naturais e de nutrientes, a mesma favorece a divisão celular, o que faz com que melhore o enraizamento das plantas. Ainda podem fortalecer a resistência dos vegetais a pragas e doenças. Algumas são seres que fazem fotossíntese, podendo ser unicelular ou pluricelulares (TEIXEIRA, 2015).

Vários são os estudos realizados com algas na agricultura; em experimento realizado por Guimarães et al. (2012), o resultado apresentado pela aplicação do extrato de alga (Raiza®) na produção de mudas do mamão foi positivo em concentrações de 2%, onde o mesmo se mostrou eficiente ao teste; podendo ser utilizada como uma alternativa viável na produção de mudas de mamão. Já para Matos et al. (2015), o uso de extratos de algas *Ascophyllum nodosum* não trouxe resultados significativos para a cultura do trigo. Confirmando os estudos de Marafon e Simonetti (2016), foram analisadas aplicações e dosagens de extrato de algas na cultura da soja e obtiveram os resultados de que a macroalga marrom *Ascophyllum nodosum* não obteve melhorias sobre a cultura da soja em relação à massa de planta inteira, massa de raiz, massa de parte aérea, comprimento de planta inteira, comprimento de raiz, comprimento de parte aérea, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de mil grãos e produtividade.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito do extrato de algas no tratamento de sementes, em duas cultivares de soja.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de outubro 2016 a fevereiro 2017, no município de Santa Helena- PR, na Linha Progresso I, latitude 24°51'46.9"S e longitude 54°21'22.8"W de 258 metros de altitude. O município está localizado numa região muito favorável de solo e clima, com um clima Subtropical, quente e temperado e um Latossolo roxo extremamente fértil. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano. A pluviosidade média anual é de aproximadamente 1635mm.



não houve diferença significativa, porém, comparando o uso ou não do produto a base de algas no tratamento de sementes, as sementes com o produto apresentaram diferença significativa em relação às sementes sem o produto, sendo de 14,25 cm com o uso do produto, enquanto sem o produto o mesmo apresentou uma média de 13,58 cm.

Tabela 1. Comprimento de planta (cm) ao 10ºdia, porcentagem (%) de plântulas emergidas ao 10ºdia e tamanho de parte aérea (cm) aos 50º dia após semeadura, em resposta aos parâmetros de cultivares e com produto ou não a base de algas no tratamento de sementes

Comp. de planta	10º dia (cm)	% de plantas	Tamanho parte aérea
		emergidas (10º dia)	50º dia (cm)
Cultivar (C)			
® IPRO 6410	13,75 a	87,15% a	160,0 a
® 6767 RR	14,08 a	84,61% a	162,0 a
Produto base de alga (P)			
Com produto	14,25 a	88,46% a	163,0 a
Sem produto	13,58 b	83,30% b	160,0 a
CV (%)	5,16	6,94	6,32
C	ns	ns	ns
P	*	*	ns
C x P	ns	ns	ns

n.s.: não significativo; *: significativo a 5% de probabilidade; CV%: Coeficiente de variância.

Assim como, o resultado encontrado por Oliveira et al. (2016), analisando o parâmetro de altura, não houveram diferenças significativas entre as cultivares na cultura da soja, da que possuem ciclo de maturação parecidos e/ou semelhantes, quando o mesmo comparou as variedades M 8210 (8.2) e M 8644 (8.6) e não encontrou diferenças relevantes para variáveis altura de plantas em diferentes épocas de semeadura.

Os dados do presente experimento estão de acordo com os observados por Carvalho e Castro (2014), que perceberam que o uso de extrato de algas no tratamento de semente proporcionou um melhor desenvolvimento das plântulas comparado a não utilização, um incremento de tamanho de até 123%, além de proporcionar um maior crescimento de raiz principal, laterais e um incremento de massa seca de plântulas.

Já no parâmetro porcentagem de plantas emergidas ao 10º dia, quando analisados os fatores em conjunto não houve interação significativa entre os mesmos. Na análise das cultivares, ambos obtiveram o mesmo valor estatisticamente, porém quando analisado o fator de uso de produto comparado a não utilização, foi obtido um diferencial significativo no comportamento da planta. Os dados obtidos corroboram aos encontrados no estudo realizado por Araújo (2016), onde foi utilizado *A. nodosum* na cultura da soja, e os resultados foram positivos para o desenvolvimento inicial da cultura, desde que devidamente fracionado o produto.

No parâmetro tamanho de parte aérea (cm) ao 50º dia, os fatores examinados em conjunto não apresentaram interação significativa, assim como separadamente, o fator cultivar e o fator produto. Os dados apresentados na Tabela 1, também tornam evidente sua homogeneidade, já que segundo Pimentel e Garcia (2002), coeficiente de variação até 10% demonstram baixa dispersão e alta homogeneidade dos dados.

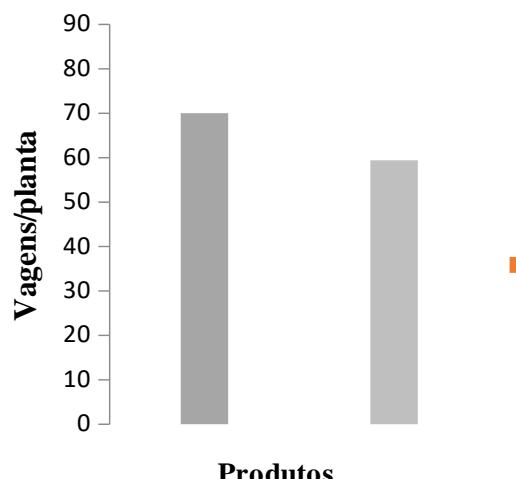


Figura 1. Porcentagem vagens/planta de soja com e sem uso de produto a base de algas, à campo em Santa Helena – PR.

Conforme apresentado na Figura 1, houve diferença significativa no número de vagens/planta com ou sem uso do produto a base de algas, onde o resultado obtido com a utilização do produto foi de 70,01, e sem produto houve um decréscimo no número de vagens/planta, sendo a média de 59,41. Esses dados estão de acordo com os observados por Marques e Simonetti (2014), em que foi utilizado bioestimulante a base de algas na cultura da soja, os quais demonstraram um aumento em relação ao número de vagens/planta.

Em virtude de não haver interação significativa entre os fatores, foram analisados separadamente os fatores. Na Figura 2a, o parâmetro analisado é a massa de mil grãos (g) em duas cultivares diferentes; e nota-se que a cultivar 1 apresenta a massa de 14,05g, significativamente maior que a cultivar 2 que apresenta 10,72g; o que se justifica, pois segundo Cruz (2010), cultivares diferentes e épocas de semeaduras diferentes interferem no resultado quando o parâmetro a ser avaliado for os dados médios da massa de mil grãos. Para Fiorese (2013), as cultivares Nidera e Brasmax apresentaram diferença significativa para o parâmetro massa de mil grãos, quando analisados a forma de semeadura convencional e cruzada.

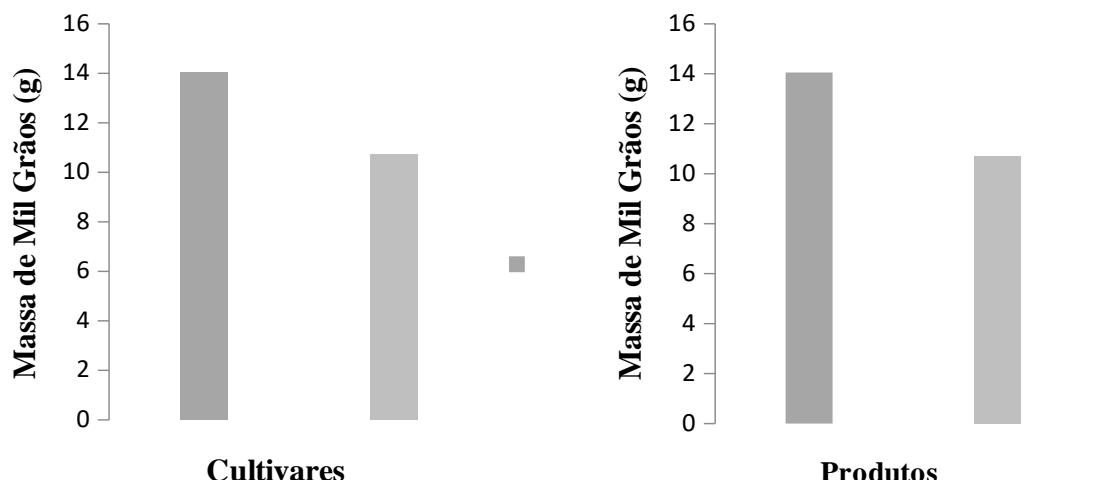


Figura 2. (a) Porcentagem massa de mil grãos (g) de soja comparando as duas cultivares; (b) Porcentagem massa de mil grãos (g) de soja com ou sem uso de produto a base de algas.

Já na Figura 2b o parâmetro avaliado continua sendo a massa de mil grãos (g), porém, analisadas quanto ao uso ou não do produto. O uso de produto a base de algas na cultura da soja foi estatisticamente superior aos resultados apresentados pelas cultivares não submetida ao produto. O incremento da massa de mil grãos de soja também foi observado por Ferrazza e Simonetti (2010), que verificaram na variedade BRS-232 diferenças significativas, tanto na massa de mil grãos quanto na produtividade, entretanto, se contrapõem ao encontrado por Marques e Simonetti (2014), onde utilizando produtos estimulantes a base de extrato de algas na cultura da soja, não obtiveram resultados significativos em relação a massa de mil grãos, demonstrando resultado significativo somente na produtividade da cultura.

Tabela 2. Produtividade (kg ha^{-1}), em resposta aos parâmetros de cultivares, e com ou sem o uso de produto a base de alga no tratamento de sementes, em Santa Helena-PR

Com produto	Sem produto	
	Cultivar (C)	
® IPRO 6410	4 381,31 aA	4 363,46 aA
® 6767 RR	3 995,06 bA	3 631,61 bB
CV (%)		2,43%

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV (%): Coeficiente de variação. Letras minúsculas na coluna; Letras maiúsculas nas linhas.

Já no parâmetro produtividade quando comparando os dois dados, os mesmos apresentaram interação entre si. Tanto no fator cultivar, quanto no fator com uso ou não do produto a base de algas no tratamento de sementes da soja, a diferença foi significativa tendo um coeficiente de variância de 2,43% conforme a Tabela 2. Confirmando a hipótese de Bertolin et al. (2010), onde o mesmo encontrou um incremento de produtividade de grãos com a utilização de bioestimulante tanto em tratamento de semente quanto via foliar.

Conclusão

O uso de produto a base de algas na cultura da soja trouxe incremento positivo na porcentagem plantas emergidas e comprimento das plântulas aos 10 dias, independentemente da cultivar estudada e número de vagens/plantas.

Em relação à massa de mil grãos a cultivar ® IPRO 6410 foi superior; e o uso do produto trouxe incrementos significativos em ambas cultivares.

Relacionado à produtividade, o tratamento de semente a base de extrato de algas proporcionou um incremento de produtividade significativo.

Referências

- ALVES, A.; FERNANDES, A. L. T. Composto de algas traz maior produtividade ao café. Revista Campo & Negócios, 2014. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/composto-de-algas-traz-maior-produtividade-ao-cafe/>>. Acesso em: 2 de outubro de 2017.
- ARAÚJO, D. K. Extratos de *Ascophyllum nodosum* no tratamento de sementes de milho e soja: avaliações fisiológicas e moleculares. 108f. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2016.
- BERTOLIN, D. C.; SÁ, M. E.; ARF, O.; JUNIOR, E. F.; COLOMBRO, A. S.; CARVALHO, F. L. B. M.; Aumento da produtividade de soja com aplicação de bioestimulante. Bragantia, v.69, n.2, p.339-347, 2010.
- CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. C.; Extratos de algas e suas aplicações na agricultura. 58f. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2014.
- CARVALHO, M. E. A. Desenvolvimento e produtividade do trigo IAC 364 tratado com extrato de *Ascophyllum nodosum*. Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba, 2013. p.59- 67.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos, Safra 2015/16. Sexto Levantamento - Março/2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_03_11_15_20_36_boletim_graos_marco_2016.pdf> Acesso em: 13 de fev. 2017.
- CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C.; PEIXOTO, M. S. P. Componentes de produção de soja em diferentes épocas de semeadura, no Oeste da Bahia. Biosci. J., v.26, n.5, p.709-716, 2010.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologia de produção de soja - Região Central do Brasil. Embrapa Soja. Londrina, PR: 2010/2011. Disponível em: http://www.cnpso.embrapa.br/download/Sistema_Producao14_VE.pdf. Acesso em: 12/10/2017.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. Embrapa Soja. Londrina, PR: 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151223/1/Documentos-380-OL1.pdf>. Acesso em: 11/11/2017.
- FERRAZZA, D.; SIMONETTI, A. P. M. M. Uso de extrato de algas no tratamento de semente e aplicação foliar, na cultura da soja. Revista Cultivando o Saber, v.3, n.2, p.48-57, 2010.
- FIORESE, K. F. Avaliação das características agronômicas e produtividade de cultivares de soja em diferentes sistemas de semeadura. 24f. Monografia (Agronomia). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. Brasília, 2013.
- FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. Encyclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v.7, n.12, p.01-12, 2011.
- GUIMARÃES, I. P.; BENEDITO, C. P.; CARDOSO, E. A.; PEREIRA, F. E. C. B.; OLIVEIRA, D. M. Avaliação do uso do extrato de alga (Raiza®) no desenvolvimento de mudas de mamão. Encyclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v.8, n.15, p.312-320, 2012.
- MARAFON, F.; SIMONETTI, A. P. M. Formas de aplicação e dosagens do extrato de algas na cultura da soja. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 3, 2016, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, PR, 2016.
- MARQUES, M. E. R.; SIMONETTI, A. P. M. Aspecto produtivo do uso de bioestimulantes na cultura da soja. Revista Acta Iguazu, v.3, n.4, p.155-163, 2014.
- MATOS, S. E.; SIMONETTI, A. P. M. M.; OLIVEIRA, E. Uso de produto a base de extrato de algas na cultura do trigo IPR Catuara na região Oeste do Paraná. Revista Cultivando o Saber, Edição Especial, p.138-147, 2015.
- OLIVEIRA, K. M.; LOPES, G. P.; SILVA, L. S.; SILVA, C. M.; MIELEZRSKI, F. Desempenho agronômico de três cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 3, 2016, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, PR, 2016.
- PIMENTEL, G. F.; GARCIA C. H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais exposição de exemplos e orientações para uso de aplicativos. Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz Queiroz. Piracicaba: FEALQ, 2002.

ROSETTO, L. A.; SIMONETTI, A. P. M. Aplicação de produtos à base de algas e musgos na cultura do trigo. Revista Cultivando o Saber, n.2, v.5, p.149-156, 2012.

TEIXEIRA, N. T. Algas marinhas aumentam o peso da batata. Revista Campos e Negócios 2015. Publicado em 26 de fevereiro de 2015. Disponível em: <http://www.revistacampoenegocios.com.br/>. Acesso em: 20 de junho de 2017.

USO DO CACTUS *Opuntia cochenillifera* COMO COAGULANTE ORGÂNICO PARA A OBTENÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL DE UM CORPO LÊNTICO

¹Johicy Helenn Parra

²Joseane Debora Peruco Theodoro

¹Acadêmica em Engenharia Ambiental, UTFPR/Campus Londrina, johicy.parra@gmail.com

¹Professora Adjunto, UTFPR/Campus Londrina, jtheodoro@utfpr.edu.br

Introdução

O acesso da população a água em quantidade e qualidade é um direto garantido por lei, o Ministério da Saúde em sua Nº 2914/2011 consolidada pela 5º portaria de consolidação de 28 de setembro de 2017, define os padrões para que a mesma seja considerada própria para consumo humano. Processos como coagulação, floculação, sedimentação, e filtração são realizados nas estações de tratamento de água (ETA) para que água passe do estado bruto, impróprio para o consumo, para o estado tratado ou potável, podendo por fim ser distribuída (SABESP, 2018).

Segundo Von Sperling, na ótica da Engenharia Ambiental, o conceito de água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula H₂O. Isto porque a água, devido às suas propriedades de solvente e a sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si várias impurezas, as quais definem a qualidade da água. As impurezas da água podem ser químicas (orgânicos ou inorgânicos), físicas (sólidos ou gases) e biológicas (organismos). Quando coletada de mananciais superficiais, as impurezas são mais representativas, devido aos sólidos dissolvidos, suspensos ou coloidais presentes naturalmente no leito do rio, mas também devido ao carreamento de sedimentos devido a ação humana ou ação hídrica fluvial e pluvial (VON SPERLING, 2005).

Para viabilizar o consumo da água de rios, lagos e córregos, é necessário a realização do tratamento da água coletada, este processo é realizado por companhia de saneamento. Em suma, a clarificação da água se dá devido a remoção de sólidos que é feita da seguinte forma, adicionando um agente coagulante, posteriormente é realizado um processo de agitação para que se formem flocos aos quais as impurezas são agregadas formando coágulos mais pesados que, devido a ação da gravidade, sedimentam deixando a água mais cristalina, reduzindo ao máximo sua turbidez e cor aparente (COPASA, 2018; SANESUL, 2018).

No processo de tratamento de água, a coagulação tem papel fundamental, nesta etapa os coagulantes atuam desestabilizando os coloides que ao passarem por um processo de agitação rápida do fluido, se tornam eletricamente instáveis e mais propensos a formarem flocos. Por isso, a escolha do coagulante tem papel fundamental, os mais utilizados em larga escala são os químicos, como sulfato de alumínio ou o cloreto férrico, devido aos baixos custos. No entanto, estes, apresentam algumas desvantagens como a ineficiência em baixas temperaturas, alto volume de geração de lodo, ação sobre o pH da água, e possíveis efeitos nocivos à saúde humana (YIN, 2010; THEODORO et al., 2013).

Segundo Borba (2001), os coagulantes clássicos ou convencionais, tais como o sulfato de alumínio, cloreto ferroso, cloreto férrico, além de outros, devido a grande eletropositividade dos elementos químicos que os compõem, quando são dissolvidos na água, geralmente formam compostos gelatinosos, dotados de cargas positivas (coagulantes catiônicos). O mecanismo de formação dos flocos ocorre através da neutralização entre a acidez do coagulante e a alcalinidade natural ou adicionada à água; por atração eletrostática entre as cargas positivas resultantes da ionização do coagulante, e as cargas negativas das partículas (impurezas), que estão dispersas na água. Os flocos são entidades maiores, mais pesadas, dotadas de ligações iônicas, que têm tendência de se precipitarem quando há uma diminuição da velocidade do fluxo de água. Nas estações de tratamento de água, esses fenômenos começam a ocorrer, de maneira simultânea, na mistura rápida e se consolida durante a mistura lenta (flocação).

É desejável que coagulantes alternativos, ambientalmente mais aceitáveis e com custo mais acessível, sejam utilizados para complementar (ainda que não substituir) os sais de alumínio, ferro e polímeros sintéticos. Neste contexto, os coagulantes vegetais representam uma alternativa viável que tem ressurgido para o tratamento de água em países em desenvolvimento (RAMOS, 2005).

Os coagulantes naturais têm demonstrado uma série de vantagens em relação aos coagulantes químicos, entre as quais, destacam-se o fato de não alterarem significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento, e não apresentarem problemas de corrosão (SANTOS et al., 2009).

A busca na biodiversidade dos recursos naturais em um coagulante orgânico, biodegradável, para a clarificação de água bruta, que apresente baixa toxicidade e seja de uso simples, barato e de fácil obtenção e aplicação (SILVA, 2005).

Uma alternativa mais sustentável, são os coagulantes naturais como os Cactos, Moringa Oleífera e os Taninos que vêm demonstrado vantagens em relação aos coagulantes químicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES 2004; FERRARI, 2015; GOES, 2017). Devido a abundância de plantas que podem se apresentar como fonte para extração, quando aplicados como coagulantes primários ou auxiliares, estes polímeros se mostram como alternativas viáveis para substituir ou reduzir o uso de coagulantes químicos (THEODORO et al., 2013; GOES et al., 2017).

Segundo o Jardim de Calatéia (2018), a *Opuntia cochenillifera* também conhecida como *Nopalea cochenillifera* ou usualmente por Palma-forrageira, pertencente a família cactácea e é uma espécie exótica originária do México, mas difundida por várias regiões do Brasil principalmente a região Nordeste. Usada de formas diversas como a alimentação de gados, uso paisagístico e produção de corante natural. Atualmente, vem sendo pesquisada para o uso como coagulante natural (GOES, 2017).

Com isso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a partir da Portaria 2.914/11 atualizada pela Portaria de consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017 ambas do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011; 2017), o desempenho do coagulante natural cacto *Opuntia cochenillifera* nos processos de tratamento de água de amostra do Lago Igapó II situado no município de Londrina -PR.

Material e Métodos

A área de estudo denominada Lago Igapó II, está localizado no Ribeirão Cambé, em Londrina, Estado do Paraná. Segundo a Prefeitura de Londrina (2018), o Lago Igapó, que hoje é um importante ponto turístico da cidade, foi projetado como uma solução para o problema da drenagem do ribeirão Cambezinho, dificultada por uma barragem natural de pedra, em 1957. Um ambiente lêntico caracterizado por apresentar alta densidade e viscosidade, além de baixo teor de sais dissolvidos (ESTEVES, 2011; GOES, 2017).

Foi realizada a coleta de um de galão de 30L de água após um dia de chuva, período em que as águas apresentam maior turbidez e cor aparente, devido a descarga de água de chuva que vem carregando sedimentos da região ao entorno. O ponto de coleta tem coordenadas aproximadas de 23.328478 S, 51.169328 W e altitude de cerca de 600 m acima do nível do mar, assim como observa-se na Figura 1.

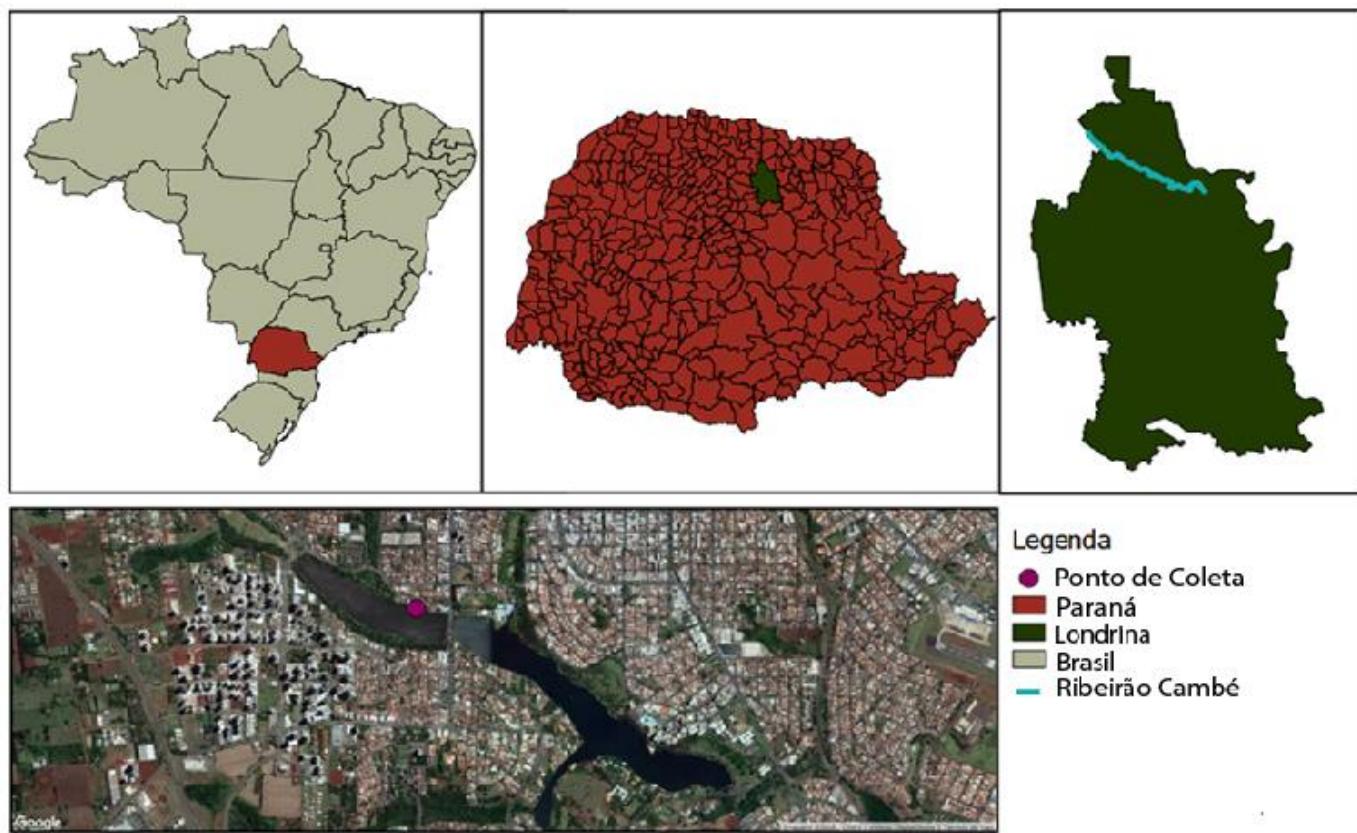


Figura 1. Localização do ponto de coleta de água. Fonte: Adaptado de Google (2018) e SIGLON (2018).

A extração do coagulante do cacto *Opuntia cochenillifera* foi realizada com a limpeza da palma, retirando espinhos e casca (Figura 2a e 2b), após, com o auxílio de uma colher, extraiu-se a parte interior mais clara (Figura 2c), posteriormente essa parte foi liquidificada junto a uma porção de água (Figura 2 d), e peneirado e colocado

em recipiente e armazenado a 5°C em um refrigerador até a hora de sua utilização no equipamento Jar Test (Figura 2d) utilizando o procedimento adaptado de Goes (2017).



Figura 2. a) Palma do cactus *Opuntia cochenillifera*, b) Retirada de espinhos e casca, c) Raspagem do interior, d) liquidificação, e) Resultado final do coagulante após peneiramento.

Foram preparados 2 litros de solução de extração, por meio de um litro de água destilada com 4g de soluções de cloreto de sódio a 1%, e um litro de água destilada com 10g de hidróxido de sódio 0,10 mol L⁻¹ (ZARA et al., 2012; GOES et al., 2017). O galão de água coletado foi separado em três partes, um terço com pH neutro da amostra inalterada. A segunda parte da água teve seu pH ajustado para ácido com o auxílio de uma solução de ácido clorídrico (HCl), concentração de 1 M. A terceira parte para pH básico, com o auxílio da solução de hidróxido de sódio (NaOH), na concentração 1 M.

Nos ensaios colocou-se uma proporção de 1 mL de coagulante preparado para 2,5 mL da solução de extração, em três variações de concentrações (-1, 0 e 1). Utilizando um planejamento estatístico com duas variáveis independentes (pH e concentração de coagulante), obteve-se 18 ensaios, uma duplicita de cada uma das nove variações conforme observa-se na Tabela 1.

Tabela 1. Numeração das amostras e suas respectivas variações de concentração e pH

Amostra	Réplica	pH	pH	Concentração	Coagulante (mL/L)	Solução (mL/L)
1	1	-1	3,4	-1	2	5
2	1	-1	3,4	0	4	10
3	1	-1	3,4	1	6	15
4	1	0	6,69	-1	2	5
5	1	0	6,69	1	6	15
6	1	1	9,91	-1	2	5
7	1	1	9,91	0	4	10
8	1	1	9,91	1	6	15
9	1	0	6,69	0	4	10
10	2	-1	3,4	-1	2	5
11	2	-1	3,4	0	4	10
12	2	-1	3,4	1	6	15
13	2	0	6,69	-1	2	5
14	2	0	6,69	1	6	15
15	2	1	9,91	-1	2	5
16	2	1	3,4	0	4	10
17	2	1	3,4	1	6	15
18	2	0	6,69	0	4	10

Os ensaios foram realizados no equipamento Jar-test de seis provas, com regulador de rotação das hastes misturadoras. Foi inserido em cada compartimento do equipamento 2L de água com diferentes pH e sua respectiva concentração de solução de extração e coagulante natural. Após realizou-se o processo de rotação do equipamento em diferentes velocidades (Tabela 2) para que acorresse os processos de coagulação e floculação.

Tabela 2. Gradiente de rotação das hastes misturadoras e tempo de ação

Mistura rápida	Mistura Lenta	Mistura Lenta	Mistura Lenta	Mistura Lenta
Gradiente (s⁻¹)	540	90	52	40
Tempo (min)	00:10	02:00	02:35	02:40

Fonte: Trevisan et al. (2014); Higashi (2016); Goes et al. (2017).

Foram coletadas amostras para análise nos tempos de 0, 20, 40 e 60 minutos após desligamento do equipamento, período onde ocorreu o processo de sedimentação. Para todas as amostras em todos os tempos, foram determinados os parâmetros de cor aparente, turbidez, pH e condutividade elétrica de acordo com o Standard Methods of Examination of Waterand Wastewater (Tabela 3) (APHA, 2012).

Tabela 3. Equipamentos e metodologia para a bateria de ensaios

Parâmetros	Equipamentos	Metodologia
Cor aparente	Espectrofotômetro HACH DR-5000	2120 C
Turbidez	Turbidímetro Policontrol AP-2000	2030 B
pH	pH-metro mPA-210	4500 H ⁺ B
Condutividade elétrica	Condutivímetro Mca 150	2510 B

Fonte: Apha (2012).

Após os resultados foram avaliados e comparados com o padrão permitido pela Portaria 2.914/11, atualizada para Portaria de Consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017 ambas do Ministério da Saúde (Tabela 4), podendo assim indicar se o procedimento experimental foi satisfatório.

Tabela 4. Valores permitidos de alguns parâmetros da água segundo o Ministério da Saúde Portaria 2914/11

Parâmetros	Padrão
Cor aparente	15 mgPt-Co.L ⁻¹
Turbidez	5 NTU
pH	6,0 a 9,0
Condutividade	-

Fonte: Ministério da Saúde Portaria 2914/11 PRC 5º 20 de setembro de 2017.

Resultados e Discussão

Para todos os tempos, em todas as amostras, coletou-se cerca de 150 mL de água para aferir os parâmetros de cor aparente, turbidez, condutividade elétrica e pH com resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6 e observados nas Figuras 4 a 7.

Tabela 5. Valores de cor aparente e turbidez nos diferentes tempos e amostras

Amostras	Remoção de Cor Aparente (%)				Remoção de Turbidez (%)			
	0 (min)	20 (min)	40 (min)	60 (min)	0 (min)	20 (min)	40 (min)	60 (min)
1	48,0	64,8	68,7	74,7	61,1	82,1	81,5	81,5
2	24,6	57,3	55,9	58,7	50,5	88,0	76,9	78,2
3	28,1	57,7	58,4	67,6	55,5	77,0	78,1	80,5
4	10,3	6,8	9,3	14,6	45,3	53,5	56,5	58,5
5	22,8	29,2	31,0	24,2	64,5	66,0	69,2	69,8
6	-2,8	42,0	42,3	41,3	69,1	69,4	72,6	72,1
7	6,8	44,5	43,1	40,2	19,8	70,7	70,8	72,6
8	-1,4	45,2	43,4	43,4	34,0	72,2	73,6	72,8
9	24,6	24,6	29,9	27,4	62,5	66,2	66,8	67,9
10	60,1	80,8	79,4	86,1	63,3	88,3	89,8	89,6
11	31,3	61,9	66,2	68,3	54,5	78,6	79,2	81,0
12	32,4	64,4	61,2	66,2	47,2	79,7	80,7	81,1
13	24,2	27,8	30,6	31,3	61,2	63,5	64,7	66,2
14	-12,8	8,5	5,3	12,1	34,9	58,7	58,9	60,9
15	30,6	48,8	48,8	47,7	56,1	71,4	74,7	74,7
16	-1,1	33,8	41,3	50,9	41,0	66,3	69,1	70,3
17	-4,6	30,6	38,1	39,9	37,7	65,6	68,7	70,3
18	-9,6	10,7	7,8	14,6	46,2	56,9	56,6	59,3

Tabela 6. Valores de pH e condutividade elétrica nos diferentes tempos e amostras

Amostra	Condutividade Elétrica (mS)				pH			
	0 (min)	20 (min)	40 (min)	60 (min)	0 (min)	20 (min)	40 (min)	60 (min)
1	0,37	0,37	0,36	0,38	8,74	8,27	8,7	8,86
2	0,45	0,47	0,47	0,47	9,34	9,62	9,4	9,47
3	0,56	0,57	0,57	0,57	10,12	10,29	9,98	10
4	0,34	0,34	0,34	0,35	10,22	10,18	10,2	10,29
5	0,56	0,53	0,57	0,57	10,55	10,86	10,98	11,02
6	0,49	0,49	0,49	0,49	10,82	10,83	10,78	10,84
7	0,63	0,64	0,63	0,62	11,01	10,99	10,97	11,01
8	0,8	0,79	0,8	0,79	11,2	11,18	11,14	11,16
9	0,41	0,34	0,42	0,41	9,79	10,43	10,56	10,52
10	0,36	0,36	0,36	0,37	8,24	7,92	8,48	8,66
11	0,48	0,48	0,48	0,48	9,59	9,28	9,41	9,54
12	0,56	0,58	0,58	0,58	10,05	9,99	9,8	10,05
13	0,32	0,32	0,33	0,33	10,02	10,13	10,23	10,12
14	0,48	0,54	0,54	0,55	10,8	10,66	10,73	10,87
15	0,52	0,51	0,51	0,51	10,88	10,87	10,84	10,83
16	0,78	0,64	0,64	0,62	11,13	11,05	11	11,04
17	0,64	0,79	0,78	0,78	10,99	11,17	11,14	11,1
18	0,4	0,45	0,45	0,45	10,67	10,63	10,66	10,73

Na Figura 3 observa-se uma das análises, exemplificando o estado das amostras após os tempos, com suas variações de no processo de sedimentação.

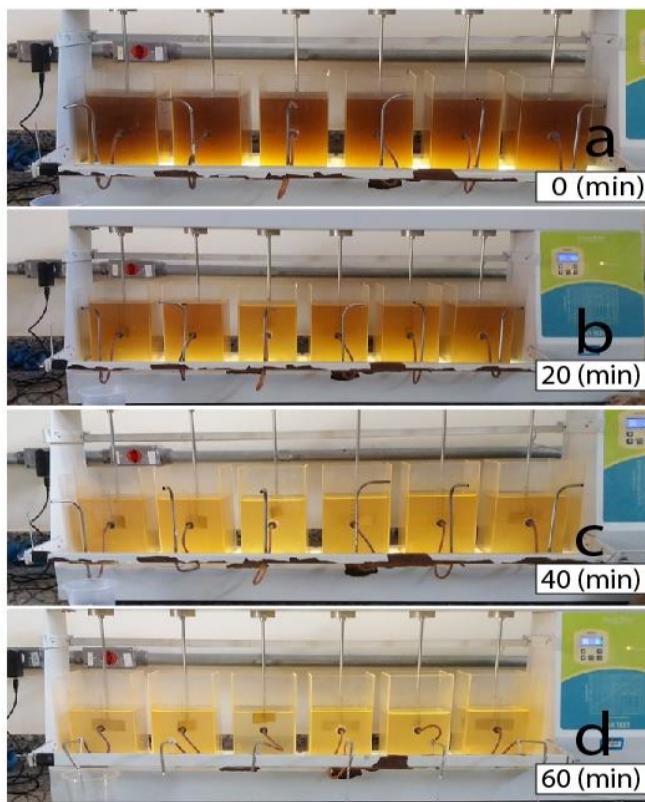


Figura 3. a) Água amostrada no tempo zero, assim que o equipamento foi desligado, b) Ensaio após 20 minutos de sedimentação, c) Ensaio após 40 minutos de sedimentação, d) Resultado final após 60 minutos de sedimentação.

Na Figura 4 observa-se a remoção percentual de turbidez nas diferentes amostras para os diferentes tempos em relação à amostra bruta. Pode-se verificar que, as mais expressivas variações estão entre os tempos 0 e 20 minutos, e obtiveram valores muito próximos nos últimos tempos, o que nos permite verificar que o tempo de sedimentação da maior parte das partículas suspensas é de aproximadamente 30 minutos, e que para outros trabalhos pode-se utilizar estes tempos de sedimentação, como o realizado em outros trabalhos de Higashi (2016) e por Goes et al. (2017).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), a turbidez indica a atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, devido a absorção e espalhamento da luz causada por sólidos em suspensão como silte, areia, argila, algas, detritos, etc. Pode-se observar também que, as maiores remoções percentuais ocorreram nas amostras 1, 2, 3, 10, 11 e 12 (amostras de pH ácido), ultrapassando a faixa de 80% de remoção de turbidez, e que as amostras com pH básico ficaram logo abaixo, passando a faixa dos 70%, deixando por último as amostras neutras. Para o parâmetro de turbidez, o melhor resultado foi na amostra 10 no tempo 60, que obteve um valor de 22 NTU.

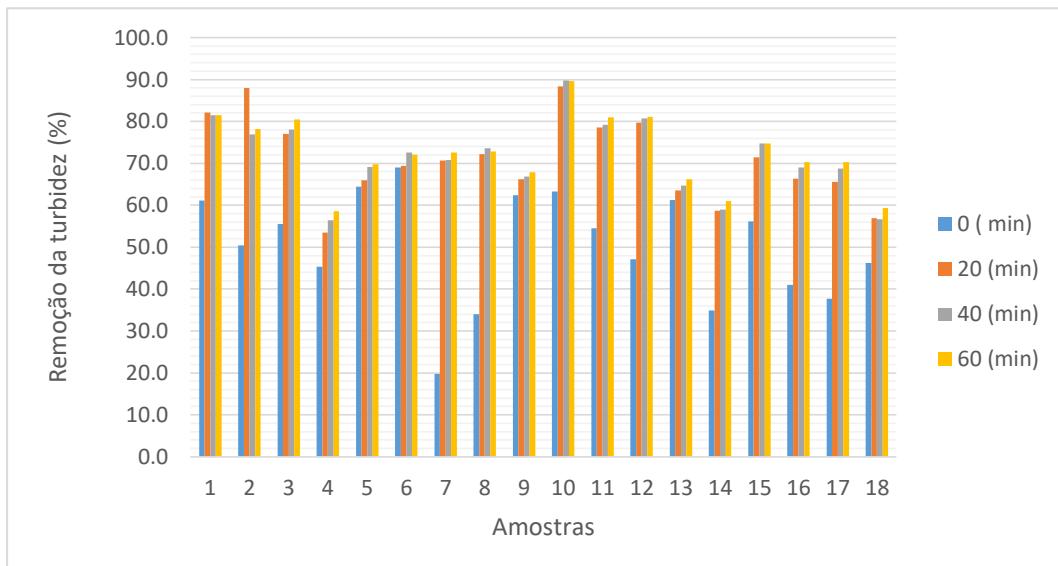


Figura 4. Percentual de remoção de turbidez nos diferentes tempos.

Para o padrão de cor aparente (Figura 5), observa-se que algumas das amostras no tempo zero apresentam valores negativos, isso se deve ao fato do coagulante orgânico, ter se dissolvido na solução provocando um aumentando dos sólidos dissolvidos, resultado similar encontrado por Goes (2017). As maiores porcentagens de remoção de cor aparente, ocorreram também, nas amostras de pH ácido, com valores entre a faixa de 60 a 80% de remoção, ao passo que as amostras neutras, resultaram nos piores índices, entre 10 e 30%, o que é um índice muito baixo. O menor valor obtido de cor aparente, foi na amostra 10, com 39 uH em seu último tempo. Comparando os valores obtidos com os exigidos pela Portarias do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011; 2017), descritos na Tabela 4, os ensaios não atenderam ao VMP (valor máximo permitido) de cor aparente e de turbidez.

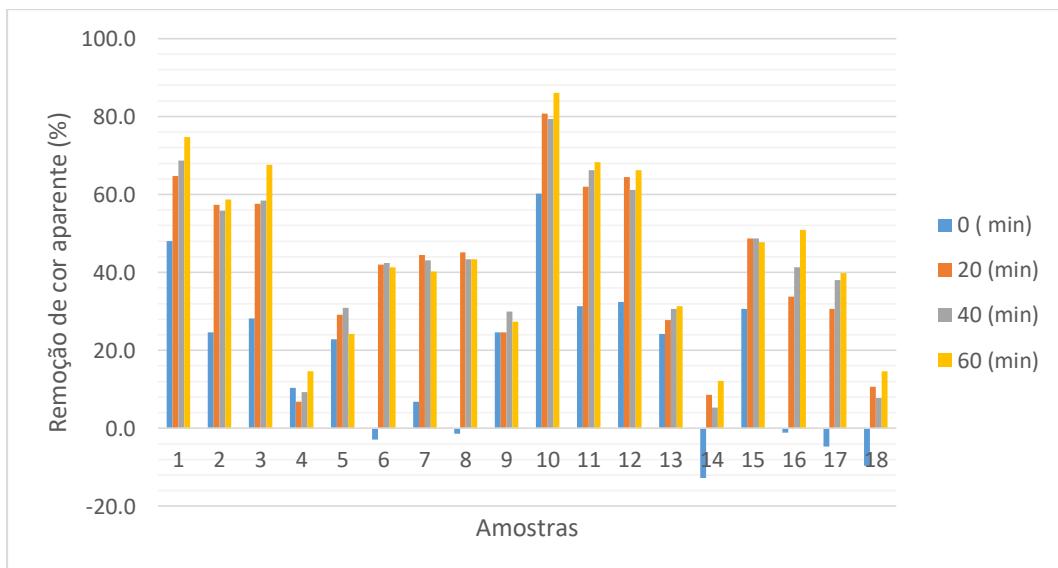


Figura 5. Percentual de remoção de cor aparente nos diferentes tempos.

A condutividade elétrica (Figura 6) das amostras, permaneceram quase constante ao logo dos diferentes tempos, e apresentaram variação, dependendo da quantidade de solução extratora. Os maiores valores de condutividade, estão diretamente ligadas as maiores proporções de coagulante e solução extratora, isso se deve ao fato do coagulante conter sal e proteína do cactus, fazendo com que, os valores de condutividade aumentassem de acordo com Belisário Júnior (2016).

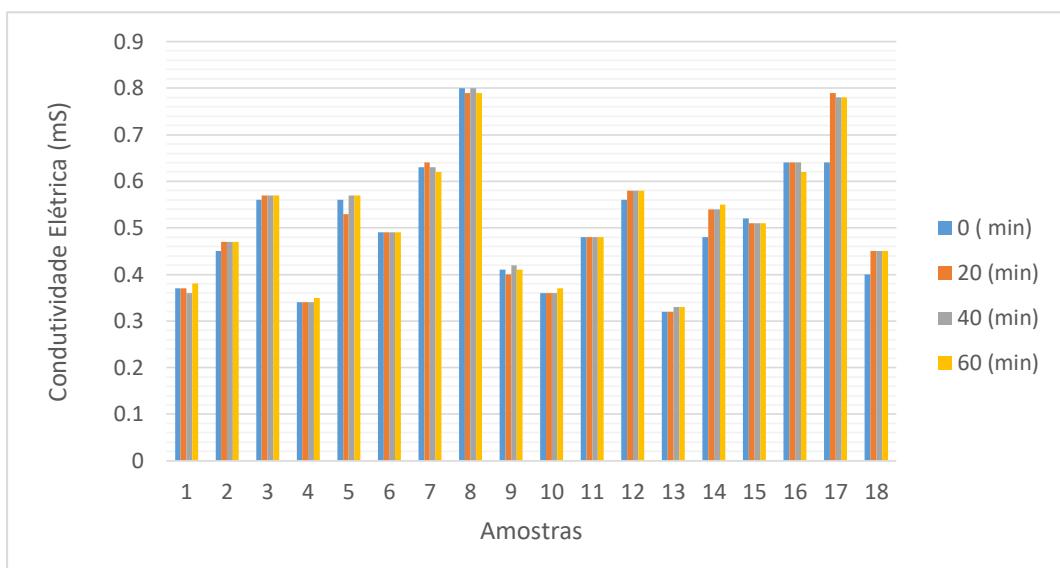


Figura 6. Condutividade das amostras nos diversos tempos.

Na Figura 7 pode-se verificar que, o pH das amostras ficou entre 8 e 11, o que indica uma basicidade do coagulante, no entanto, esse resultado também não foi satisfatório, pois a água para ser indicada para consumo precisa estar na faixa de pH entre 6 a 9 (BRASIL, 2011; BRASIL 2017).

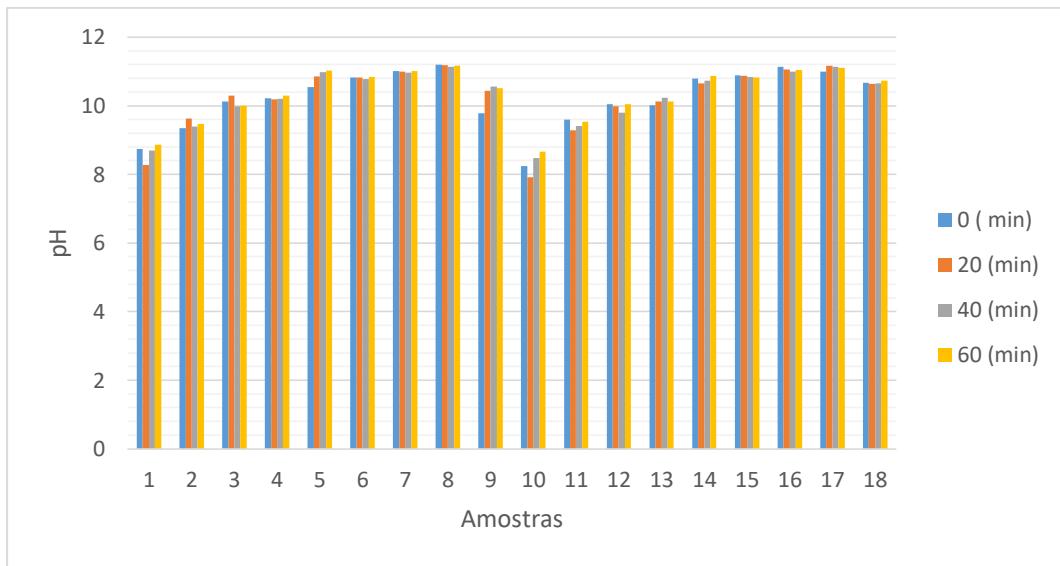


Figura 7. Variação de pH das amostras.

Com isso, observa-se que, o desempenho geral do coagulante natural foi bom, mas abaixo do esperado. Em trabalho similar, Goes (2017), alcançou valores próximos a 90% de remoção de turbidez e pH mais próximo da neutralidade.

Conclusão

Com o presente trabalho pôde-se concluir que o desempenho do cacto *Opuntia cochenillifera* como coagulante natural é satisfatório, no entanto, as concentrações utilizadas apresentaram um rendimento abaixo do esperado.

Também se constatou que, o tempo de sedimentação de 0 a 30 minutos é o suficiente para a sedimentação, e que para o pH ácido, o desempenho do coagulante foi melhor em todos os parâmetros tendo os melhores índices de cor aparente, turbidez e o pH mais próximo do neutro.

Referências Bibliográficas

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22^a ed. Washington, 2012.

- ANA. Agência Nacional de Águas. Indicadores de qualidade – Índice de qualidade das águas. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 08 abr. 2018.
- BELISÁRIO JUNIOR, J. C. Uso da semente da moringa oleífera no tratamento de água em corpos lênticos: estudo de caso Lago Igapó II. 79f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Curso de Engenharia Ambiental. UTFPR. Londrina, 2016.
- BORBA, L. R. Viabilidade do uso da Moringa oleífera Lam no tratamento simplificado da água para pequenas comunidades. 79f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2001.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso: 07 de abril de 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº5 de 28 de setembro de 2017. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em: 11 de abril de 2018.
- COPASA. Sistema de abastecimento e água. Disponível em: http://www.copasa.com.br/media2/PesquisaEscolar/COPASA_TratamentoDeAgua.pdf. Acesso em: 16 de agosto de 2018.
- ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011, 826p.
- FERRARI, C. T. da R. R. Uso de coagulantes naturais no tratamento de efluente da indústria de alimentos. 64f. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.
- GOES, H. H. D.; SOUZA, R. de C. P.de; MELO, J. M. de. Estudo da aplicação do cacto *opuntia cochenillifera* no tratamento de água. Encyclopédia Biosfera, v.14, n.25, p.554-563, 2017.
- SIGLON. Sistema de Informação Geográfica de Londrina. 2018 Nota (Mapas de Londrina). Disponível em:http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=20114&Itemid=1988. Acesso em: 10 de agosto de 2018.
- GOOGLE. Google Earth. Version Landsat/Copernicus. 2018. Nota (Lago Igapó). Disponível em: <<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 10 de agosto de 2018.
- HIGASHI V. Y.; THEODORO J. D. P.; PEREIRA E. R.; THEODORO P. S. Uso de coagulantes químico (cloreto férrico) e orgânico (moringa oleífera) no tratamento de águas provenientes de sistema lêntico. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 3, 2016, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2006. JARDIM DE CALATÉIA. Acervo Botânico - *Napalea cochenillifera* - Palma-doce. Disponível em: <<http://jardimdecalateia.com.br/acervo-botanico/nopalea-cochenillifera-palma-doce/>>. Acesso em: 11 de abril de 2018.
- PREFEITURA DE LONDRINA. Lago Igapó. Disponível em: <http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=112>. Acesso em: 25 de março de 2018.
- RAMOS, R. O. Clarificação de água com turbidez baixa e cor moderada utilizando sementes de moringa oleífera. 276f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.
- SANESUL. Tratamento de água. Disponível em: <<http://www.sanesul.ms.gov.br/tratamento-de-agua>>. Acesso em: 16 agosto. 2018.
- SANTOS A. M. BATINGA R. CARVALHO S. H. V. SOLETTI J. I. Estudo da coagulação química do efluente da indústria de laticínios utilizando a moringa como agente coagulante. In: Encontro Nacional de Moringa, 1, 2009, Aracajú. Anais...Aracajú 2009.
- SILVA, C. A. Estudos aplicados ao uso da *moringa oleífera* como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas. 84f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Química. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2005.
- SILVA, W. R. da; SILVA, M. R.; PIRES, T. B. O uso sustentável e a qualidade da água na produção animal. Revista Eletrônica Nutritime, v.11, n.5, p.3617- 3636, 2014.
- YIN, C. Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. Process Biochemistry, v. 45, p.1437-1444, 2010,
- THEODORO, J. D. P.; LENZ, G. F.; ZARA, R. F.; BERGAMASCO, R. Coagulants and Natural Polymers: Perspectives for the Treatment of Water. Plastic and Polymer Technology (PAPT), v.2, Issue 3, September 2013.

TREVISAN, T. S. Coagulante Tanfloc SG como uma alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal. 106f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

VON SPERLING, M.; Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos; Princípio do tratamento biológico de águas. v.1. 3^a Edição. cap.1. p.15. 2005.

ZARA, R. F.; THOMAZINI, M. H.; LENZ, G. F. Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e flocação no tratamento de água. Revista de Estudos Ambientais, v.14, n.2, p.75-83, 2012.



ADAPTAÇÃO DE MÉTODO NUMÉRICO COM ORDEM DE CONVERGÊNCIA CÚBICA PARA A ANÁLISE NÃO LINEAR DE TRELIÇAS ESPACIAIS

Luiz Antonio Farani de Souza

Professor Adjunto, UTFPR/Campus Apucarana, lasouza@utfpr.edu.br
Professor Colaborador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UEM

Introdução

Uma treliça espacial é definida como um sistema tridimensional de barras conectadas em seus nós por articulações sem atrito, a qual é solicitada somente por forças aplicadas nos nós. As treliças espaciais, de forma convencional, são constituídas de unidades tetraédricas, que fornecem alta rigidez e resistência ao seu peso próprio. Elas podem ser projetadas como sistemas estruturais encurvados, como a cúpula geodésica de Buckminster Fuller em Montreal (SOFLA et al., 2009).

Desde o início do seu uso comercial, esse sistema estrutural tem sido cada vez mais popular, especialmente em grandes áreas abertas com poucos ou nenhum suporte intermediário. Aplicações bem-sucedidas de sistemas estruturais treliçados abrangem estádios, edifícios públicos, centros de exposições, hangares de avião, pontes suspensas, entre outros (SEÇER, 2009).

Tornar os sistemas estruturais mais econômicos, por meio da redução do seu peso e do consumo de materiais sem, no entanto, diminuir sua segurança e durabilidade, tem sido um dos principais objetivos da Engenharia Estrutural. Nessa área, portanto, as pesquisas têm sido direcionadas no sentido de obtenção de estruturas cada vez mais leves e esbeltas (ROCHA, 2000).

A trajetória de equilíbrio é amplamente utilizada na análise estrutural para identificar os pontos limites de equilíbrio relacionados à instabilidade. Em geral, essa trajetória é representada por uma curva deslocamento *versus* força, em que cada ponto na curva representa uma configuração de equilíbrio da estrutura (LACERDA et al., 2014).

Uma configuração de equilíbrio pode ser estável ou instável. Configurações estáveis ocorrem com o aumento da força e do deslocamento; e configurações instáveis podem ocorrer com a diminuição da força e com o aumento do deslocamento, ou com a diminuição da força e do deslocamento. Este último comportamento é comumente denominado de salto sob controle de deslocamento (*snap-back*) e determina um ponto limite de deslocamento, cuja tangente à curva é vertical. Ponto de limite de força (*snap-through*) é um ponto de máximo ou mínimo no caminho de equilíbrio, em que a tangente à curva é horizontal, ou seja, é paralela ao eixo dos deslocamentos. Ponto de bifurcação é um ponto no qual dois ou mais caminhos de equilíbrio se cruzam (LACERDA, 2014).

Uma metodologia eficiente de solução deve ser capaz de superar os problemas numéricos associados ao comportamento não linear, e de traçar a trajetória de equilíbrio completa do sistema estrutural em análise (MAXIMIANO et al., 2014).

As equações de equilíbrio na análise linear são elaboradas com base na geometria inicial da estrutura (ou seja, antes da estrutura sofrer deslocamentos ou rotações). Evidentemente, se o sistema estrutural sofrer grandes mudanças na sua geometria, então aquelas equações de equilíbrio deixam de ser válidas necessitando ser reformuladas a cada mudança de geometria, causando perda de linearidade nas relações deslocamento - deformação. Este tipo de não linearidade é denominado de não linearidade geométrica (LACERDA, 2014). Essa não linearidade está associada a: (i) equações de equilíbrio, que são escritas considerando a configuração deformada da estrutura; e (ii) equações que relacionam a deformação e o deslocamento da estrutura considerada (RODRIGUES et al., 2008).

O problema estrutural descrito por um sistema de equações não lineares é solucionado por meio do método numérico de Weerakoon e Fernando (2000), com terceira ordem de convergência cúbica, num esquema incremental e iterativo. Esse método é associado à técnica de continuação Comprimento de Arco Linear.

Neste trabalho tem o objetivo de ser efetuadas análises estáticas de duas treliças espaciais com comportamento não linear geométrico (grandes deslocamentos e rotações) por meio do programa Matlab (2015). Considera-se a relação constitutiva das barras elástica linear. As estruturas serão discretizadas via Método Posicional dos Elementos Finitos, a qual é uma abordagem alternativa para

problemas não lineares. Desenvolvida originalmente por Coda (2003), a formulação posicional considera as posições nodais como variáveis do sistema não linear em vez dos deslocamentos.

Material e Métodos

Método posicional de elementos finitos para treliça espacial

O elemento de treliça foi descrito pela formulação Posicional de Elementos Finitos (CODA & GRECO, 2004). Esse elemento transmite somente forças axiais e tem área da seção transversal constante A . As coordenadas (X_1, Y_1, Z_1) e (X_2, Y_2, Z_2) representam a configuração inicial do elemento de barra (também conhecida como coordenadas de referência). Após uma mudança de configuração devido a deslocamentos da treliça, a barra passa a ter novas coordenadas (x_1, y_1, z_1) e (x_2, y_2, z_2) . O comprimento inicial (ou referencial) L_0 e o comprimento atual L da barra são calculados, respectivamente, pelas Equações 1 e 2.

$$L_0 = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2} \quad (\text{Eq.1})$$

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (\text{Eq.2})$$

A matriz de rigidez tangente K_{el} e o vetor de forças internas F_{el} elementares são obtidos pelas Equações 3 e 4.

$$K_{el} = \frac{EA}{L_0^3} B + \frac{EA\varepsilon_G}{L_0} C \quad (\text{Eq.3})$$

$$F_{el} = \frac{EA\varepsilon_G}{L_0} d \quad (\text{Eq.4})$$

Em que: EA é a rigidez axial, L_0 é o comprimento indeformado da barra e ε_G é a deformação de Green dada pela Equação 5.

$$\varepsilon_G = \frac{L^2 - L_0^2}{2L_0^2} \quad (\text{Eq.5})$$

Na Equação 3, as matrizes B e C são definidas, respectivamente, pelas Equações 6 e 7.

$$B = \begin{bmatrix} I_3 & -I_3 \\ -I_3 & I_3 \end{bmatrix} \quad (\text{Eq.6})$$

$$C = dd^T \quad (\text{Eq.7})$$

Em que: I_3 é a matriz identidade de ordem 3 e $d = [x_1-x_2, y_1-y_2, z_1-z_2, x_2-x_1, y_2-y_1, z_2-z_1]^T$.

Sistema de equações não lineares

Foi utilizada a equação que governa o equilíbrio estático de um sistema estrutural com comportamento não linear geométrico descrita pela Equação 8 (MAXIMIANO et al., 2014; SOUZA et al., 2018).

$$g = \lambda F_r - F_{int}(d) = 0 \quad (\text{Eq.8})$$

Na qual: g é o vetor de forças desequilibradas, F_{int} é o vetor de forças internas (avaliado em função do vetor de coordenadas nos pontos nodais da estrutura d), e λ é o parâmetro de força responsável pelo escalonamento do vetor de referência F_r .

A solução do sistema dado na Equação 8 foi obtida por meio de um esquema iterativo e incremental. Para uma sequência do parâmetro de força λ , uma sequência do respectivo incremento de coordenadas nodais d é calculada. A Equação 8 é um sistema de $(n + 1)$ incógnitas, com n componentes

coordenadas nodais e um parâmetro de força (λ), mas somente n equações. Sendo assim, uma equação de restrição adicional foi adicionada ao sistema dada pela Equação 9.

$$c(d, \lambda) = 0 \quad (\text{Eq.9})$$

A solução do sistema não linear dado pelas Equações 8 e 9 foi obtida por meio de um esquema incremental e iterativo. Com a consideração de que λ passa a ser uma incógnita e varia ao longo das iterações, tem-se o problema estrutural não linear dado pela Equação 10.

$$K(d^{(k-1)})\delta d^{(k)} = g^{(k)} = \lambda^{(k)}F_r - F_{int}(d^{(k-1)}) \quad (\text{Eq.10})$$

Em que: K é a matriz de rigidez representativa do sistema estrutural.

Os parâmetros totais de força (λ) e do vetor de coordenadas nodais (d) no passo de força $t+\Delta t$ e iteração k foram atualizados por, respectivamente as Equações 11 e 12.

$$\lambda^{(k)} = \lambda^{(k-1)} + \delta\lambda^{(k)} \quad (\text{Eq.11})$$

$$d^{(k)} = d^{(k-1)} + \delta d^{(k)} \quad (\text{Eq.12})$$

Com a combinação das Equações 10 e 11, chegou-se à Equação 13 para $\delta d^{(k)}$ dada por Crisfield (1991).

$$\delta d^{(k)} = \delta d_g^{(k)} + \delta\lambda^{(k)}\delta d_r^{(k)} \quad (\text{Eq.13})$$

Na qual: $\delta\lambda^{(k)}$ é o subincremento do parâmetro de força que foi avaliado ao longo do ciclo iterativo, e $\delta d_g^{(k)}$ e $\delta d_r^{(k)}$ são obtidos, respectivamente, pelas Equações 14 e 15.

$$\delta d_g^{(k)} = [K(d^{(k-1)})]^{-1}g^{(k-1)} \quad (\text{Eq.14})$$

$$\delta d_r^{(k)} = [K(d^{(k-1)})]^{-1}F_r \quad (\text{Eq.15})$$

Os parâmetros incrementais do parâmetro de força ($\Delta\lambda$) e do vetor de coordenadas nodais (Δd) no passo de força $t+\Delta t$ e iteração k foram avaliados por, respectivamente as Equações 16 e 17.

$$\Delta\lambda^{(k)} = \Delta\lambda^{(k-1)} + \delta\lambda^{(k)} \quad (\text{Eq.16})$$

$$\Delta d^{(k)} = \Delta d^{(k-1)} + \delta d^{(k)} \quad (\text{Eq.17})$$

Métodos Numéricos para a solução de sistemas de equações não lineares

Foram utilizadas as formulações referentes aos métodos iterativos de Weerakoon e Fernando (2000), Newton-Raphson Padrão e Newton-Raphson Modificado (BATHE, 2006), para solucionar o problema não linear estrutural. Admitiu-se que, dada uma estimativa inicial para a solução ($t^0 d^{(0)}, \lambda^{(0)}$), o problema foi determinar uma sequência de correções até que uma solução fosse obtida com a precisão desejada por meio dos esquemas iterativos dados pelas Equações 18, 19 e 20.

Método de Newton-Raphson Padrão - NRP:

$$d^{(k)} = d^{(k-1)} + [K(d^{(k-1)})]^{-1}g(d^{(k-1)}) \quad (\text{Eq.18})$$

Método de Newton-Raphson Modificado - NRM:

$$d^{(k)} = d^{(k-1)} + [K(d^{(0)})]^{-1}g(d^{(k-1)}) \quad (\text{Eq.19})$$

Método de Weerakoon e Fernando - WF:

$$y^{(k)} = d^{(k-1)} + [K(d^{(k-1)})]^{-1} g(d^{(k-1)}) \quad (\text{Eq.20})$$

$$d^{(k)} = d^{(k-1)} + 2[K(d^{(k-1)}) + K(y^{(k)})]^{-1} g(d^{(k-1)})$$

O método WF possui convergência cúbica sem a necessidade do uso de derivadas de segunda ordem. O algoritmo desse método associado à técnica de Comprimento de Arco Linear é apresentado a seguir.

Algoritmo: Método WF associado à técnica de Comprimento de Arco Linear

Entrada: $d^{(0)}, i_{\max}, \Delta l^{(0)}, tol, \Delta P$

1. $\Delta d \leftarrow 0, \lambda \leftarrow 0$
2. Para $NP \leftarrow 1, 2, \dots$ faça
3. $\delta d_r \leftarrow K(d)^{-1} F_r$
4. $\Delta \lambda \leftarrow \Delta l / \|\delta d_r\|$
5. Se ${}^t \Delta d^T \delta d_r < 0$ então
6. $\Delta \lambda \leftarrow -\Delta \lambda$
7. Fim-Se
8. $\Delta d^{(0)} \leftarrow \Delta \lambda \delta d_r$
9. $\Delta d \leftarrow \Delta d^{(0)}$
10. $g \leftarrow (\lambda + \Delta \lambda) F_r - F_{int}(d + \Delta d)$
11. Para $i \leftarrow 1, \dots, i_{\max}$ faça
12. $\delta d_g \leftarrow K(d + \Delta d)^{-1} g$
13. $\delta \lambda \leftarrow -(\Delta d^{(0)T} \delta d_g) / (\Delta d^{(0)T} \delta d_r)$
14. $\delta d \leftarrow \delta d_g + \delta \lambda \delta d_r$
15. $y \leftarrow \Delta d + \delta d$
16. $\delta d_r \leftarrow [K(d+y) + K(d+\Delta d)]^{-1} F_r$
17. $\delta d_g \leftarrow [K(d+y) + K(d+\Delta d)]^{-1} g$
18. $\delta \lambda \leftarrow -(\Delta d^{(0)T} \delta d_g) / (\Delta d^{(0)T} \delta d_r)$
19. $\delta d \leftarrow 2(\delta d_g + \delta \lambda \delta d_r)$
20. $\Delta d \leftarrow \Delta d + \delta d$
21. $\Delta \lambda \leftarrow \Delta \lambda + \delta \lambda$
22. $g \leftarrow (\lambda + \Delta \lambda) F_r - F_{int}(d + \Delta d)$
23. Se $\|g\| \leq tol \|F_r\|$ então
24. Terminar execução do Para
25. Fim-Se
26. $\delta d_r \leftarrow K(d + \Delta d)^{-1} F_r$
27. Fim-Para
28. $d \leftarrow d + \Delta d$

29. $\lambda \leftarrow \lambda + \Delta\lambda$
 30. $\Delta l \leftarrow \Delta l(Nd/t_i)^{0.5}$
 31. Fim-Para
 32. $u \leftarrow d - {}^0d$
Saída: u, d
-

Para as análises com o método de Newton-Raphon Padrão, no algoritmo apresentado anteriormente as linhas 15 a 19 não foram executadas, visto que o incremento $y = 0$. Com relação ao método de Newton-Raphon Modificado, não foram executadas as linhas 15 a 19 e a linha 26 do algoritmo, uma vez que a matriz de rigidez K é avaliada somente no início do passo de força corrente.

Método de comprimento de arco linear

A metodologia para a solução de problemas estruturais não lineares deve ser capaz de traçar a trajetória de equilíbrio completo da estrutura (identificação e passagem pelos pontos limites existentes). Para tal, utilizou-se um processo incremental-iterativo que consiste de duas etapas (LEON et al., 2011):

1) A partir da última configuração de equilíbrio da estrutura, selecionou-se um subincremento de força (definido como o subincremento de força inicial - $\Delta\lambda^{(0)}$), que satisfaça alguma equação de restrição imposta ao problema. Após a seleção desse parâmetro, determinou-se o incremento inicial do vetor de coordenadas nodais $\Delta d^{(0)}$; e

2) Na segunda etapa de solução, procurou-se por meio de uma estratégia de continuação corrigir a solução incremental inicialmente proposta na etapa anterior, com o objetivo de restaurar o equilíbrio da estrutura. Se as iterações envolverem coordenadas nodais (d) e o parâmetro de força (λ), então uma equação adicional de restrição é requerida. O formato dessa equação é o que distingue as várias estratégias de iteração.

No método do Comprimento de Arco Linear proposto por Riks (1972; 1979), a trajetória de iteração é mantida sempre ortogonal à direção tangente inicial em cada passo. A expressão para o incremento inicial do parâmetro de força (solução predita) é dada pela Equação 21.

$$\Delta\lambda^{(0)} = \frac{\Delta l}{\|\delta d_r\|} \quad (\text{Eq.21})$$

Na qual: Δl representa o incremento de comprimento de arco.

Como proposto por Crisfield (1991), esse incremento pode ser utilizado como um parâmetro de controle no passo de força corrente de acordo com a Equação 22.

$$\Delta l = {}^t\Delta l \left(\frac{Nd}{t_k} \right)^{1/2} \quad (\text{Eq.22})$$

Em que: ${}^t\Delta l$ representa o incremento de comprimento de arco no passo de força anterior, Nd é o número de iterações desejadas para a convergência do processo iterativo corrente, e t_k é o número de iterações que foi necessário para convergir no passo de força anterior.

No processo iterativo subsequente, a equação de restrição (Equação 9) usada para calcular $\delta\lambda^{(k)}$ foi obtida fazendo com que a solução iterativa ($\delta d^{(k)}$) seja ortogonal à solução incremental predita ($\Delta d^{(0)}$) utilizando a Equação 23.

$$\delta d^{(k)T} \Delta d^{(0)} = 0 \quad (\text{Eq.23})$$

Com a substituição da Equação 13 na Equação 23, obteve-se a Equação 24 para a determinação da correção do subincremento de força ($k > 1$):

$$\delta\lambda^{(k)} = -\frac{\Delta d^{(0)T} \delta d_g^{(k)}}{\Delta d^{(0)T} \delta d_r^{(k)}} \quad (\text{Eq.24})$$

No início do passo de força corrente, o tamanho do incremento do vetor coordenadas nodais foi predito por $\Delta d^{(0)} = \Delta\lambda^{(0)} \delta d_r^{(0)}$, e se impôs que os incrementos do vetor de coordenadas nodais fossem ortogonais ao da primeira iteração nas iterações subsequentes. O sinal do incremento inicial do parâmetro força ($\Delta\lambda^{(0)}$) pode ser positivo ou negativo. A escolha correta do sinal é de suma importância na definição das sequências de soluções (d, λ) que permitam o avanço contínuo na resposta força-deslocamento. O procedimento utilizado neste trabalho consistiu na análise do produto interno entre o incremento de coordenadas nodais obtido no passo de força anterior (${}^t\Delta d$) e o incremento de coordenadas nodais corrente (δd_r): se ${}^t\Delta d^T \delta d_r > 0$, então o preditor $\Delta d^{(0)}$ tem o mesmo sentido de δd_r ; caso contrário, o preditor tem sentido oposto.

O critério de convergência foi expressado pela norma da força residual e da força total aplicada pela Equação 25.

$$\|g\| \leq tol \|F_r\| \quad (\text{Eq.25})$$

Em que: tol é a tolerância fornecida pelo usuário.

O vetor de deslocamentos $u^{(k)}$ foi determinado conforme a Equação 26.

$$u^{(k)} = d^{(k)} - {}^0d \quad (\text{Eq.26})$$

Na qual: 0d é o vetor de coordenadas nodais no passo de força 0 (estrutura indeformada).

Análise não linear de treliças espaciais

O algoritmo proposto com a adaptação do método de Weerakoon e Fernando (2000) ao problema estrutural foi aplicado em duas treliças espaciais com comportamento não linear geométrico. O peso próprio das estruturas foi desprezado nas análises. Adotou-se a relação constitutiva elástica linear para o material que constitui as barras. Para verificação da eficiência computacional do algoritmo, os resultados numéricos obtidos foram comparados com os esquemas iterativos de Newton-Raphson Padrão e de Newton-Raphson Modificado.

Avaliou-se nas simulações os seguintes parâmetros: os números totais de passos de força (NP) e iterações acumuladas (k_{total}) até a convergência para a solução; o número médio de iterações por passo de força ($k_{médio}$); e o tempo de processamento em segundos (t). Além disso, foram obtidas as trajetórias de equilíbrio das estruturas com pontos limites de força e de deslocamento. O algoritmo desenvolvido para a solução do sistema de equações não lineares descrito pelas Equações 8 e 9 foi implementado usando o software Matlab, versão 8.6 R2015b (MATLAB, 2015). Os testes computacionais foram realizados em um computador Core i7 - 3537U com 8GB de memória.

O primeiro problema consistiu de uma treliça espacial do tipo cúpula composta por nove nós e 16 elementos de barra, cujas dimensões e posição de aplicação da força P estão ilustradas na Figura 1. Este problema foi estudado por Hrinda (2010). Os quatro nós periféricos possuem apoio do tipo pino. O módulo de rigidez axial EA tem valor $1,0 \times 10^7$ lbf, e os parâmetros considerados nas análises para a técnica de continuação foram: comprimento de arco inicial $\Delta l^{(0)} = 5,0 \times 10^{-4}$; número de iterações desejadas $Nd = 3$; tolerância $tol = 1,0 \times 10^{-6}$; número máximo de iterações por passo de força $i_{máx} = 100$; e incremento de força $\Delta P = 0,1$ lbf.

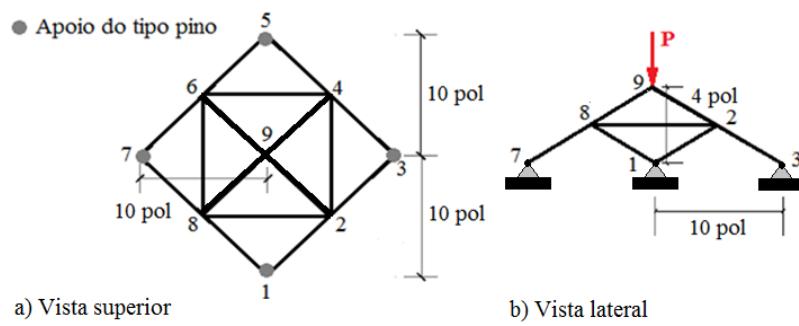


Figura 1. Modelo estrutural da treliça do tipo cúpula com nove nós e 16 barras.

Fonte: Adaptada de Hrinda (2010).

O segundo problema referiu-se à treliça espacial em forma de arco com 902 nós e 3081 barras mostrada na Figura 2. Esta estrutura é submetida a forças de intensidade P aplicadas no topo (na direção do eixo z), e na base ($z = 0$) os deslocamentos estão restringidos (apoio do tipo pino). A rigidez axial EA de seus membros é $1,0 \times 10^4$ kPa. Os parâmetros adotados nas análises foram: $\Delta l^{(0)} = 5,0$; $Nd = 3$; $i_{máx} = 100$; $\Delta P = 100$ kN; e $tol = 1,0 \times 10^{-6}$.

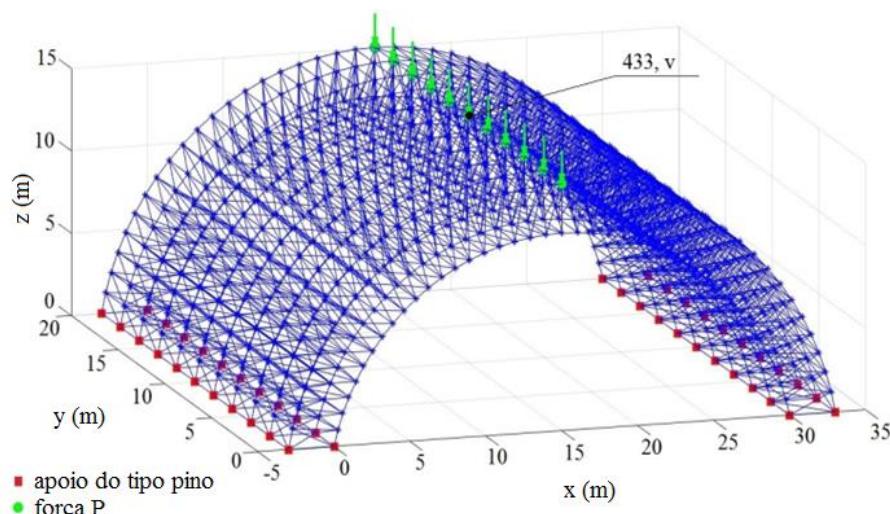


Figura 2. Modelo estrutural da trelica em forma de arco.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 observa-se os resultados numéricos (NP , k_{total} , $k_{médio}$, t) obtidos com os métodos NR, NRM e WF da simulação com o problema de treliça espacial do tipo cúpula. A trajetória de equilíbrio (deslocamento vertical no topo da cúpula *versus* força P) pode ser observada na Figura 3 com vários pontos limites de força e deslocamento, e na Figura 4 são apresentadas as configurações da treliça indeformada e deformada, indicando as barras que estão comprimidas (em vermelho) e tracionadas (em azul).

Tabela 1. Resultados numéricos para treliça do tipo cúpula (número de incógnitas: 27 coordenadas nodais + 1 parâmetro de força)

Métodos	NP	k_{total}	$k_{médio}$	<i>t (s)</i>
NRP	497	1467	2,9517	1,439919
NRM		Não convergiu		
WF	123	337	2,7398	0,650635

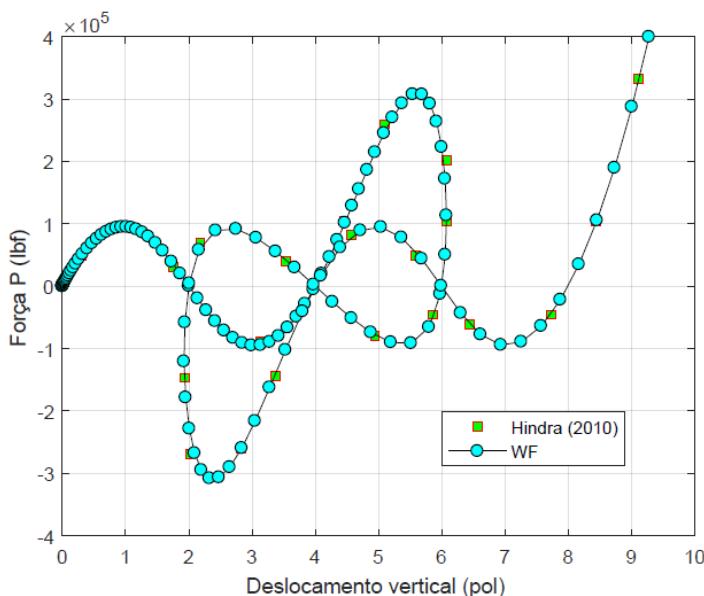


Figura 3. Trajetória de equilíbrio para a treliça do tipo cúpula.

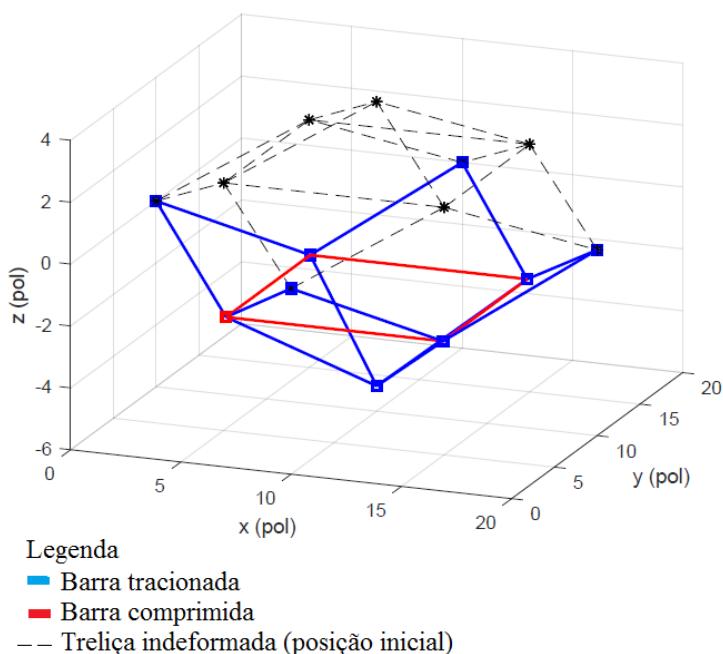


Figura 4. Configurações indeformada e deformada da treliça do tipo cúpula.

Os resultados numéricos na Tabela 1 demonstram que, a convergência para a resposta do problema com o método WF é alcançada com um número inferior de incrementos de força ($NP = 123$) e iterações acumuladas necessárias ($k_{total} = 337$) e tempo de processamento ($t = 0,650635$ s), em comparação com o método NR. Com a redução do número de iterações, diminuem-se a quantidade de atualizações da matriz de rigidez K e do vetor de força interna F_{int} , além da diminuição de resoluções de sistemas de equações lineares gerados da formulação de Elementos Finitos; em geral, a solução desses sistemas é o que demanda maior custo computacional durante o processamento.

Na análise efetuada com o método de NRM, verificou-se que uma instabilidade numérica e a convergência para a solução não ocorreu. Com efeito, problemas de convergência com esse método podem ocorrer durante a análise, uma vez que a matriz de rigidez K é computada somente no início do passo de força corrente, mantendo-se invariável ao longo do ciclo iterativo no mesmo. A convergência pode ser alcançada com a diminuição do valor inicial do incremento de comprimento de arco ($\Delta l^{(0)}$) e/ou incremento de força (ΔP).

O procedimento utilizado para a mudança do sinal do incremento inicial de força $\Delta \lambda^{(0)}$ por meio do produto interno entre os vetores ${}^t\Delta d$ e δu_r mostrou-se eficiente, visto que conseguiu identificar e

ultrapassar os pontos críticos existentes nos caminhos de equilíbrio, com a definição da direção correta do parâmetro de força. O dispositivo para a verificação da mudança do sinal é de fácil implementação computacional; no entanto, há outras estratégias que podem ser implementadas, como por exemplo, a variação do sinal do determinante da matriz de rigidez ou a variação do sinal de algum autovalor da mesma (ROCHA, 2000).

Os resultados numéricos (NP , k_{total} , $k_{médio}$, t) obtidos das análises com os métodos NRP, NRM e WF para a treliça espacial em forma de arco são apresentados na Tabela 2. Na Figura 5 observa-se a trajetória de equilíbrio (curva deflexão na direção z versus força P no nó 433), e na Figura 6 observa-se a estrutura deformada que é apresentada com a indicação do tipo de solicitação da barra (tração ou compressão).

Tabela 2. Resultados numéricos para treliça espacial em forma de arco (número de incógnitas: 2706 coordenadas nodais + 1 parâmetro de força)

Métodos	NP	k_{total}	$k_{médio}$	$t (s)$
NRP	49	162	3,3061	83,861319
NRM	492	1507	3,0630	819,584096
WF	28	99	3,5357	75,159142

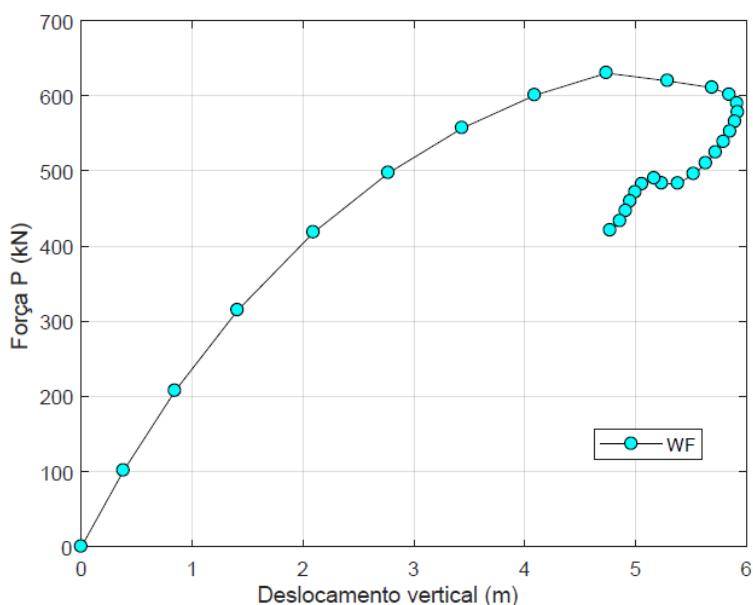


Figura 5. Trajetória de equilíbrio para a treliça em forma de arco.

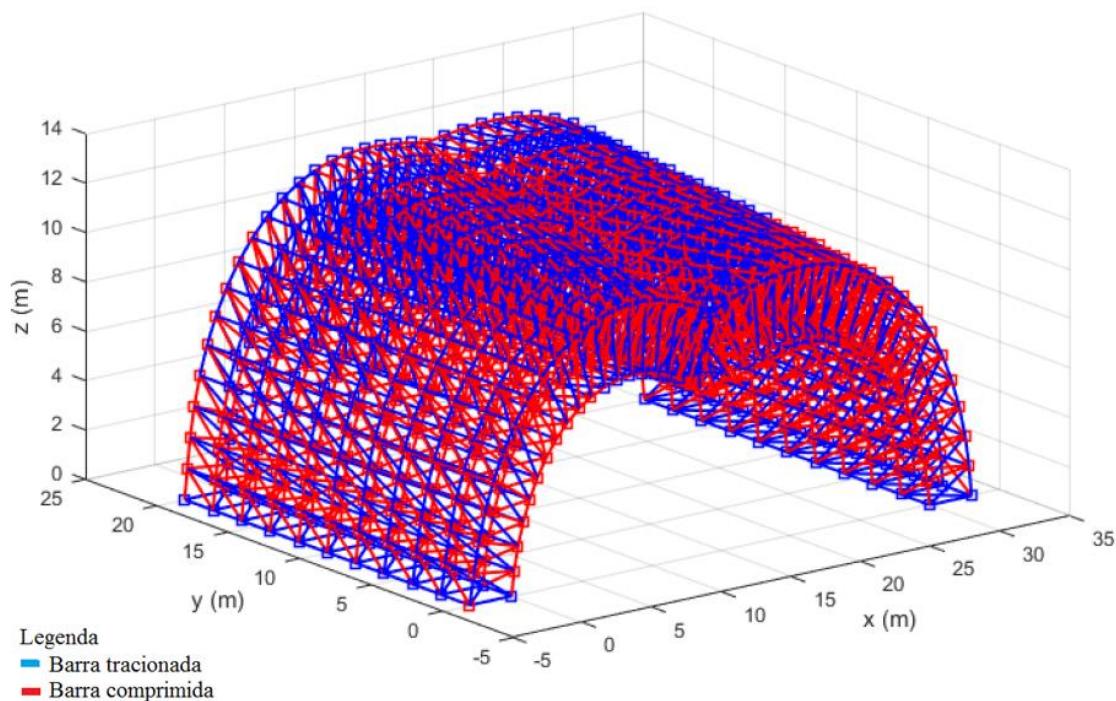


Figura 6. Configuração deformada da treliça em forma de arco.

A matriz de rigidez K do sistema estrutural foi caracterizada por um elevado índice de esparsidade. Pode-se obter uma melhor eficiência numérica dos modelos apresentados por meio de algoritmos que armazenam os coeficientes não nulos presentes na matriz e efetuam operações entre matrizes e vetores com estes coeficientes, evitando, dessa maneira, os cálculos redundantes com elementos nulos.

Matrizes grandes requerem um grande espaço de armazenamento e, mesmo com computadores com maior capacidade de memória, usualmente não é suficiente para armazenar a matriz quadrada. Assim, para fazer o armazenamento da matriz e as operações matriz-matriz e matriz-vetor com menor custo computacional, pode-se utilizar técnicas baseadas no armazenamento de valores não nulos, tal como CSC (*Compressed Sparse Column*) and CSR (*Compressed Sparse Row*) (ANTUNES FILHO & XAVIER, 2015). No programa foi utilizada a função *sparse*, o qual armazena elementos não nulos da matriz original, descartando os elementos nulos.

Conclusão

Os resultados numéricos obtidos com o algoritmo proposto demonstraram potencialidade na solução de estruturas treliçadas espaciais, possibilitando ao projetista estimar a capacidade resistente última das mesmas (carregamento último e deslocamento máximo).

As análises não lineares efetuadas com a adaptação do método de Weerakoon e Fernando (2000) ao problema estrutural num esquema incremental mostraram-se promissoras, pois para os problemas testados não ocorreram instabilidades numéricas durante as simulações, além de alcançarem a solução com um número inferior de passos de força e de iterações acumuladas e, consequentemente, com um menor tempo de processamento, em comparação com o método tradicional de Newton-Raphson. O ganho no tempo do algoritmo desenvolvido está relacionado à qualidade da correção do incremento de força na fase iterativa, ou seja, no tamanho do incremento de força λ .

Uma barreira considerável no uso corrente de modelos não lineares está relacionada aos problemas numéricos e instabilidades na convergência que podem surgir. Isso ocorre por conta da calibração dos parâmetros necessários nos modelos não lineares, sendo oneroso o processo, visto que diversas análises preliminares devem ser feitas antes de realizar o estudo final da estrutura.

Como pesquisa futura, sugere-se a consideração do efeito da não linearidade física por meio da teoria da Mecânica do Dano; e adaptar outros métodos de solução ao problema não linear estrutural - métodos da família Chebyshev-Halley, métodos da família Jarratt, entre outros.

Referências

- ANTUNES FILHO, A.; XAVIER, A. C. C. Solução de sistemas lineares esparsos utilizando CUDA: uma comparação de desempenho em sistemas Windows e Linux. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, v.8, n.8, p.181-195, 2015.
- BATHE, K. J. Finite element procedures. Klaus-Jurgen Bathe, 2006.
- CODA, H. B. Análise não linear geométrica de sólidos e estruturas: uma formulação posicional baseada no MEF. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. (Texto complementar para concurso de professor titular, SET-EESC-USP).
- CODA, H. B.; GRECO, M. A simple FEM formulation for large deflection 2D frame analysis based on position description. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, v.193, n.33-35, p.3541-3557, 2004.
- CRISFIELD, M. A. Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures. Volume 1: Essentials. New York: John Wiley & Sons Ltd., 1991.
- HRINDA, G. A. Snap-Through Instability Patterns in Truss Structures. NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia 2383, 2010.
- LACERDA, E. G. M. Análise não linear de treliças pelo Método dos Elementos Finitos Posicional. 92f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2014.
- LACERDA, E. G. M.; MACIEL, D. N.; SCUDELARI, A. C. Geometrically static analysis of trusses using the arc-length method and the positional formulation of Finite Element Method. In: Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 35, 2014, Fortaleza. Anais... ABMEC, Fortaleza, CE, 2014.
- LEON, S. E.; PAULINO, G. H.; PEREIRA, A.; MENEZES, I. F. M.; LAGES, E. N. A Unified Library of Nonlinear Solution Schemes. *Applied Mechanics Reviews*, v. 64, n.4, p.040803-1-040803-26, 2011.
- MATIAS, W. T. El control variable de los desplazamientos en el análisis no lineal elástico de estructuras de barras. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Inggeniería*, v.18, n.4, p.549-572, 2002.
- MATLAB, version 8.6.0 (R2015b). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc., 2015.
- MAXIMIANO, D.; SILVA, A. R. D.; SILVEIRA, R. A. Mota. Iterative strategies associated with the normal flow technique on the nonlinear analysis of structural arches. *Revista Escola de Minas*, v.67, n.2, p.143-150, 2014.
- RIKS, E. The application of Newton's methods to the problems elastic stability. *Journal of Applied Mechanics*, v.39, n.4, p.1060-1065, 1972.
- RIKS, E. An incremental approach to the solution of snapping and buckling problems. *International Journal of Solids and Structures*, v.15, n.7, p.529-551, 1979.
- ROCHA, G. Estratégias de incremento de carga e de iteração para análise não linear de estruturas. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2000.
- RODRIGUES, P. F. N.; VARELA, W. D.; SOUZA, R. A. Análise de Estratégias de Solução do Problema Não-linear. *Revista de Ciência & Tecnologia*, v.8, n.2, p.36-49, 2008.
- SEÇER, M. Inelastic and large deformation analyses of plane trusses. *Technology*, v.12, n.3, p.175-184, 2009.
- SOFIA, A. Y. N.; ELZEY, D. M.; WADLEY, H. N. G. Shape morphing hinged truss structures. *Smart Materials and Structures*, v.18, n.6, p.065012, 2009.
- SOUZA, L. A. F.; CASTELANI, E. V.; SHIRABAYASHI, W. V. I.; ALIANO FILHO, A.; MACHADO, R. D. Trusses Nonlinear Problems Solution with Numerical Methods of Cubic Convergence Order. *Tema*, v.19, n.1, p.161-179, 2018.
- WEERAKOON, S.; FERNANDO, T. G. I. A variant of Newton's method with accelerated third-order convergence. *Appl. Math. Lett.*, v.13, p.87-93, 2000.

INVESTIGAÇÃO DAS POTENCIALIDADES DE APLICAÇÃO INDUSTRIAL PARA O RESÍDUO DA PEDRA CARIRI: UMA REFLEXÃO SOBRE ESTA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL E SOCIAL**¹Laédna Souto Neiva****²Gislayne Rayane Alves da Silva****³Pedro Henrique Pinheiro Lima****⁴Francisco Natanael Félix Barbosa****⁵Maria Isabel Brasileiro**

¹Professora Adjunta de Engenharia de Materiais, UFCA/CCT/Campus de Juazeiro do Norte- Ceará, Brasil,
laedna.neiva@ufca.edu.br

^{2,3,4}Acadêmicos em Engenharia de Materiais, UFCA/CCT/Campus de Juazeiro do Norte- Ceará, Brasil,
gislayne.alvesr15@gmail.com; pinheiro.pedroh18@gmail.com; natanael.duke2@gmail.com

⁵Professora Adjunta de Engenharia de Materiais, UFCA/CCT/Campus de Juazeiro do Norte- Ceará, Brasil,
isabel.rodrigues@ufca.edu.br

Introdução

A atividade mineira nos calcários da região de Nova Olinda e Santana do Cariri, no interior do Ceará, uma parte da bacia sedimentar do Cariri, vem proporcionando, assoreamento de riachos, alteração do pH das águas e o aumento acelerado de zonas de erosão além da poluição ambiental causado pelo descarte dos resíduos sólidos remanescentes das atividades de exploração deste material rochoso conhecido comercialmente como Pedra Cariri. Esta realidade suscita certa urgência em medidas de preservação ambiental como a criação de parques temáticos com desenvolvimento, implantação e coordenação de políticas para gerenciamento das atividades de mineração e exploração deste material rochoso de composição calcária e, sobretudo, desenvolvimento de ações no sentido de providenciar um encaminhamento ambientalmente correto para o rejeito remanescente das atividades de lavra em questão, incrementando assim a economia regional com atividades eco turísticas, bem como agregando valor aos resíduos sólidos, que são descartados sem critérios no meio ambiente de zonas urbanas ou rodoviárias, e à qualidade de vida da comunidade envolvida com a exploração e beneficiamento deste material (VIDAL et al., 2006; LIMA et al., 2017).

Os resíduos sólidos são um dos maiores problemas ambientais do mundo na atualidade, resultado de uma ideologia de vida baseada na produção sem planejamento e impulsionada pelo consumo exagerado de uma sociedade que não para de crescer e se concentrar nos centros urbanos. Tal concentração, quando não acompanhada da implantação de medidas de gestão eficientes, contribui para o agravamento de uma das principais características das atividades humanas: a produção e o acúmulo do lixo propriamente dito. Após a geração dos resíduos sólidos os mesmos requerem tratamento adequado de forma a alterarem o mínimo possível o meio ambiente e todos os elementos que compõem este último; dando continuidade a este raciocínio percebe-se que este cuidado não se aplica ao caso da atividade de lavra da Pedra Cariri que gera e descarta, no meio ambiente, toneladas de resíduos sólidos que crescem exponencial e anualmente (MARQUES, 2012).

O calcário laminado, também chamado de Pedra Cariri, material rochoso tão abundante quanto explorado na região Sul do estado do Ceará, é uma rocha ornamental utilizada na construção civil em forma de revestimento de pisos e fachadas (OLIVEIRA & BARROSO, 2016). No processo de lavra e beneficiamento da Pedra Cariri, na região dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, verifica-se, em todas as suas etapas, uma grande quantidade de material desperdiçado, devido à utilização de tecnologias inadequadas às condições das jazidas, além da falta de acompanhamento técnico especializado (SUASSUNA et al., 2012). Essa atividade gera, nas frentes de extração, uma grande quantidade de rejeitos impactando o meio-ambiente, formando entulhos vultuosos, fechando drenagens, obstruindo ou assoreando riachos, bem como gerando um impacto visual desagradável. Estima-se que a perda de material durante a lavra alcance o percentual de 70% com o tipo de operação atualmente utilizada, sendo que antes, sem as máquinas de corte, o percentual de perda chegava a 90% (VIDAL et al., 2008).

O Brasil está entre os quatro países que mais geram resíduos sólidos no mundo, perdendo em volume de produção apenas para China, Estados Unidos e Índia. Estima-se que, atualmente, no Brasil são gerados por ano em torno de 78 milhões de toneladas de resíduos sólidos. Além disso, o país enfrenta

um mau gerenciamento destes resíduos gerados exatamente por carecer da aplicação de políticas públicas direcionadas para esse contexto. Aproximadamente 42% do montante de resíduos sólidos gerados no Brasil recebem encaminhamentos inapropriados (ABRELPE, 2014).

A atividade mineira nos calcários da região de Nova Olinda e Santana do Cariri, no interior do Ceará, que ocorre numa parte da bacia sedimentar do Cariri, vem proporcionando, assoreamento de riachos, alteração do pH das águas e o aumento acelerado de zonas de erosão, além da poluição ambiental causada pelo descarte dos resíduos sólidos remanescentes das atividades de exploração deste material rochoso conhecido comercialmente como Pedra Cariri. Esta realidade suscita certa urgência em medidas de preservação ambiental como a criação de parques temáticos com desenvolvimento, implantação e coordenação de políticas para gerenciamento das atividades de mineração e exploração deste material rochoso de composição calcária e, sobretudo, desenvolvimento de ações no sentido de providenciar um encaminhamento ambientalmente correto para o rejeito remanescente das atividades de lavra em questão, incrementando assim a economia regional com atividades eco turísticas, bem como agregando valor aos resíduos sólidos, que são descartados sem critérios no meio ambiente de zonas urbanas ou rodoviárias, e à qualidade de vida da comunidade envolvida com a exploração e beneficiamento deste material (VIDAL et al., 2006; LIMA et al., 2017).

Alinhado a este contexto, o objetivo deste trabalho é realizar uma investigação acerca das potencialidades de aplicação industrial para os resíduos sólidos gerados como rejeito das atividades de lavra da Pedra Cariri realizadas em municípios da microrregião do Cariri, Estado do Ceará. Caracterizar amostras destes resíduos por meio das técnicas de difração de raios x e infravermelho faz parte da metodologia de investigação.

Material e Métodos

A área de estudo deste trabalho é a Bacia sedimentar do Cariri, que é um importante sítio geológico e paleontológico do Brasil, situado na região Nordeste. Esta unidade é parte integrante da bacia sedimentar da Chapada do Araripe; a mesma é litologicamente composta de estratos horizontalizados de calcário intercalados a folhelhos siltícios e arenitos, depositados durante o Cretáceo Inferior, cerca de 120 milhões de anos, e é uma importante jazida de calcário, atualmente explorado pela indústria de rochas para fins ornamentais (SILVA, 2008; SOARES et al., 2015).

A composição da Chapada do Araripe, que se estende por diferentes municípios da microrregião do Cariri do estado do Ceará, é constituída por diferentes formações rochosas, dentre estas há a formação Santana, localizada no Sul do estado do Ceará, onde se encontra um tipo de rocha calcária laminada que apresenta-se numa sequência sedimentar estratificada, quase horizontal, com siltitos argilosos, margas com concreções calcárias e bancos calcários, gipsita, calcários laminados, siltitos e folhelhos betuminosos com cerca de 250 m de espessura depositada em extensa área, formada no Mesozoico, mais precisamente no período Cretáceo, iniciado há cerca de 120 milhões de anos. Esta formação rochosa de natureza calcária é comercialmente conhecida como Pedra Cariri (SILVA et al., 2015; OLIVEIRA & BARROSO, 2016).

Na metodologia de trabalho foram coletadas diretamente de um dos pontos onde são descartados sem critérios no meio ambiente, amostras dos resíduos sólidos de Pedra Cariri. As amostras coletadas foram então codificadas com siglas de identificação como PCA para os resíduos da Pedra Cariri de coloração amarela, e PCC, os resíduos da Pedra Cariri de coloração cinza. A fim de otimizar o conhecimento e a compreensão acerca das características estruturais e de composição dos resíduos sólidos investigados neste trabalho, as amostras PCA e PCC foram submetidas, após serem beneficiadas por meio de moagem via moinho de martelos seguida de peneiramento em malha ABNT 200 mesh, às caracterizações por meio de difração de raios x e de infravermelho. Para isso foi utilizado um difratômetro Shimadzu, modelo XRD 7000, com alvo de cobre e um analisador de infravermelho FT-IR/FT-NIR Spectrum 400 Perkin Elmer, com acessório de refletância total atenuada horizontal empregando um cristal de seleneto de zinco - ZnSe.

Os resultados coletados a partir destas duas caracterizações foram comparados com resultados de caracterizações apresentados na literatura acerca da Pedra Cariri, com o intuito de mensurar o grau pureza das amostras coletadas e investigadas neste trabalho. Mais objetivamente desejou-se investigar se o descarte destes resíduos sólidos no meio ambiente contamina os mesmos, a ponto de comprometer suas potencialidades de aplicação em atividades industriais.

Após realizou-se o estudo investigativo do problema de acúmulo do rejeito das atividades de mineração e lavra da Pedra Cariri, a partir dos questionamentos: (i) Quais impactos têm sido causados

pelos amontoados continuamente crescentes de resíduos de Pedra Cariri na região Sul do estado do Ceará?; (ii) Quais têm sido as medidas de políticas públicas ou privadas praticadas em relação à destinação desses resíduos?

Fazem parte do objetivo deste trabalho obter medidas que minimizem os impactos ambientais causados pelo descarte destes resíduos, imprimir um caráter de sustentabilidade na atividade de mineração em questão e, assim, oferecer à comunidade local das áreas de exploração alternativas de encaminhamentos ambientalmente corretos, industrialmente viáveis, além de economicamente rentáveis para estes rejeitos.

Resultados e Discussão

Nas Figuras 1 e 2 observa-se as amostras de resíduos de PCA e PCC, respectivamente, provenientes do rejeito das atividades de lavra e mineração da Pedra Cariri, coletadas no município de Nova Olinda-CE.



Figura 1. Amostras de resíduos de Pedra Cariri Amarela (PCA).



Figura 2. Amostras de resíduos de Pedra Cariri Cinza (PCC).

Nas Figuras 3 e 4 pode-se observar exemplos do descarte dos resíduos sólidos oriundos das atividades de exploração da Pedra Cariri, registradas na área de estudo. Vale destacar que, o acúmulo destes rejeitos se espalha desde a área de mineração até as adjacências de zonas urbanas e rodoviárias

da mesma região, que envolve diferentes municípios da microrregião do Cariri. Observa-se que, os municípios mais afetados por este problema foram Nova Olinda e Santana do Cariri.



Figura 3. Amontoados de entulhos formados pelo descarte no meio ambiente do município de Nova Olinda – Ceará, do rejeito das atividades de lavra da Pedra Cariri.



Figura 4. Amontoados de entulhos formados pelo descarte, no meio ambiente do município de Nova Olinda – Ceará, do rejeito das atividades de lavra da Pedra Cariri.

Na Figura 5a e 5b observa-se os resultados do ensaio de difração de raios x realizado nas amostras PCA e PCC na forma de difratogramas. De acordo com os difratogramas plotados a partir dos dados de difração de raios x pode-se constatar que as amostras PCA e PCC são constituídas por uma microestrutura monofásica de calcita - CaCO_3 . Embora as amostras não sejam constituídas exclusivamente por CaCO_3 , as outras fases apresentaram-se em uma concentração tão baixa que não foram acusadas pelo difratômetro.

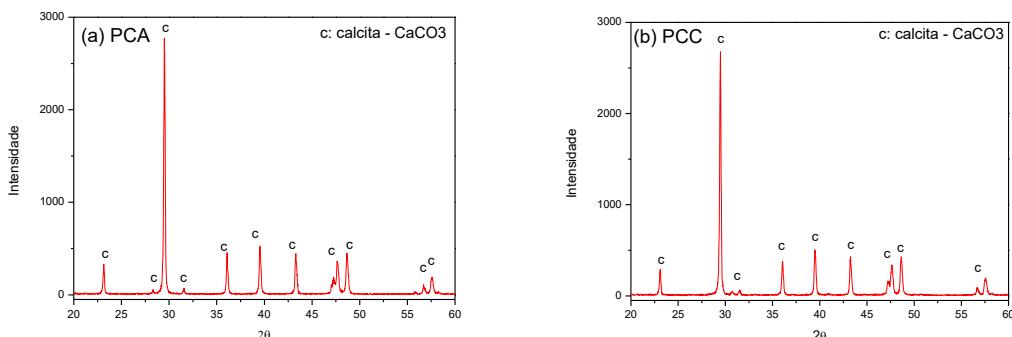


Figura 5. Perfis gráficos representativos das análises por DRX das amostras PCA (a) e PCC (b).

Na Figura 6 a e 6 b observa-se os perfis gráficos dos resultados do ensaio de infravermelho realizado nas amostras PCA e PCC. De acordo com estes resultados pode-se constatar que, as duas amostras analisadas neste trabalho possuem bandas de absorção, na região do infravermelho, bastante semelhantes, e, como constatado nos difratogramas, exibidos na Figura 5, fica comprovada a semelhança das composições mineralógicas das mesmas.

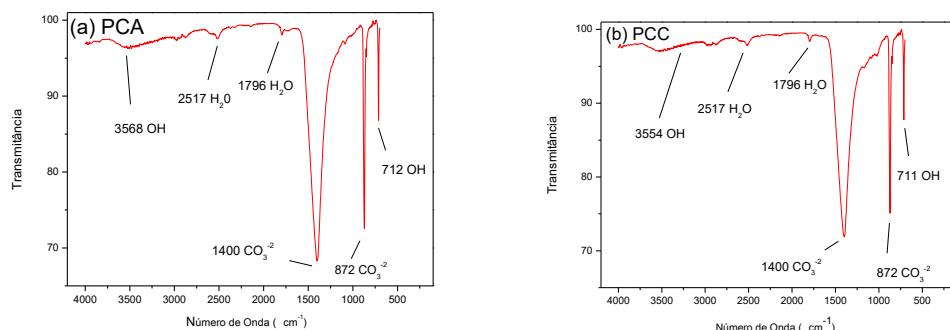


Figura 6. Perfis gráficos representativos do resultado da caracterização por infravermelho das amostras PCA (a) e PCC (b).

Os resultados da caracterização por infravermelho ratificam a veracidade dos difratogramas, pois acusam a presença do grupo carbonato (CO₃²⁻), o qual está presente na calcita (CaCO₃), principal constituinte das amostras PCA e PCC, segundo os difratogramas. A caracterização via técnica de infravermelho, também detectou bandas de absorção características da presença de água nas duas amostras analisadas.

De acordo com os resultados obtidos a partir das duas caracterizações realizadas, ficou constatado que o minério conhecido como Pedra Cariri é um material rochoso que apresenta mineralogia relativamente simples e predominantemente típica das rochas denominadas de calcárias. Estes resultados estão em total conformidade com as conclusões dos trabalhos publicados na literatura que mostram que a Pedra Cariri possui estrutura inorgânica cristalina, podendo conter traços de compostos orgânicos, formada por calcita [CaCO₃], dolomita [CaMg(CO₃)₂] e minerais secundários como anidrita [CaSO₄], gipsita [CaSO₄.2H₂O], siderita [FeCO₃] entre outros. Como a composição das rochas calcárias é majoritariamente formada por carbonatos de cálcio e ou de magnésio, essas rochas são também denominadas de rochas carbonáticas ou carbonatadas. O calcário representa aproximadamente 10% de todas as rochas sedimentares do planeta. As reservas de calcário, ou rochas carbonatadas, são praticamente intermináveis, porém a sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos de 10% das reservas de carbonatos lavradas em todo mundo (AHR et al., 2005; ALVES et al., 2010).

Martins et al. (2010) afirmam que o calcário é a matéria-prima básica, que contribui de 85 a 95% na fabricação do clínquer do cimento do tipo Portland e gesso. Ainda afirma que as matérias-primas de composição calcária são definidas como sendo aglomerantes, porque têm a propriedade de aglutinar outros materiais, hidrofílicos ou higroscópicos, porque reage ao se misturar com água e depois de endurecido, ganha características de rocha artificial, conservando suas propriedades mecânicas de dureza e resistência, se permanecem imersos em água por aproximadamente sete dias.

Lima et al. (2017), analisaram amostras de resíduos de Pedra Cariri, de coloração cinza, oriundos do município de Nova Olinda e concluíram que estas amostras além de apresentarem composição adequada para a fabricação de tintas de base oleosa ou não, neste caso específico considerando a aplicação deste material como carga. Nesse estudo ficou constatado que o beneficiamento para esta aplicação se limitou apenas a um processo moagem seguida de peneiramento dos resíduos em malha 200 mesh, assim o material objeto do estudo apresentou-se, na forma de pó, com granulometria entre 3 a 10 µm, ideal para a aplicação pretendida neste caso.

Em estudo realizado por Silva et al. (2017), no qual foram investigadas as características químicas, físicas e estruturais de amostras de resíduos de Pedra Cariri, de coloração amarela, oriundas do município de Nova Olinda, concluíram que, o potencial pujante de aplicação desse material, na condição de carga, em processos industriais de fabricação de plásticos, papel e tintas, além da possibilidade de aplicação como fundente em processos industriais de fabricação de materiais vítreos; para todas estas opções de aplicações bastaria adequar a granulometria do resíduo, que é facilmente manipulada por meio de processamento, em conformidade com as especificações exigidas em cada caso.

No estudo investigativo, quanto a primeira pergunta, observa-se que ficou constatado, que o descarte destes resíduos acontece sem critérios no meio ambiente, por não terem um destino definido e mais adequado. Observa-se também que impacto causado é a poluição e obstrução do meio ambiente e de áreas públicas. Também ficou constatado que, para a segunda pergunta, que por enquanto, não há medidas de gestão implantadas no sentido de coibir ou controlar esse descarte feito de forma indiscriminada no meio ambiente. Observa-se que, pouco tem sido feito no que tange o desenvolvimento de providências concretas de encaminhamento ambientalmente correto para estes resíduos.

De acordo com Lima (1995) e Demajorovic (1995), realizando-se uma análise histórica das políticas públicas direcionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil e no mundo, constatar-se-á que, apenas nas últimas décadas do século XX, mais precisamente a partir de 1970, foi que surgiram as primeiras iniciativas institucionais, mais ou menos consistentes, de aperfeiçoamento da gestão do setor e das próprias concepções de resíduos sólidos e seus devidos tratamentos. As motivações principais para essa problematização dos resíduos sólidos nos fins do século XX estão associadas à expansão demográfica e da urbanização, do consumo e da geração de resíduos, com todos os seus efeitos indesejáveis; à difusão de uma consciência e ação ambientalista, com crescimento da demanda por leis, políticas e instrumentos institucionais de gestão ambiental; a um ressurgimento de movimentos da sociedade civil que abriram novos espaços para debates e experiências sobre democracia participativa, gestão compartilhada, instrumentos e fóruns de participação social e governança.

Waldman (2010) e Lima (1995), afirmam que, embora haja algumas discrepâncias entre a realidade de um país e outro a produção mundial de lixo, e isso inclui os resíduos sólidos, é expressivamente maior do que as taxas de crescimento demográfico. Em particular no caso do Brasil constatou-se que a população cresceu em torno de 15% entre os anos de 1991 e 2000, enquanto que o montante de resíduos sólidos descartados no meio ambiente no mesmo interstício de tempo cresceu 49%.

De acordo com a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014), em 2012 a produção de resíduos sólidos urbanos (essa terminologia engloba resíduos originários de atividades domésticas, resíduos de limpeza urbana e detritos originários de setores industriais) foi de 78,6 milhões de toneladas, o que representou para aquele ano um aumento de 3% em relação ao ano anterior, esse aumento foi superior a taxa de crescimento demográfico para o mesmo período que foi de 0,9%.

A crescente preocupação com a preservação dos recursos naturais e com a questão de saúde pública, associada a resíduos sólidos, indica que, políticas públicas para tratar desses temas tendem a ser cada vez mais demandadas pela sociedade. Exatamente como uma consequência destas demandas, é que foi sancionada em agosto de 2010, e regulamentada em dezembro do mesmo ano, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que reúne o conjunto de diretrizes e ações, a ser adotado com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento adequado dos resíduos sólidos (CEDI, 2012).

Para Januário et al. (2017), deve-se dar especial atenção para a coletividade inserida em um cenário problematizado pelo acúmulo de resíduos sólidos, na maioria dos casos a mesma afirma reconhecer o problema ambiental e suas consequências negativas e deixam claro a importância e o interesse pela solução do caso, na maioria das vezes se dispondo com apoio político e/ou institucional e ferramentas para a sua instrução; no entanto, atitudes eficazes para a solução da questão não são adotadas. Em casos assim, pesquisadores como Ozório et al. (2015) e Leite et al. (2015), defendem que

os poderes públicos devem focar inicialmente suas ações concretas de tentativas de implantação de medidas de gerenciamento do problema na sensibilização e formação educacional e ecológica dos cidadãos.

Gentil (2013), corrobora com este pensamento afirmando que, o intuito de políticas de educação ambiental aplicada em massa, integrada a PNRS, pelo menos na teoria, é implantar no meio da população, sobretudo nas faixas etárias mais jovens, a capacidade de prevenir, corrigir ou minimizar a degradação do meio ambiente. Contudo, para que uma política dessa natureza obtenha êxito é necessário que a mesma englobe diferentes setores da sociedade, estando sempre atento ao nível de aceitação e a eficácia da implantação dessa política. É inegável que a educação ambiental é um instrumento indispensável e inegociável no processo transformador da realidade de uma sociedade acometida pela problemática causada pela existência de entulhos dos mais diferentes tipos e suas respectivas consequências ambientais, sociais e econômicas; porém, a implementação desse tipo de “política verde” deve ser realista, levando sempre em consideração as vozes da comunidade local e ouvindo suas necessidades e opiniões e, ao mesmo tempo, não se descuidar do caráter de sustentabilidade sob o qual este plano de ação deve ser conduzido.

Para Besen et al. (2017), a Zona Leste da cidade de São Paulo, assim como todo e qualquer município ou território gerador de resíduos sólidos, reúne as pessoas e os recursos capazes de satisfazer as suas próprias necessidades, desde que haja espaço para negociações que devem incluir desde uma lista de necessidades, até a existência de relações que convirjam para a produção de benfeitorias em favor da coletividade e para a circulação de bens e serviços. De um ambiente democrático surgirá à necessidade de mais democracia, ou seja, mais liberdades e condições para o seu exercício, conclui o autor.

Conclusão

As caracterizações de difração de raios x e de infravermelho indicam que as características estruturais das mesmas são majoritariamente calcárias e não sofrem contaminações ao serem descartados no meio ambiente a ponto de alterar suas características estruturais e composições químicas.

Diante deste estudo conclui-se que os municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, carecem da aplicação de medidas políticas e planos municipais de gestão de resíduos sólidos, que estejam obviamente alinhados à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Pelos resultados observados conclui-se que os resíduos descartados, sem critérios no meio ambiente, apresentam potencial para serem considerados como insumos de diferentes atividades de modalidade industrial.

Sendo assim, fica constatado que é possível imprimir um caráter de sustentabilidade nas atividades de lavra da Pedra Cariri e, principalmente, que os resíduos deste minério não devem ser considerados unicamente como algo ambientalmente poluente e, por isso, indesejado; mas sim, como um insumo que contém valor tanto quanto os produtos que possam a vir serem produzidos, industrialmente, a partir do mesmo.

Referências

- AHR, W. M.; BOYD, D. A. A.; SMITHSON, H. N. B. T.; CLERKE, E. A.; GZARA, K. B. M.; HASSALL, J. K.; ZUBARI, C. R. K. M. H.; RAMAMOORTHY, R. Confronting the carbonate conundrum. *Oilfield Review*, v.17, n.1, p.18-29, 2005.
- ALVES, C. C. E.; SIEBRA, F. S. F.; BEZERRA, L. M. A.; OLIVEIRA, M. L. T. Geopark Araripe: um estudo geoturístico e ambiental no geotope granito, Ceará/Brasil. In: Seminário Latino Americano, 6e Seminário Ibero Americano de Geografia Física, 2, 2010, Coimbra. Anais... Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.
- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014. São Paulo. 2014. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama/panorama2014.pdf>. Acesso em: julho de 2017.
- BESEN, G. R.; FREITAS, L.; JACOBI, P. R. Política nacional de resíduos sólidos: implementação e monitoramento de resíduos urbanos. Editora IEE USP: OPNRS, São Paulo-SP, 2017.
- CEDI. Centro de Documentação e Informação. Câmara dos Deputados. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2^a edição. Edições Câmara. Brasília-DF, 2012. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br>. Acesso em: 14 de novembro de 2017.

- CORREIA, J. C. G.; VIDAL, F. W. H.; RIBEIRO, R. C. C. Caracterização tecnológica dos calcários do Cariri do Ceará. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 5, Recife, 2006, Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006, p.65-73.
- DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. Revista de Administração de Empresas, v.35, n.3, p.88-93, 1995.
- DIAS, G. G.; CRUZ, T. M. S. Plano de gerenciamento integrado de resíduos vítreos. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2009. 24p.
- GUEDES, L. Solo infértil e improdutividade do solo. 2013. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <<https://ecoworkambiental.wordpress.com/tag/solo-infertil-improdutividade-do-solo/>>. Acesso em: 16/01/2017.
- GENTIL, V. O esverdeamento da economia e os tributos verdes: um duro caminho rumo à sustentabilidade da gestão dos resíduos sólidos urbanos. 362f. Tese (Doutorado). Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília. Brasília, 2013.
- JANUÁRIO, M.; FERNANDES, F. R. M.; VALERIO, M. A.; MACEDO, R. B. Estudo do comportamento ambiental da população de Wenceslau Braz/PR em relação aos resíduos sólidos urbanos. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v.6, n.1, p.55-71, 2017.
- LEITE, J. K. S.; ARRUDA, S. G. B.; ALVES, L.; CAMPOS, L. A. A. Envolvimento sustentável: O UFPE na Praça incentivando a Educação Ambiental. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v.10, n.1, p.301-315, 2015.
- LIMA, G. F. C. Consumo e resíduos sólidos no brasil: As contribuições da educação ambiental. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n.37, p.47-57, 1995.
- LIMA, P. H. P.; SILVA, G. R. A.; BARBOSA, F.N.F.; BRASILEIRO, M. I.; NEIVA, L. S. Investigação das potencialidades de aplicações dos resíduos da pedra cariri provenientes da chapada do Araripe. In: Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos em Universidades, 8, 2017, Campina Grande. Gestão Integrada de Resíduos: Universidade & Comunidade v.1. Campina Grande: EPGRAF, 2017. 342p.
- MARQUES, R. Políticas públicas e gestão de resíduos sólidos em Goioerê-PR. 64f. Monografia (Especialista). Pós-Graduação em Gestão Pública Municipal. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.
- MARTINS, A.; MERCADÉ, S. R.; AOKI, J.; MADI, F.; MARCONDES, C. G.; NEVES, I. F. Cimento Portland: Fabricação e características. Curitiba: Itambé, 2010.
- OLIVEIRA, D. B. de; BARROSO, S. H. A. O uso do resíduo da pedra cariri como material alternativo em camadas granulares de pavimentos. In: Reunião Anual de Pavimentação, 49, 2016, Brasília. Anais... Brasília, 2016. p.1-12.
- OZÓRIO, M. S.; SOUZA, M. P.; ALVES, N.; JOB, A. E. Promovendo a conscientização ambiental: resultados de uma pesquisa realizada com alunos do ensino médio sobre polímeros, plásticos e processos de reciclagem. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v.10, n.2, p.11-24, 2015.
- SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. Calcário e Dolomito. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. (Ed.). Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p.363-391.
- SILVA, A. D. A. Aproveitamento de rejeito de calcário do cariri cearense na formulação de argamassa. 77f. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Mineral. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2008.
- SILVA, F. J. P.; CARVALHO, A. M. X. de; PETERSEN, P. Rochagem no manejo da fertilidade dos solos. Agriculturas, v.12, n.1, 2015.
- SILVA, G. R. A.; LIMA, P. H. P.; BARBOSA, F.N.F.; BRASILEIRO, M. I.; SOUZA, S. C.; NEIVA, L. S. Análises das características físicas, químicas, mineralógicas e estruturais do resíduo da Pedra Cariri para determinação das suas potencialidades. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 61, 2017, Gramado. Anais... Gramado: ABCERAM, 2017. p.67-76.
- SOARES, A. de P.; WEBER, O. L. S.; ESPÍRITO SANTO, O. Metais pesados em calcários do estado de Mato Grosso. Geociências, v.34, n.3, p.465-474, 2015.
- SUASSUNA, P. M.; PRADO, A. C. de A.; BRASILEIRO, M. I. Reaproveitamento do rejeito da extração e beneficiamento da pedra cariri em massas cerâmicas. In: Encontro Universitário da UFC no Cariri, 4, 2012, Juazeiro do Norte. Anais...Juazeiro do Norte, 2012.
- VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F.; CAMPOS, A. R. de; LEITE, C. C. O arranjo produtivo local da Pedra Cariri. In: Comunicação Técnica elaborada para o Encontro sobre Prevenção e Gestão de Conflitos na Mineração. 2008, Rio de Janeiro. CETEM, p.10, 2008.

VIDAL, F. W. H.; PADILHA, M. W. M.; OLIVEIRA, R. R. Aspectos geológicos da bacia do Araripe e do aproveitamento dos rejeitos da Pedra Cariri – Ceará. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 5, 2006, Recife. Anais... Rio de Janeiro, 2006. p.31-36.

WALDMAN, M. Lixo: cenários e desafios. Editora Cortez, São Paulo - SP, 2010.



ESTUDO DE PROPRIEDADES DIELÉTRICAS NA REGIÃO DE MICRO-ONDAS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE ÓXIDO DE LANTÂNIO EM MATRIZ SBN

Roterdan Fernandes Abreu¹

Samuel Oliveira Saturno¹

Emmanuelle de Oliveira Sancho²

Daniel Xavier Gouveia¹

Antônio Sérgio Bezerra Sombra^{2,3}

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Engenharia de Telecomunicações,
roterdan.fernandes@gmail.com; samuel.saturno@alu.ufc.br; dxgouveia@gmail.com

²Laboratório de Telecomunicações e Ciência e Engenharia de Materiais, Departamento de Física – UFC,
Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Campus do Pici,
emmanuellesancho@hotmail.com

³Laboratório de Redes de Comunicação e Segurança (LARCES), Universidade Estadual do Ceará, Campus do
Itaperi, asbsombra@gmail.com

Introdução

Com o advento da internet e a ascensão das telecomunicações, o mundo moderno ficou mais conectado, e o anseio dos consumidores por novas tecnologias fez com que houvesse uma crescente e rápida busca por sistemas de preço acessível e com melhor desempenho. Vale destacar que, a necessidade de conexão e da realização de multitarefas em qualquer lugar, como acesso ao e-mail, redes sociais, agenda de compromissos e aplicativos inteligentes são algumas das motivações que levaram ao desenvolvimento de aparelhos com maior eficiência e menor volume, no que tange ao seu tamanho e forma (ABREU, 2017).

Nesse contexto, é possível tomar como exemplo a cerâmica de óxido dielétrico que trouxe uma enorme inovação para a indústria de comunicação sem fio de micro-ondas, reduzindo tanto o tamanho como o custo de componentes eletrônicos como filtros, osciladores e antenas. Vale destacar que, estes, possuem inúmeras aplicações, que vão desde a telefonia celular até sistemas de posicionamento global (GPS) (SEBASTIAN, 2008).

Consequentemente, essa necessidade de miniaturização e inovação tecnológica trouxeram como resultado uma maior demanda por ressoadores dielétricos (DRs) – componentes integrantes de circuitos eletrônicos que possuem baixa perda – compostos por cerâmicas dielétricas, que tem como intuito diminuir os tamanhos das antenas e aumentar a frequência de execução. Assim, é possível destacar que os materiais dielétricos operando nas faixas de radiofrequência (RF) e micro-ondas (MW) desempenham um papel fundamental para os sistemas de comunicações globais (SEBASTIAN, 2008).

Segundo a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), defini antena como um mecanismo capaz de captar ou emitir ondas eletromagnéticas no espaço. Vale salientar que, segundo a norma Padrão IEEE para Definições de Termos para Antenas (*IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas*) antena é um instrumento apropriado para emitir ou receber radiação de ondas eletromagnéticas.

O trabalho com ressoadores dielétricos (RDs) se iniciou em 1939, na Stanford University, por Robert Davis Richtmyer. Porém, passaram mais de vinte anos até que a comunidade científica passasse a demonstrar interesse por essa linha de pesquisa teórica, ressurgindo o interesse na década de 60 através das pesquisas desenvolvidas por Okaya e Barash (1962) (PETOSA, 2007). Contudo, um RD só passou a ser utilizado como antena após a publicação do artigo *The resonant cylindrical dielectric cavity antenna* (Antena resonante dielétrica de cavidade cilíndrica) publicado por Stuart et al. em 1983 (LUK & LEUNG, 2003). Nesse período, a banda de frequência avançou rapidamente para casa milimétrica, ou seja, o alcance da frequência ficou entre cem e trezentos giga-hertz e nessa banda as antenas metálicas tinham um decréscimo em sua eficiência devido as perdas por condução. Entretanto, o uso (ARDs) se mostraram promissoras pois, a única perda nesses tipos de antenas era devida a imperfeição do material dielétrico.

Entretanto, para aplicações relevantes os RDs devem ser formados por materiais com alto fator de qualidade entre 50 e 500. Porém, dependendo da aplicação pode chegar até 10.000 e outro aspecto importante é a alta permissividade dielétrica que deve ser maior que vinte ($\epsilon_r > 20$) (KAJFEZ, 1998; LUK

& LEUNG, 2003). Vale ressaltar que, ao se estudar os ressoadores dielétricos é preciso levar em consideração algumas propriedades, tais como, fator de qualidade (Q) elevado, coeficiente de temperatura (τ_f) perto de zero e ainda uma permissividade relativa (ϵ_r) alta (SEBASTIAN, 2008).

Assim, é possível dizer que os RDs, aplicados na tecnologia tem diversas vantagens. Dentre estas destacamos a facilidade de compactação dos RDs em relação aos guias de onda de cavidades metálicas, minimiza as perdas por irradiação e preservar um fator de qualidade alto. Além disso, podem ser integrados de forma fácil em circuitos elétricos pois têm uma frequência térmica estável quando se usa um comprimento na escala de milímetros (PETOSA, 2004; SEBASTIAN, 2008).

Análise da DRA cilíndrica representa o ressoador dielétrico por uma cavidade cilíndrica com seu volume completamente preenchido por um material dielétrico – se mostra muito útil uma vez que as soluções para as equações de Maxwell se tornam mais simples dadas as condições de contorno para os modos de propagação de ondas eletromagnéticas em um guia de onda circular (LUK & LEUNG 2003). Vale ressaltar que, para um RD cilíndrico existem três modos de vibração, que são divididos da seguinte forma: modos transversais elétricos (TE), transversais magnéticos (TM) e modos híbridos (este é chamado de EH se a componente do campo magnético H_z é dominante, ou de HE se a componente do campo elétrico E_z é modo dominante). Podemos destacar que, os modos TE e TM diferem dos modos híbridos por possuírem dependência azimutal e os modos mais utilizados em aplicações de radiação são os modos TM018, TE018 e HE18 (PETOSA, 2007).

Porém, assim como uma linha de transmissão, o objetivo de um guia de onda é transmitir energia de ponto (gerador) para outro (carga). Entretanto, em uma linha de transmissão é possível a existência de dois ou mais condutores que suportam ondas transversais eletromagnéticas (TEM) enquanto, o guia de onda geralmente é formado por um único condutor que pode suportar tanto ondas transversais elétricas (TE) como transversais magnéticas (TM). Além disso, em frequências de microondas os guias de ondas são mais eficientes, pois nesta faixa de frequência obtém uma maior largura de banda e uma menor atenuação já, as linhas de transmissão são ineficazes devido as perdas nos dielétricos (SADIKU, 2004; POZAR, 2012).

Este trabalho tem o objetivo de avaliar a matriz cerâmica de Nióbio e bismuto: $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ (SBN) e a influência da adição de íons La^{3+} com o intuito de obter uma compreensão dos efeitos de adição em RF (Rádio Frequência) e propriedades de micro-ondas na matriz SBN e suas possíveis aplicações como antenas ressoadoras dielétricas.

Material e Métodos

As amostras de SBNLa, carbonato de estrôncio (Aldrich), óxido de bismuto (Aldrich), óxido de nióbio (Aldrich), óxido de Lantâno (Vetec), foram preparadas segundo o método cerâmico convencional. Os materiais utilizados estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1. Materiais utilizados na preparação das amostras cerâmicas ferroelétricas

Nome	Fórmula química	Pureza (%)	Fabricante
Carbonato de estrôncio	SrCO_3	99,9	Aldrich
Óxido de bismuto	Bi_2O_3	99,9	Aldrich
Óxido de nióbio	Nb_2O_5	99,9	Aldrich
Óxido de lantâno	La_2O_3	99,9	Vetec
Álcool polivinílico	$(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$	-	Dinâmica
Glicerina	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	-	-

Fonte: Adaptado de Sancho (2013).

Foram utilizados reagentes com alto grau de pureza e a partir destes, os materiais foram preparados nas proporções estequiométricas de cada composição.

Desta forma, submeteu-se o óxido de nióbio a um pré-tratamento térmico sob a temperatura de 300°C por um período de três horas. Os reagentes (carbonato de estrôncio, e, os óxidos de bismuto e nióbio) empregados na síntese foram pesados em balança analítica estequiométricamente e depois foram homogeneizados em almofariz.

Após esse processo, foi utilizado o moinho *Fritsch Pulverisette 5* para executar a moagem das amostras. Estas ficaram sujeitas aos reatores poliméricos com esfera de zircônia, durante oito horas sob uma velocidade de 360rpm. Em seguida o material foi submetido a um procedimento térmico (900°C) por duas horas. A equação química para a elaboração da matriz SBN está descrita na Equação 1.



Após foi possível observar que, o melhor resultado para a temperatura de calcinação foi em 900°C, e por este motivo foi realizada a adição dos dopantes à matriz SBN calcinada nessa temperatura. Após, acrescentou-se ao SBN de 3 e 5% em massa de dopantes (La_2O_3).

Utilizando-se o método de compactação do pó via pressão uniaxial a 294 Mpa, preparou-se as amostras puras e adicionadas de 3 e 5% de La_2O_3 e (Bi_2O_3) em formato de bulk com 5% de glicerina como ligante. Em seguida foram sinterizados a 1000°C por 2 horas, e, resfriados a temperatura ambiente.

Neste trabalho, foi empregado o analisador de rede HP8716ET da *Hewlett-Packard (HP)*, munido de dois cabos coaxiais conectados aos respectivos “probes” de transmissão e recepção, juntamente um sistema Hakki-Coleman, modelo “300C Courtney Ressonator” da Damaskos Inc., este tem a função de captar os sinais que são detectados pela antena receptora e com auxílio do *Software Courtney* da Damaskos Inc. Desta forma, o programa analisa o espectro característico da amostra para determinar os modos de ressonância do ressoador, a permissividade dielétrica (ϵ_r), a tangente de perda dielétrica ($\tan\delta$) e o fator de qualidade do material ($Q = 1/\tan\delta$).

O modo utilizado foi o TE₀₁₁ segundo Kajfez e Guillon, (1998), e a faixa de frequência na qual utilizada foi de 50 MHz a 13,5 GHz. Este tem maior facilidade de ser identificado porque suas propriedades ressonantes permanecem sem alterações mesmo que existam espaços de ar (air gap) entre o dielétrico e as placas condutoras (SEBASTIAN, 2008).

Neste trabalho o método empregado para estudar a estabilidade térmica do material foi o método de Silva et al. (2004). A análise das medidas de monópolo foram realizadas a partir da técnica desenvolvida por Long et al. (1983), com o auxílio de um analisador de rede (Agilent N5230A). Esta técnica consiste em excitar as amostras sob a configuração de DR, ou seja, uma sonda coaxial/alimentação é inserida por baixo do plano terra e a peça que se deseja analisar deve ser posicionada junto a sonda (PETOSA, 2007).

O plano terra é feito de cobre e possui as dimensões iguais a 35,5 x 30 x 2,14mm. Já a sonda é ligada ao plano de terra através de um conector SMA e possui um comprimento de 9mm. Assim, a antena ressoadora submetida a este processo atuou no modo HE11δ, e sua frequência de ressonância foi aquela em que a perda de retorno é mínima (PETOSA, 2007).

Na fase de simulação foi utilizado o software ANSYS HFSS (*High Frequency Structure Simulator*), que é um simulador numérico que utiliza o método de elementos finitos para simular campo eletromagnéticos e para projetar componentes de alta frequência dentre os quais elencou-se os dispositivos de RF, micro-ondas, antenas, etc.

A simulação foi utilizada com o objetivo de validar os resultados experimentais, e designar parâmetros imprescindíveis para a análise e legitimação das amostras cerâmicas DRA para obter parâmetros de campos distantes como diretividade, ganho, eficiência da antena, diagrama de radiação, etc. Na Tabela 2 estão sintetizadas as informações inseridas na simulação.

Tabela 2. Dados fornecidos ao HFSS

Amostras	ϵ_r	r (mm)	H (mm)	$\tan\delta$ (10 ⁻²)	f_r (GHz)
SBN0La	41.570	8.556	9.245	5.000	2.569
SBN3La	137.996	7.295	8.049	3.663	1.878
SBN5La	152.077	7.271	8.034	4.954	1.840

Para analisar as propriedades dielétricas foi utilizado o método Hakki and Coleman (1960). Vale ressaltar que para a medição do coeficiente de frequência de ressonância (τ_f) o método SFS utiliza o modo dominante no aparato para antena DRA com variação de temperatura. Observa-se que estes valores foram alcançados considerando a permissividade magnética ($\mu_r = 1$), e esta aproximação se fez necessária uma vez que, no método Hakki – Coleman geralmente, é utilizado para amostras com características genuinamente dielétricas.

Resultados e Discussão

A partir da Tabela 3 são apresentados os valores obtidos na faixa de frequência de micro-ondas para todo o material em estudo.

Tabela 3. Propriedades dielétricas na faixa de microondas das amostras*

Amostras	ϵ_r	D (mm)	H (mm)	$\tan\delta$ (10^{-2})	f_r	Q_D (GHz)	τ_f (ppm/ $^{\circ}\text{C}$)
SBN0La	41.57	17.11	9.24	5.00	2.56	72.79	-489.70
SBN3La	137.99	14.59	8.04	3.66	1.87	63.14	-460
SBN5La	152.07	14.54	8.03	4.95	1.84	44.58	-675.34

* ϵ_r (permissividade dielétrica), D (diâmetro), H (altura), $\tan\delta$ (tangente de perdas), f_r (frequência de ressonância), Q_D (fator de qualidade) e τ_f (Coeficiente de temperatura da frequência de ressonância) para todas as amostras.

Tomando por base a análise dos dados da Tabela 3 é possível observar que, a frequência de ressonância varia aproximadamente de 1.84 a 3.22 GHz, enquanto os valores para as tangentes de perdas dielétricas mostraram um decréscimo quando comparados a amostra pura, e desta forma, constatamos que com a adição La₂O₃ a tangente de perdas diminui e o menor valor encontrado para esta grandeza é de aproximadamente $1.87 \cdot 10^{-2}$. Podemos observar que o valor mais alto encontrado para a permissividade elétrica está na amostra de SBN5La, $\epsilon_r = 152.0766$ e mais baixo foi observado para a amostra SBN0La, $\epsilon_r = 41.570$.

Na análise do coeficiente de temperatura τ_f é possível observar que o menor valor encontrado para o $\tau_f = -675.34679$ ppm/ $^{\circ}\text{C}$ foi o da amostra SBN5La, enquanto o valor que mais se aproximou de zero pode ser observado na amostra de SBN10LA que é $\tau_f = -79.85$ ppm/ $^{\circ}\text{C}$. Esse resultado é importante pois, um dos fatores necessários para que este material opere como um ressoador de micro-ondas é que a temperatura de frequência de ressonância seja o mais próximo de zero possível, assim, esse resultado o torna um bom candidato para aplicação nas indústrias de telecomunicações sem fio (CHEN et al., 2009; CHEN, 2010).

A partir da análise dos dados da Tabela 4 é possível observar que todas as amostras irradiam com o valor abaixo de -10 dB para o coeficiente de reflexão. Vale notar que este resultado é importante, pois uma das condições essenciais para que estes materiais possam ser usados para fins tecnológicos e comerciais é que o valor para perda de retorno seja abaixo de -10dB (PETOSA, 2007).

Tabela 4. Perda de Retorno em (dB). Dados experimentais e simulados

Amostras	Perda de retorno (dB)		
	Experimental	Simulado	Erro (%)
SBN0La	-50.191	-50.87	1.33
SBN3La	-40.431	-40.728	0.72
SBN5La	-47.636	-47.172	0.97

Outro fato importante é que, os valores simulados e experimentais para o coeficiente de reflexão (S_{11}) estão em uma excelente concordância, uma vez que, o maior erro encontrado foi o da amostra pura (Erro = 1.33%).

Na Figura 1 observa-se que, os gráficos experimentais e simulados encontram-se refinados, ou seja, as amostras estudadas operando como antena ressoadora dielétrica cilíndrica, emitem mais a onda eletromagnética, do que refletem de volta a potência para a linha de transmissão.

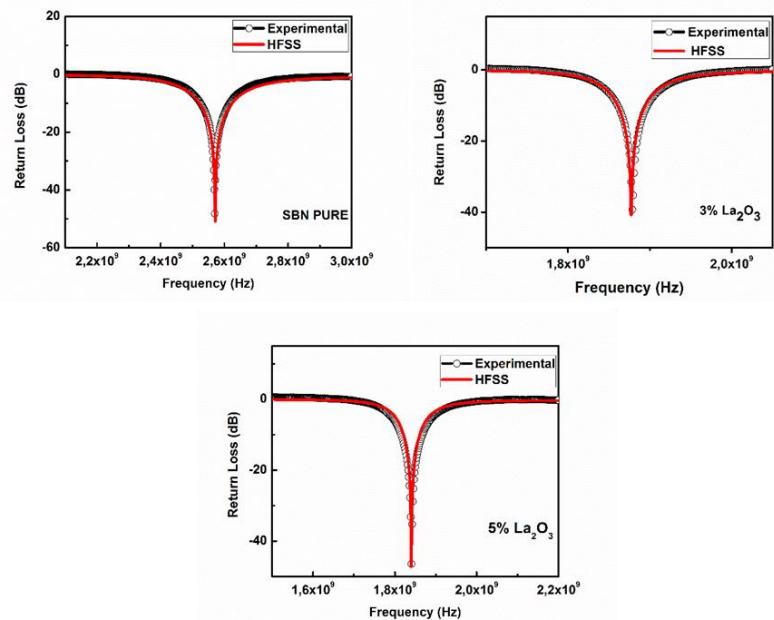


Figura 1. Diagrama de perda de retorno de frequência das três amostras.

Observa-se que o ajuste da simulação numérica também pode ser feito através averiguação dos gráficos de impedância complexa e analisando as curvas das parcelas imaginária e real. Esta análise se dará incialmente em torno dos diagramas experimental e simulado da parte real da impedância como pode ser observado na Figura 2.

Na Figura 2, é possível observar que, os valores dos picos da impedância real tanto para o gráfico experimental quanto para o simulado estão todos bem próximos de 50Ω. Isto demonstra um bom ajuste para as amostras em estudo, pois os gráficos apresentam uma boa concordância para as curvas experimentais e simuladas. Observa-se que a amostra mais próxima desse valor é a dopagem de 5% de lantâncio. Nota-se que nesta, tanto a parte real da impedância, quanto a frequência de ressonância, estão bem próximas com erros muito abaixo de 0,3%.

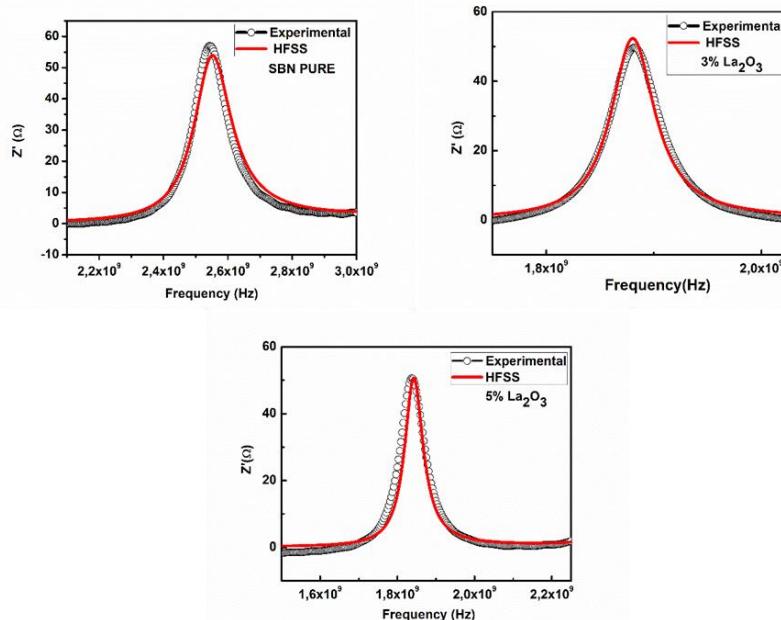


Figura 2. Diagrama de perda de retorno de frequência das três amostras.

Na Tabela 5, observa-se os valores da componente real e a frequência de ressonância para as amostras experimentais simuladas.

Tabela 5. Componente real da impedância complexa, comparação com valores experimentais (Exp.) e simulados (Sim.) no HFSS

Amostras	Z (Ω)			Frequência Ressonante (GHz)		
	Exp.	Sim.	Erro (%)	Exp.	Sim.	Erro (%)
SBN0La	57.003	53.943	5.36	2.544	2.552	0.31
SBN3La	49.708	52.338	5.02	1.881	1.880	0.05
SBN5La	50.603	50.725	0.24	1.837	1.842	0.27

Através da análise da Figura 3 observa-se uma boa concordância entre as curvas experimental e simulada das três amostras estudadas. Os únicos resultados que se afastam, são os das amostras pura e da 5% de La_2O_3 , como observa-se na Tabela 6. Segundo os dados da Tabela 6, observa-se que, para as amostras de 3 e 5% de massa de lantânia, há uma queda no valor do pico máximo da componente imaginária da impedância complexa.

Tabela 6. Componente imaginária da impedância complexa, comparação com valores experimentais (Exp.) e simulados (Sim.) no HFSS

Amostras	Z'' (Ω)			Frequência Ressonante (GHz)		
	Exp.	Sim.	Erro (%)	Exp.	Sim.	Erro (%)
SBN0La	45.571	36.628	19.62	2.486	2.489	0.12
SBN3La	19.132	19.040	0.48	1.854	1.857	0.16
SBN5La	28.747	20.792	27.67	1.802	1.815	0.71

Um resultado que merece destaque é o de 3%, onde os resultados se sobrepõe de tal forma que o erro para a componente imaginária é de 0,48, enquanto o erro para a frequência de ressonância foi de 0,16. A componente que apresenta um maior erro é a de 5% (Erro = 27,67%), tal resultado era esperado, visto a distância vertical entre as curvas. Outro resultado observado foi que todas as frequências ressonantes possuem erros mínimos, abaixo de 1%.

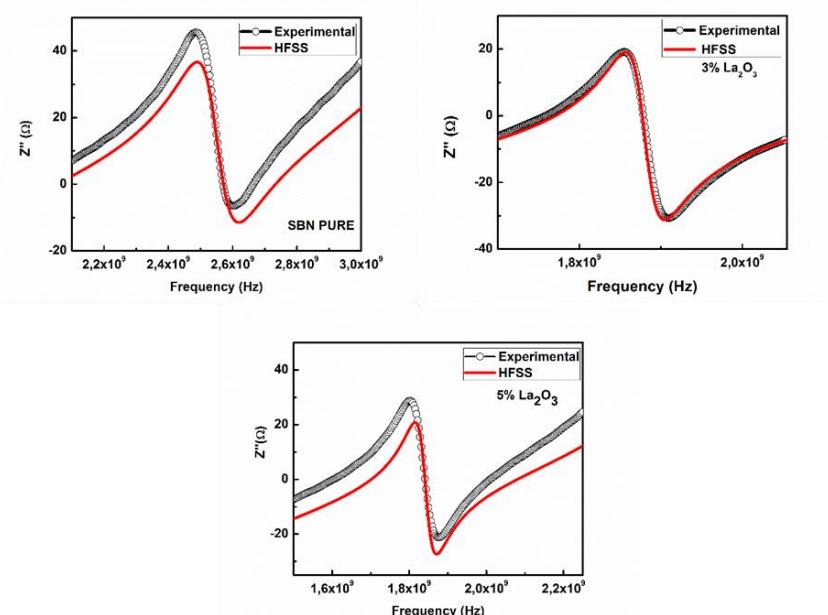


Figura 3. Diagrama de perda de retorno de frequência das três amostras.

Porém, para a caracterização em ADR se faz útil analisar as cartas de Smith das amostras. Pois, é através da observação dos gráficos gerados (Figura 4a e 4c)) que é possível expressar o caráter da amostra como resistiva, capacitiva ou indutiva. Verificando a Figura 4a é possível observar que esta, apresenta o laço dos valores experimentais e simulados deslocados para reatâncias positivas, ou seja, este fato indica que na ressonância a amostra sem dopagem tem um comportamento indutivo. Já na

Figura 4b observamos que o laço dos valores experimentais e simulados descem e ficam abaixo do eixo horizontal, ou seja, estão deslocadas para reatâncias negativas, este fato indica um comportamento capacitivo para a amostra de 3% de massa de lantânio.

Além disso, vale observar que que as curvas experimental e simulada tomam formas mais circulares, e este fato pode ser considerado como um dos efeitos do aumento da permissividade em relação a amostra pura. Observa-se na Figura 4a, que é possível que esta, apresenta o laço dos valores experimentais e simulados deslocados para reatâncias positivas, ou seja, este fato indica que na ressonância a amostra sem dopagem tem um comportamento indutivo. Já na Figura 4b observa-se que o laço dos valores experimentais e simulados descem e ficam abaixo do eixo horizontal, ou seja, estão deslocadas para reatâncias negativas, este fato indica um comportamento capacitivo para a amostra de 3% de massa de lantânio. Observa-se que que as curvas experimental e simulada tomam formas mais circulares, e este fato pode ser considerado como um dos efeitos do aumento da permissividade em relação a amostra pura. Na Figura 4c observa-se que, os laços dos gráficos experimental e simulado não estão sob o mesmo eixo como o ocorrido nas duas primeiras amostras. O gráfico experimental está deslocado para reatâncias negativas enquanto o simulado para reatâncias positivas o que implica que o primeiro tem característica capacitiva e o segundo indutiva.

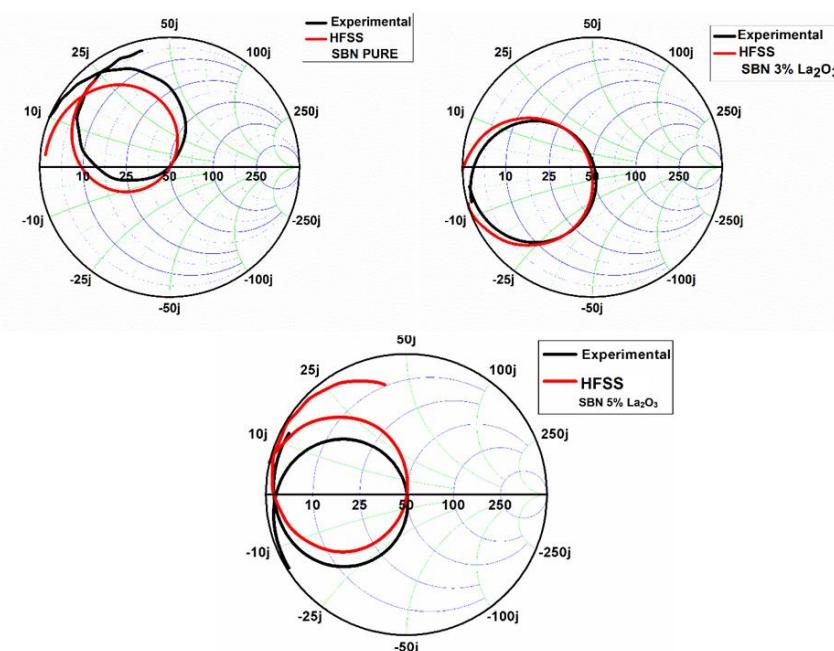


Figura 4. Cartas de Smith experimental e simulada no HFSS das três amostras.

Após a análise das curvas experimentais e simuladas foi possível observar que, estas possuem um bom ajuste. Contudo neste momento, se faz necessário o estudo das propriedades das antenas para regiões de campo distante, ou seja, região de Fraunhofer.

Vale ressaltar que nesta região, a distribuição angular e a distância radial – a qual foram realizadas as medições – são independentes e que as componentes do campo são formadas basicamente por parcelas transversais (BALLANIS, 2005). Assim, quando as amostras estudadas operam como antenas o fator a ser analisado – na região de Fraunhofer – são os padrões de campo distante. Além disso, serão analisados os resultados de diretividade, ganho, diagrama de radiação e eficiência da antena, estes parâmetros de antenas são gerados a partir da simulação no HFSS, e serão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7. Diretividade, ganho, potência de entrada (*Pin*), potência de radiação (*Prad*), Eficiência de condução e dielétrica (*e*) determinada pela simulação no HFSS

Amostras	Diretividade (dB)	Ganho (dB)	Pin (W)	Prad (W)	e (%)
SBN0La	4.540	2.319	0.999	0.510	51.085
SBN3La	4.664	1.383	0.999	0.296	29.654
SBN5La	4.595	1.059	0.999	0.230	23.061

Através da análise dos gráficos da Figura 5 e da Tabela 7, é possível destacar que, as amostras operando como DRAs cilíndricas, possuem um caráter direcional pois, suas diretividades são todas maiores que 2 dB, ou seja, maiores que a de um dipolo de meia onda. Pode ser observado ainda que, as amostras com maiores permissividades, ou seja, SBN3La e SBN5La, apresentam uma queda em sua eficiência condução dielétrica. Além disso, estas amostras apresentam também, uma queda em seu ganho, diretividade, largura de banda BW, frequência de ressonância e fator de qualidade. Dessa forma, as amostras dopadas SBN3La e SBN5LA, fazem parte da banda L e podem operar como sistemas de radar, e sistemas de micro-ondas.

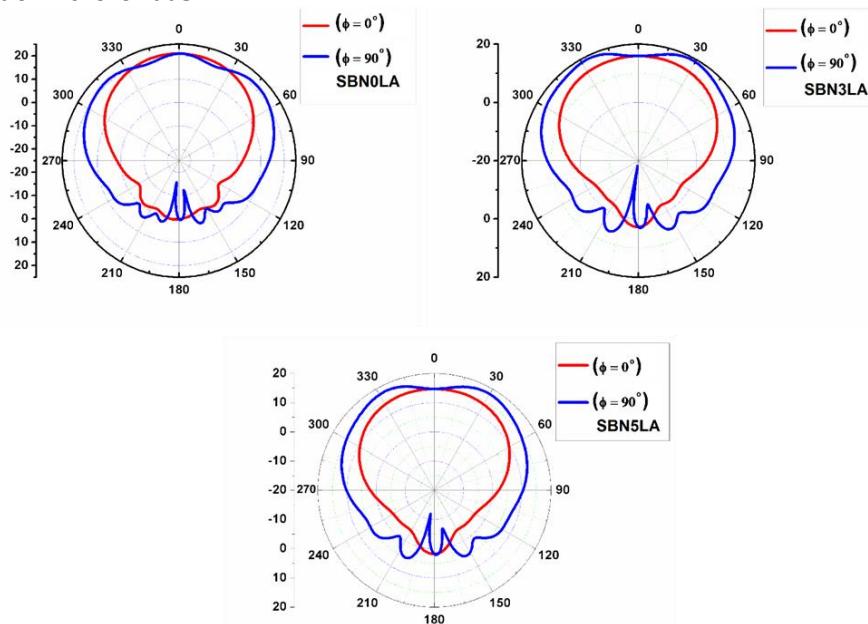


Figura 5. Diagramas de radiação para as amostras estudadas.

Conclusão

Foi possível concluir que na faixa de micro-ondas as frequências ressonantes das amostras variaram de 1.840 a 3.221 GHz. Além disso, suas tangentes de perdas dielétricas diminuíram ao longo do processo, ou seja, a medida que se aumenta a concentração de La_2O_3 sobre a matriz cerâmica $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$, o valor da tangente diminuiu em relação a amostra pura (sem adição de lantânia), onde os valores obtidos para esta grandeza foram da ordem de 10^{-2} .

As amostras SBN3La, SBN5La tiveram os valores de suas permissividades e tangente de perdas aumentadas com a adição de massa de lantânia. O coeficiente de temperatura da frequência de ressonância teve seu menor valor encontrado para a amostra de SBN5LA ($\tau_f = -675.346 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$). Foi possível observar que em todas as amostras a perda de retorno foi abaixo de -10 dB, fator imprescindível para a utilização do material como DRA. Desta forma, os materiais estudados apresentam potencial para aplicações em RF e micro-ondas.

Referências

- ALMEIDA, A. F. L.; SILVA, R. R.; ROCHA, H. H. B.; FECHINE, P. B. A.; CAVALCANTI, F. S. A.; VALENTE, M. A.; FREIRE, F. N. A.; SOHN, R. S. T. M.; SOMBRA, A. S. B. Experimental and numerical investigation of a ceramic dielectric resonator (DRA): $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO). *Physica B: Condensed Matter*, v.403, n.4, p.586-594, 2008.
- ABREU, R. F. Estudo das propriedades dielétricas da matriz $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ (SBN) com adição La_2O_3 para aplicações em micro-ondas. 193f. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Fortaleza, 2017.
- CHEN, Y. C.; TSAO, S. M.; LIN, C. S.; WANG, S. C.; CHIEN, Y. H. Microwave dielectric properties of 0.95mgtio3-0.05catio3 for application in dielectric resonator antenna. *Journal of Alloys and Compounds*, v.471, p.347-351, 2009.
- CHEN, Y. B. New dielectric material system of $\chi_{\text{la}} (\text{Mg}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3-(1-\chi)\text{SrTiO}_3$ in the microwave frequency range. *Journal of Alloys and Compounds*, v.491, p.330-334, 2010.

- FECHINE, P. B. A.; Rocha, H. H. B.; Moretzsohn, R. S. T. Study of a microwave ferrite resonator antenna, based on a ferrimagnetic composite ($Gd_3Fe_5O_{12}$) $GdIG_x-(Y_3Fe_5O_{12}) YIG_{1-x}$. IET Microwaves, Antennas & Propagation, v.3, n.8, p.1191-1198, 2009.
- KAO, K. C. Dielectric phenomena in solids. Elsevier Academic Press, 2004.
- KAJFEZ, D.; GUILLOU, P. Dielectric resonator antenna. Ed. The Artech House Microwave Library, 1986.
- LEUNG, K. W.; CHOW, K. Y.; LUK, K. M.; YUNG, E. K. N. Excitation of dielectric resonator antenna using a soldered-through probe. Electron. Lett., v.33, p.349-350, 1997.
- LONG, S. A.; MCALLISTER, M. W.; SHEN, L. C. The resonant cylindrical dielectric cavity antenna. IEEE Trans. Antennas Propagat., v.31, p.406-412, 1983.
- LUCK, K. M.; LEUNG, K. W. Dielectric resonator antennas. Research Studies Press Ltd., England, 2003.
- OKAYA, A.; BARASH, L. F. The dielectric microwave resonator. Proc. IRE 50, p.2081-2092, 1962.
- PETOSA, A. Dielectric resonator antenna handbook. Norwood: Artech House, 2007.
- PEREIRA, F. M. M.; SOHN, R. S. T. M.; RODRIGUES, H. O.; JÚNIOR, G. F. M. P.; THEOPHILO, K. R. B.; ROCHA, M. J. S.; SILVA, M. A. S.; SOMBRA, A. S. B. Experimental and numerical investigation of a magnetic resonator antenna based on the M-type hexaferrite ($BaxSr_{1-x}Fe_{12}O_{19}$). Microwave and Optical Technology Letters, v.52, n.2, p.452-458, 2010.
- POZAR, D. M. Microwave engineering. 3ed. Transmission Lines and Waveguides, p.143-149, 2005.
- POZAR, D. M. Microwave Engineering. 4th. 2012.
- RICHTMEYER, R. D. Dielectric resonators. J. Appl. Phys., v.15, p.391-398, 1939.
- SADIQU, M. N. O. Elementos de eletromagnetismo. Trad. LUDWING, L.; LISBOA, J. A. Bookman. 2004.
- SANCHO, E. de O. Estudo das propriedades Dielétricas da matriz cerâmica SrBi₂Nb₂O₉ (SBN) para uso em dispositivos de RF e micro-ondas. 157f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.
- SEBASTIAN, M. T. Dielectric materials for wireless communication. San Diego-USA, Elsevier, 2008.
- SEBASTIAN, M. T.; JANTUNEN, H. Low loss dielectric materials for LTCC applications: a review. Int. Mater. Rev., v.53, p.57-90, 2008.

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM AQUECEDOR SOLAR A BAIXO CUSTO INSTALADO NA CIDADE DE GARANHUNS - PE**¹Wisnner Franklin dos Santos****²Geronimo Barbosa Alexandre**¹Professor EBTT, IFAL, Campus Coruripe, wisnner.santos@ifal.edu.br²Professor EBTT, IFPE, Campus Garanhuns, geronimo.alexandre@garanhuns.ifpe.edu.br**Introdução**

Nos coletores planos, a geração de calor ocorre no seu interior e é bastante utilizado para aquecimento de água para banho, lavandaria e outros processos (Michael, 2015). O coletor funciona como absorvedor, ou seja, o material que se deseja aquecer fica no interior do coletor. São exemplos de coletores planos: Aquecedor solar de água, secador de frutas, forno solar tipo caixa para cocção de alimentos, entre outros. Alguns aquecedores de água com tubos evacuados chegam a até 150°C. Este tipo de coletor absorve a radiação solar global, pois não há seletividade para as contribuições diretas ou difusas da radiação solar. Segundo Jaisankar (2011), o aquecedor solar para água é uma tecnologia eficaz para a conversão de energia solar em energia térmica. Segundo Chan (2013) os aquecedores solares possuem alta eficiência energética e grande desempenho econômico. A eficiência de conversão da energia solar térmica em um aquecedor de água é de cerca de 70%, enquanto a de um chuveiro elétrico é de 17%. Aquecedores planos para água podem ser construídos com material de baixo custo (placas de PVC) ou com materiais mais sofisticados (tubos evacuados).

A água fria vem da caixa d'água para um reservatório térmico. Do reservatório térmico a água desce por gravidade para as placas aquecedoras. Neste momento ocorre o efeito termossifão, onde a água aquecida se torna menos densa e retorna, de forma natural e sem o uso de bombeamento, para o reservatório térmico. A placa absorvedora é enegrecida para melhorar a absorção do calor (Zhao, 2013).

Drosou et al. (2008), utilizaram um sistema de aquecimento híbrido solar/biomassa para aquecer o ambiente de um escritório comercial de 60 m² em Pikermi, Grécia. Para isso foram utilizadas cinco placas de aquecimento solar por efeito termossifão totalizando 13,5 m² de área coletora; uma caldeira a biomassa que pode processar madeira e sementes; e um tanque de armazenamento de água com capacidade para 500 litros de água quente. O fluido de aquecimento utilizado foi uma mistura de água e propilenoglicol. Essa mistura evita o congelamento da água no inverno. Durante testes com controle da água oriunda do aquecedor solar e da caldeira a biomassa, o sistema foi capaz de aquecer o ambiente do escritório somente com as contribuições solares, porém faz-se necessário um aquecimento inicial com biomassa no início da manhã. Durante o período de novembro a abril o sistema consumiu 2.129,1 kWh, sendo 1.126,21 kWh produzidos pelo sistema solar, ou seja, 52,9% de toda energia produzida. O aquecedor solar construído por Michael (2015) é um sistema de aquecimento indireto, pois um fluido sintético é aquecido na placa aquecedora e troca calor com a água que está no interior do reservatório térmico.

O objetivo geral deste trabalho é construir um protótipo de aquecedor solar de baixo custo para utilização no aquecimento de água para uso, sobretudo, residencial.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido utilizando materiais recicláveis, e a montagem do aquecedor solar de baixo custo foi realizada no Laboratório de Fontes Renováveis da Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Pernambuco, Campus Garanhuns, no município de Garanhuns, Pernambuco, e que possui as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 08°53'25" (Sul), Longitude: 36° 29'34" (Oeste), com uma altitude de 842 metros.

Localizado no Planalto da Borborema, distante 230 km da capital do Estado, Recife. Inicialmente foram selecionados todos os equipamentos e materiais listados na Tabela 1, e então foi iniciada a construção. Os tubos de PVC usados nas duas colunas do coletor solar possuem 20 mm de diâmetro e 1m de comprimento cada (Figura 4). Os dois tubos foram fresados de acordo a largura da placa de PVC empregada. As medidas empregadas na construção do aquecedor foram de 100 cm de altura e 61 cm para colunas.

Tabela 1. Relação de materiais utilizados para confecção do coletor solar

Material	Utilização
Tubos de PVC	Tubos plásticos utilizados para condução de água. É encontrado em diversos diâmetros
Conexões de PVC	As conexões de PVC são utilizadas para unir tubos de PVC, fazer curvas, desníveis e etc.
Placa de forro em PVC	Utilizado como principal componente do coletor devido, sobretudo ao seu formato.
Tinta preta fosca	Esmalte sintético, utilizado na pintura do aquecedor solar.
Cola para tubos de PVC	Utilizada para colagem dos tubos e conexões de PVC.
CAP de PVC	Conexão usada nas colunas do aquecedor para vedação.
Adesivo de silicone	Utilizado na vedação das placas de PVC.
Recipiente plástico	Utilizado como reservatório de água com capacidade para 50L.
Fibra de vidro	Utilizada para fixar as placas de PVC na construção do coletor.
Resina	Utilizada junto com a fibra de vidro.

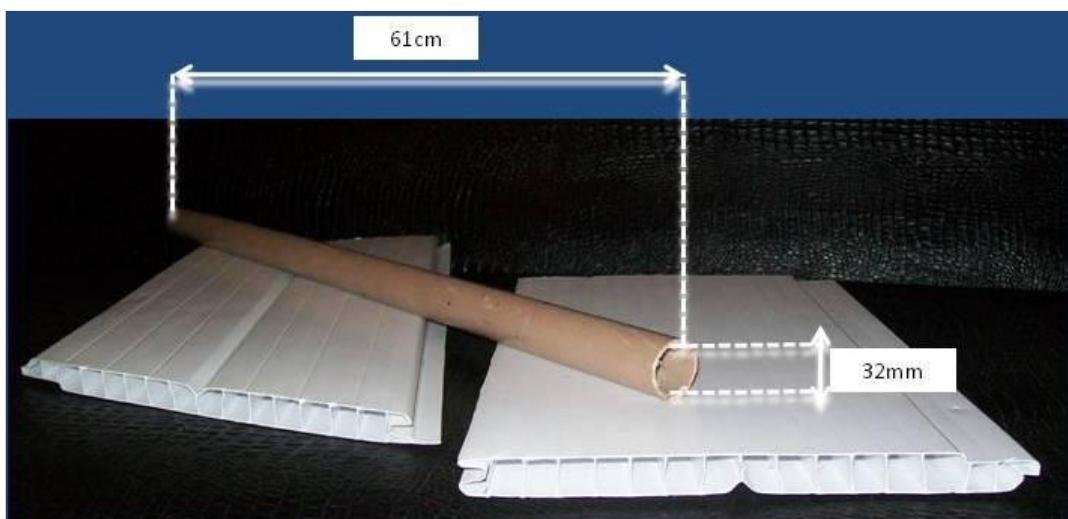


Figura 4. Placa e tubo de PVC.

Uma vez que as colunas de PVC tenham sido preparadas, foi realizado o encaixe das placas de PVC como observa-se na Figura 5a e 5b. A colagem da placa à coluna foi realizada com o uso de adesivo de silicone, que também é responsável pela vedação, pois após aproximadamente 15 minutos forma uma película superficial de secagem, tendo sua secagem total após 24 horas. Posteriormente foi aplicada uma camada de fibra de vidro em abas as faces para aumentar a resistência da placa de PVC, conforme observa-se na Figura 5c e 5d.

Após a secagem do adesivo de silicone, foi realizada a pintura da placa. A tinta utilizada foi esmalte sintético preto fosco de secagem rápida utilizando pistola. O processo de pintura pode ser observado na Figura 6.

Ressalta-se que tintas com brilho não são recomendadas, pois comprometem o desempenho do coletor, uma vez que os raios solares serão em parte refletidos ao invés de absorvidos pela placa de PVC. A próxima etapa da construção foi a preparação do isolamento térmico do coletor, conforme ilustração na Figura 7. No intuito de diminuir os custos, o isolamento térmico não foi realizado com o emprego de uma caixa que envolve todo o coletor, tal como os coletores industrializados.

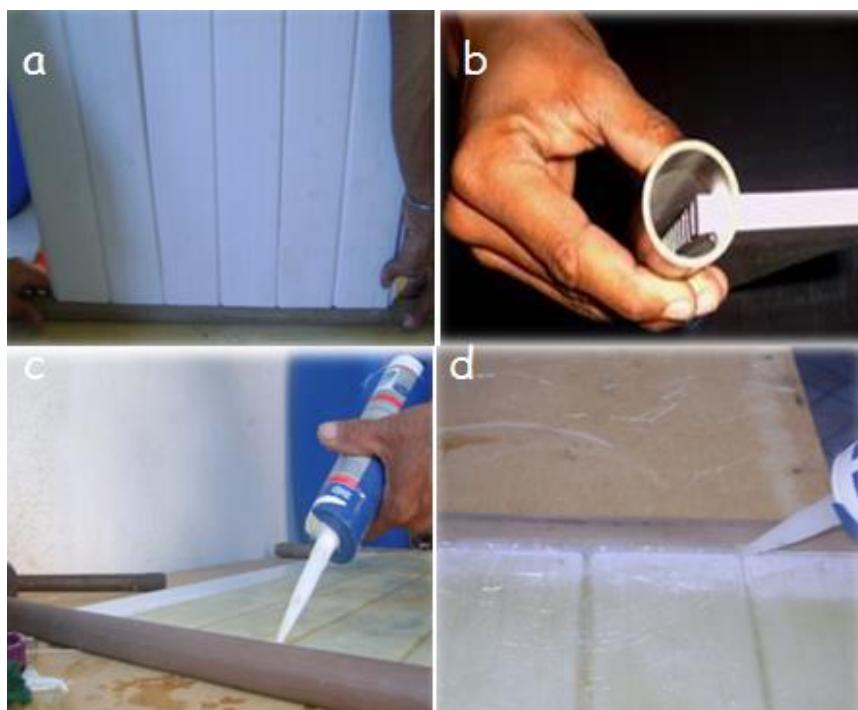


Figura 5. (a) Placa sendo encaixada no tubo; (b) Detalhe interno do tubo de PVC; (c) Colagem do forro no PVC; (d); Colagem das placas de PVC.



Figura 6. Processo de pintura da placa de PVC.



Figura 7. Aplicação do isolamento térmico.

O isolamento foi realizado apenas na face inferior do coletor com o uso de uma placa de isopor de 10mm de espessura.

Com a realização das etapas de construção obteve-se um coletor solar sem uma caixa e uma cobertura. Neste trabalho, o coletor solar plano a desenvolvido limitou-se a versão simplificada. A Figura 8 ilustra o coletor solar finalizado.



Figura 8. Coletor solar plano sem cobertura transparente.



Figura 9. Recipiente usado como reservatório.

Para que se obtenha um sistema residencial de aquecimento d'água é necessário, além do coletor de placa plana, um reservatório para armazenar a água aquecida. O armazenador térmico é outro componente do sistema de aquecimento que pode ter seu custo bastante reduzido com a utilização de materiais de baixo custo e fácil disponibilidade.

Neste trabalho foi utilizado um recipiente de plástico de 50 litros, conforme observa-se na Figura 9. Na Figura 9 destaca-se o rasgo que foi elaborado na superfície do reservatório, com intuito de auxiliar na instalação dos conectores de PVC. Um total de quatro conectores foi utilizado no reservatório, sendo um para a boia que foi instalada, outro para a alimentação da água, outro para a água fria e outro para a água quente. No ato da montagem foi necessário o cuidado para evitar a ocorrência de trincas nas conexões e a possível acumulação de bolhas de ar na coluna superior, o que pode comprometer a circulação da água no coletor solar pelo processo de termossifão.

O aquecedor solar de água foi montado segundo a direção Norte-Sul e voltado para o Norte verdadeiro, inclinado de um ângulo igual ao da latitude do local instalado, acrescido de 10°. Esta inclinação superior ao ângulo da latitude tem por objetivo favorecer a absorção dos raios solares durante o período de inverno, quando a disponibilidade da energia solar é menor e a necessidade de água aquecida se torna maior.

O sistema de aquecimento foi montado sobre uma plataforma fixa com regulagem angular. Compõem o sistema montado de uma placa coletora 0,60m² de área de captação de 1,0 x 0,6 m, um reservatório de água com capacidade de 50 litros e a rede hidráulica executada em PVC rígido para água. O princípio de funcionamento é por termossifão, por ser o modo que melhor se adapta a sistemas simples, como o deste projeto.

Foram realizadas medições da temperatura (usando o medidor de temperatura Mini Mapa ET-3367) ambiente e da água aquecida para verificar o funcionamento do sistema. As coletas de dados foram realizadas em duas baterias, sempre colhendo os dados diretamente no reservatório, cuja altura era de 1,3 metros de altura em relação ao solo.

A primeira bateria de coleta de dados foi realizada em um dia com boa incidência de raios solares, ou seja, um dia de céu aberto.

A segunda bateria de medições foi realizada em um dia com pouca incidência de raios solares, ou seja, um dia nublado.

Resultados e Discussão

Na Figura 10 observa-se o sistema de aquecimento construído.

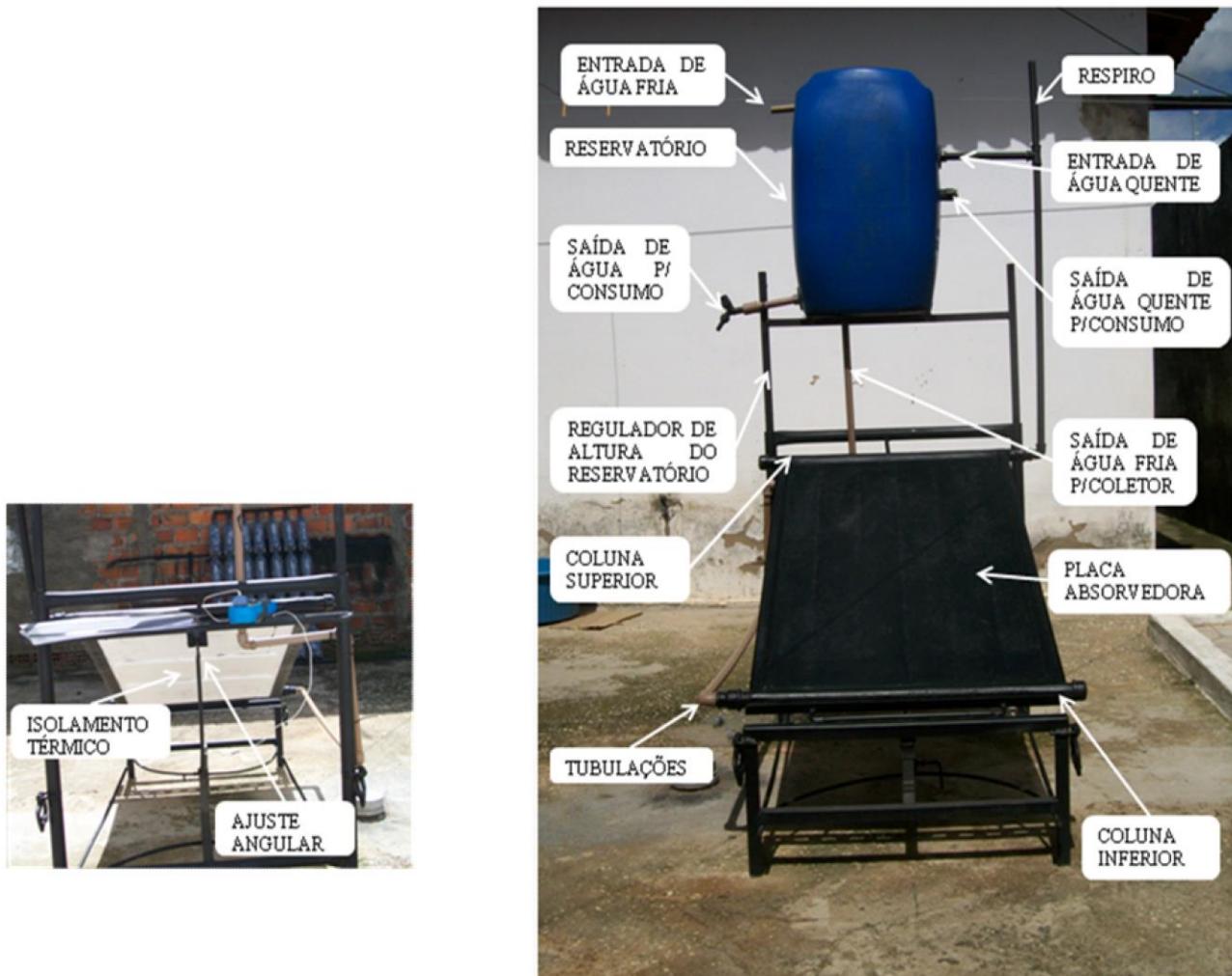


Figura 10. Montagem do sistema de aquecimento com coletor solar de baixo custo.

O sistema de aquecimento da água com circulação por termossifão demonstrou ter uma boa eficiência.

Os valores medidos para a temperatura ambiente e temperatura da água de saída do reservatório podem ser observados na Figura 11.

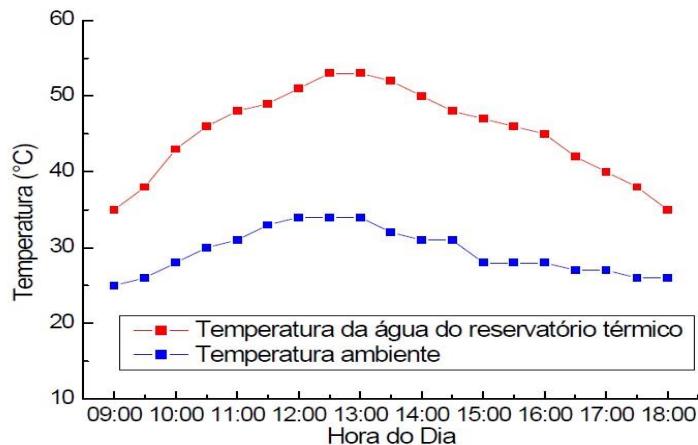


Figura 11. Dados coletados do coletor solar.

Como pode ser observado na Figura 12, o sistema foi capaz de aquecer a água até 20°C acima da temperatura ambiente, atingindo um máximo de 53°C. Esta temperatura máxima atingida pela água ocorre no mesmo horário em que se observa o máximo na temperatura ambiente, por volta das 13hs.



Figura 12. Maior temperatura coletada no reservatório para o dia de céu claro.

Os valores medidos na segunda bateria de medições podem ser observados na Figura 13.

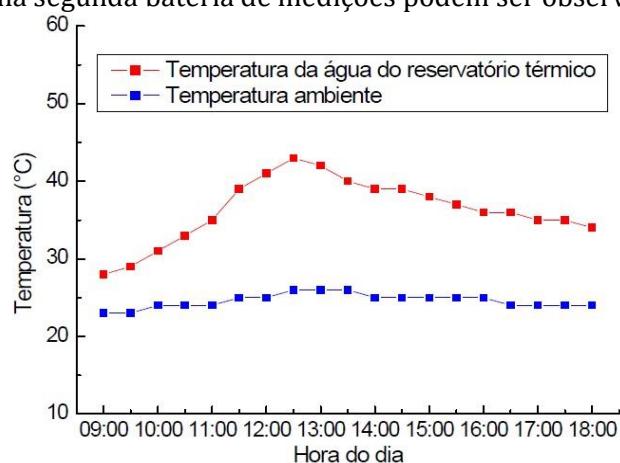


Figura 13. Dados coletados em dia de pouca insolação.

Assim como se esperava, o desempenho do coletor em um dia nublado mostrou-se inferior ao observado em um dia de céu aberto. A temperatura máxima atingida pela água no reservatório foi de 43°C, conforme mostra a Figura 14, sendo 17°C acima da temperatura ambiente.



Figura 14. Maior temperatura coletada no reservatório no dia de céu nublado.

Embora o sistema tenha apresentado um desempenho inferior em um dia nublado, observa-se que as diferenças entre a temperatura máxima atingida pela água no reservatório e a temperatura ambiente para os dois dias ficaram bastante semelhantes. Na Figura 15 é feita uma comparação entre os dois dias.

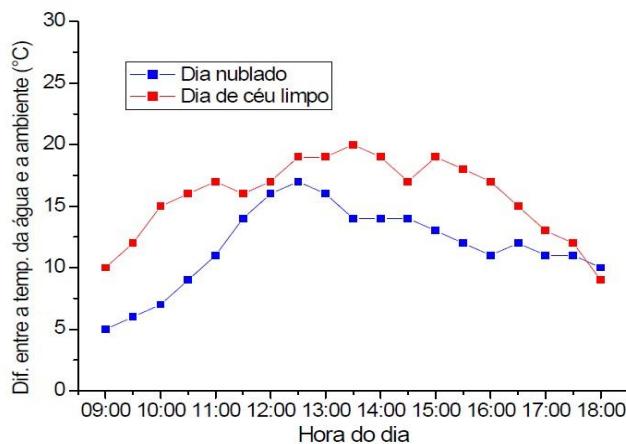


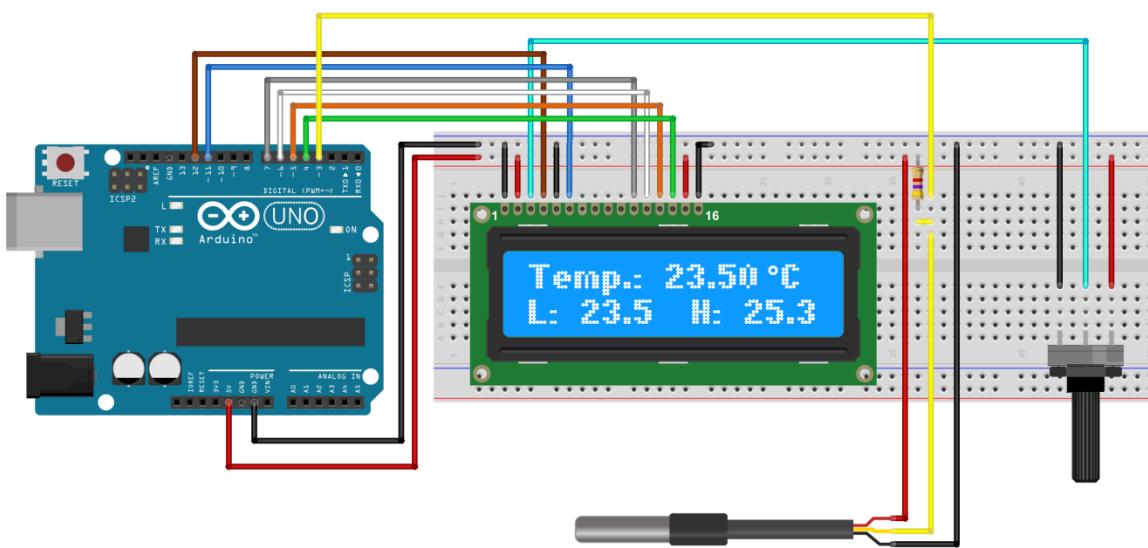
Figura 15. Comparativo entre os dados coletados.

No dia com seu aberto o sistema foi capaz de aquecer água 20°C acima da temperatura ambiente, enquanto o valor atingido no dia nublado foi de 17°C. É possível notar que ao final de ambos os dias a temperatura da água no reservatório encontrava-se com apenas 1°C de diferença de temperatura de um dia para o outro. Isto mostra que o sistema funciona mesmo em um dia com pouca incidência de raios solares e apresenta, ao final do dia, resultados semelhantes ao obtido para um dia com boa insolação.

Os resultados obtidos também permitem constatar a deficiência no isolamento térmico do sistema, sobretudo no reservatório de água. Na Figura 15 observa-se que a água do reservatório esfria mais rapidamente em um dia de melhor insolação que em um dia nublado. Logo, a maior quantidade de energia absorvida em um dia de céu aberto é perdida de volta para o ambiente em função da falta de um isolamento térmico que permita manter esta energia térmica armazenada. Este déficit no isolamento térmico já vinha sendo observado ao longo do dia, quando as medidas de temperatura da água acompanhavam as medidas de temperatura ambiente. Por esta razão o pico observado na temperatura da água ocorreu no mesmo instante que ocorreu o máximo na temperatura ambiente. A máxima temperatura da água normalmente acompanha a máxima incidência dos raios solares, que para a localização sistema ocorre um pouco antes das 12:00hs.

No trabalho de Florentino e Santos (2018) foi projetado e instalado um aquecedor solar de baixo custo (estrutura em PVC) no IFPE – Campus Garanhuns, com fins didáticos e para mensuração do balanço térmico e energético no interior de reservatório, o diferencial do aquecedor em estudo está na eficiência na absorção da radiação solar proporcionada por meio da placa de isopor inserida no interior da face do aquecedor (Figura 7), e em seguida a pintura do forro PVC (Figuras 6 e 8). Em trabalho de Sousa e Santos (2018), foi montado um sistema de medição (sensor de temperatura DS18B20 inserido no interior do reservatório), e aquisição de temperaturas usando plataforma *open source* Arduino,

conforme ilustrado na Figura 16. Os dados são armazenados por meio de um cartão SD (opção de baixo custo ao *datalogger*).



DS18B20

Figura 16. Plataforma de medição de temperatura projetada por Sousa e Santos (2018).

Nas Figuras 17 e 18 são ilustradas as medições coletadas por Sousa e Santos em dias de boa isolação e baixa isolação respectivamente para o aquecedor construído por Florentino e Santos (2018) e instalado no Campus Garanhuns (Latitude: 08°53'25" (Sul), Longitude: 36° 29'34" (Oeste), altitude de 842 metros). Comparando os resultados de Sousa e Santos com os gráficos das Figuras 11 e 13, observa-se que, o aquecedor em estudo apresenta eficiência térmica superior ao aquecedor projetado por Florentino e Santos (2018), mantendo a temperatura dentro do reservatório mais quente, ou seja, menor perda térmica (troca térmica com o ambiente externo). Esta característica pode ser atribuída ao isolamento térmico feito como forro PVC no aquecedor. Uma peculiaridade do sistema de medição projetado por Sousa e Santos (2018) é a mensuração automática de hora em hora e armazenada no cartão SD, na configuração proposta neste trabalho se faz necessário o operador humano.

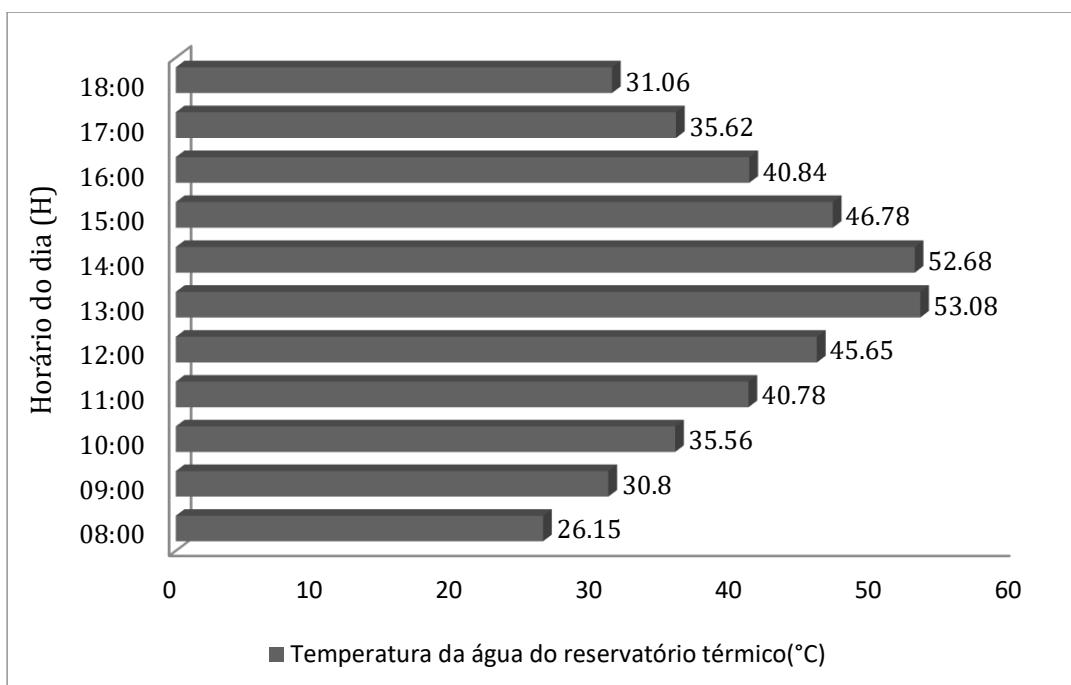


Figura 17. Temperatura medida por Sousa e Santos (2018) em dia de boa insolação (25/02/2018).

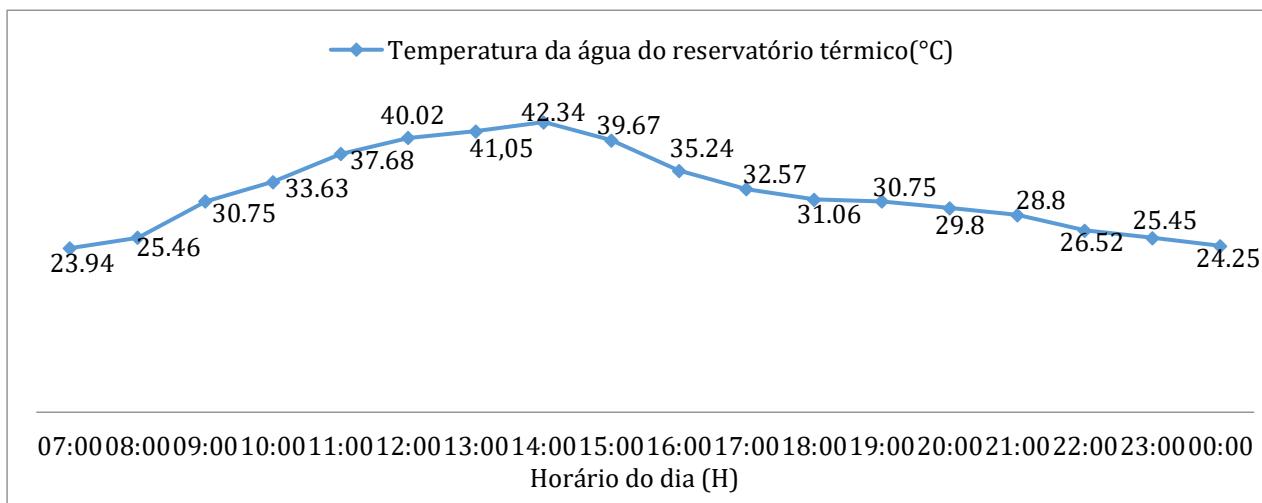


Figura 18. Temperatura medida por Sousa e Santos (2018), dia de baixa insolação (05/03/2018).

Conclusão

Neste trabalho foi construído um protótipo de coletor solar de baixo custo para uso em sistemas de aquecimento de água para uso residencial. Este coletor é uma nova opção para aquecimento de água utilizando apenas materiais termoplásticos, de uso comum na construção civil. O custo final e a facilidade de construção permitem que o próprio morador construa o sistema de aquecimento de água para sua residência.

O desempenho do sistema construído mostrou-se suficiente para sua utilização mesmo em dias nublados. Nesta ótica, os objetivos deste trabalho foram alcançados, tendo em vista que um aquecedor solar de baixo custo foi construído, foi comprovado seu funcionamento e avaliado seu desempenho. Melhorias no isolamento térmico do reservatório de água e do próprio coletor solar podem ser objeto de outros trabalhos que permitirão o alcance de temperaturas mais elevadas e a disponibilidade desta água aquecida em horários posteriores as 18:00hs.

O uso desta alternativa energética pode se estender a residências, edifícios, hotéis, entre outros. Além das vantagens energéticas mencionadas ao longo do trabalho, há também uma importante contribuição, a tarefa de conscientização ambiental e sociocultural da população, através do uso de uma energia limpa e gratuita.

Agradecimentos

Ao apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE – Campus Garanhuns).

Referências Bibliográficas

- CHAN, W. W.; LI, D.; MAK, B.; LIU, L. Evaluating the application of solar energy for hot water provision: An action research of independent hotel. *International Journal of Hospitality Management*, v.33, p-76-84, 2013.
- DROSOU, V.; CHASAPISA, D.; PAPAMECHAELB, L.; AIDONISB, A.; BLANCHARD, R. Monitoring and operational results of a hybrid solar-biomass heating system. *Renewable Energy*, v.33, p-1759-1767, 2008.
- ELETROBRAS/PROCEL. Energia Solar para aquecimento de água no Brasil – Contribuições da Eletrobrás Procel e Parceiros. (Org.) VASCONCELLOS, L. E. M.; LIMBERGER, M. A. C. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2012, 240 p.
- FLORENTINO, M. V. F.; SANTOS, P. H. C.; Construção de Aquecedor Solar de Baixo Custo. In: Congresso de Iniciação Científica do IFPE, v. 13, Recife – PE, 2018.
- JAISANKAR, S.; ANANTHB, J.; THULASI, S.; JAYASUTHAKAR, S. T.; SHEEBA, K. N. A Comprehensive Review on Solar Water Heaters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.15, p-3045-3050, 2011.
- MICHAEL, J. J.; INIYAN, S. Performance of copper oxide/water nanofluid in a flat plate solar water heater under natural and forced circulations. *Energy Conversion and Management*, v.95, p-160-169, 2015.

SOUSA, H. N.; SANTOS, P. H. C.; Monitoramento dos dados climáticos e variáveis do processo de aquecimento da água utilizando Aquecedor Solar de Baixo Custo. In: Congresso de Iniciação Científica do IFPE, 13, 2018, Recife. Anais...Recife-PE, 2018.

ZHAO, C. Y.; TIAN, Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*, v.104, p-538–553, 2013.

AGRIMENSURA



ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DE ORTOMOSAICO OBTIDO POR CÂMERA DIGITAL NÃO MÉTRICA ACOPLADA A VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

¹Ranyere Martins Silva

²Antonio Aderson dos Reis Filho

³Kalima Mendes Pitombeira

¹Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor, Centro de Tecnologia/Universidade Federal do Piauí-UFPI,
ranyere39@gmail.com

²Professor Doutor, Centro de Tecnologia/Universidade Federal do Piauí-UFPI, areis@ufpi.edu.br

³Graduanda em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Centro de Tecnologia/Universidade Federal do Piauí,
kalimapitombeira@hotmail.com

Introdução

O uso civil dos Veículos Aéreo Não Tripulado (VANT) transformou-se em realidade, sendo empregado em atividades como mineração, meio ambiente, segurança pública, agricultura, dentre outras, substituindo as funções que antes necessitavam de aviões e helicópteros tripulados, possibilitando maior aplicabilidade, diminuindo os custos operacionais e garantindo em alguns casos maior segurança das operações.

A utilização de sensores em VANT's para a obtenção de dados espacial, produção cartográfica, atualização de bases cadastrais e a fotointerpretação teve um grande progresso no começo do século XXI. A partir desse período os VANT's começaram a ganhar destaque no âmbito científico pela maleabilidade e facilidade na execução de voos, resultando numa considerável rapidez na obtenção de dados.

O acesso de instituições e especialistas que utilizam o VANT para mapeamento de pequenas áreas, monitoramento de atividades de engenharia, pesquisas ambientais, cálculo de volumes e entre outros, vem aumentando diariamente, porém esses mecanismos ainda apresentam alguns problemas. Seja pela dificuldade de manter a sobreposição proposta pelo processamento aerofotogramétrico proporcionado pela instabilidade da plataforma aérea de obtenção de dados ou pela falta de precisão na determinação das informações de coordenadas e sentidos das imagens.

O VANT é definido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), como uma aeronave planejada para atuar sem piloto a bordo e que não seja empregada para fins unicamente recreativos. Este conceito compreende todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, inserindo também os balões tradicionais e os aeromodelos (ANAC, 2012).

A definição para os VANT's vem sendo atualizada constantemente em paralelo com sua regulamentação perante os órgãos oficiais reguladores. A Portaria Normativa nº 606 do Ministério da Defesa, de 11 de junho de 2004, caracteriza-o, através de seu Artigo 4º (BRASIL, 2004).

O Decreto Lei nº 89.817/1984 – da presidência, Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), que determina as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Essa lei cria o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para avaliação e classificação da acurácia posicional. O PEC analisa a exatidão das cartas através de um indicador estatístico de dispersão com 90% de probabilidade, que representa 1,6449 vezes o Erro Padrão – PEC (BRASIL, 1984).

A NBR 13.133/1994 estabelece as condições necessária para a realização de levantamentos topográficos. Em seu conteúdo de inspeção, ela determina as regras para examinar a acurácia posicional empregando dois parâmetros para aceite ou rejeição das plantas topográficas, com fundamentos em tentativas realizados em campo: (1) critério utilizado distâncias medidas no terreno e suas homólogas medidas nas plantas topográficas; e (2) critério da verificação da qualidade posicional de pontos (ABNT, 1994).

A Especificação Técnica 2011-ET-ADGV / INDE – publicada pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG), em sua 2ª Edição, estabelece os critérios para que um produto digital possa ser aceito como produto de referência do Sistema Cartográfico Nacional (SCN), e consequentemente para a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) (CONCAR-EB, 2011).

Portanto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a exatidão do produto cartográfico gerado com VANT, por meio de análise estatística e classificar o ortomosaico segundo as diretrizes contidas no

Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) em uma área de avaliação localizada na Cidade de Teresina Piauí.

Material e Métodos

A área de estudo compreende aproximadamente 35,6 hectares ($0,356 \text{ km}^2$), localizado na região urbana do município de Teresina-Piauí, no bairro Novo Uruguai, na BR 343, sentido a cidade de Altos. Na Figura 1 observa-se a localização da área de estudo.

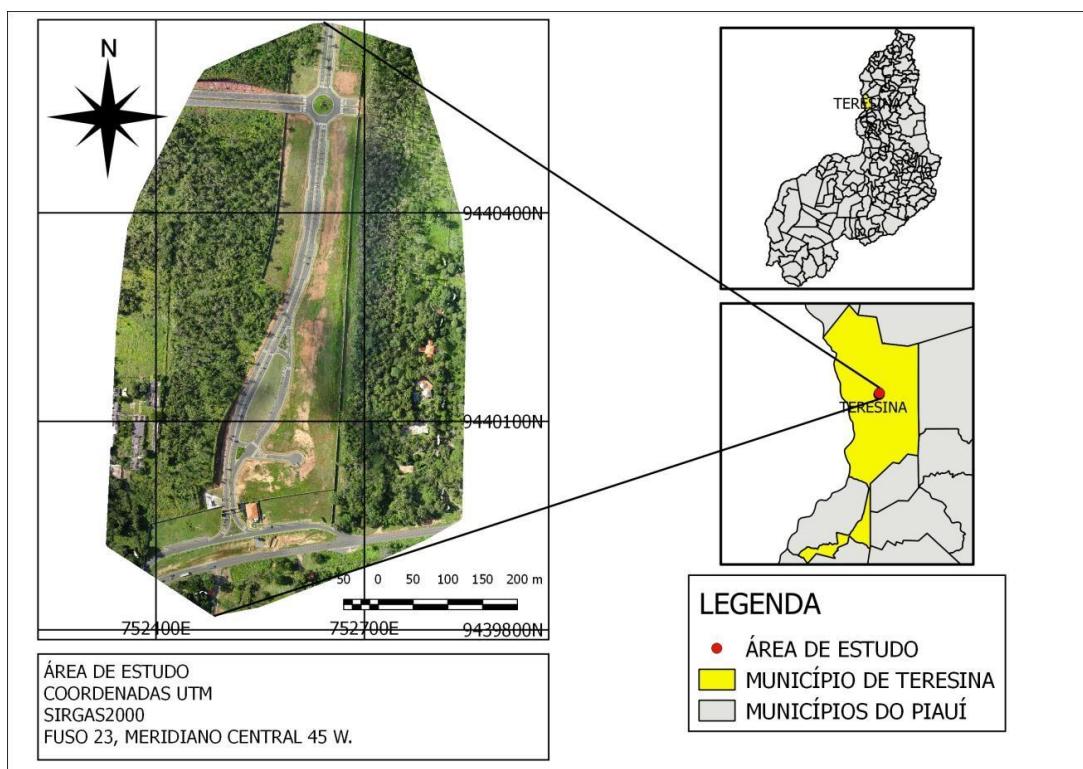


Figura 1. Área de estudo. Fonte: Adaptado de TopGeo (2018); IBGE (2010).

O material de estudo foi cedido pela empresa TopGeo Tecnologias localizada na cidade de Teresina, a qual realizou o voo e o processamento das imagens, gerando o ortomosaico. A empresa disponibilizou todos os dados do levantamento e o ortomosaico georreferenciado. O levantamento foi realizado com uma altitude de voo de média de 250 metros.

Neste trabalho foi utilizado as definições de planimetria como define a CONCAR-EB (2011) com finalidade de atualizar o Decreto nº 89.817/84, a ET-ADGV constituiu o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), que dispõe tolerâncias específicas para produtos digitais como MDT, MDE, MDS e para os Pontos Cotados, criando uma nova Classe A e mantendo as classes criadas pelo Decreto nº 89.817/84 (Tabela 1).

Tabela 1. PEC para uma carta Classe A, B, C e D planimétrico

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimetria PEC (mm) EP (mm)
-	A	0,28
A	B	0,5
B	C	0,8
C	D	1

Fonte: Adaptado de CONCAR-EB (2011).

As coordenadas do ortomosaico foram inseridas no programa Qgis versão 2.18.13, utilizando a extensão de captura de coordenada. Na Figura 2 observa-se a distribuição dos pontos pelo ortomosaico, e na Figura 3 observa-se os locais onde realizou-se a leitura das coordenadas do levantamento utilizando o receptor GNSS.



Figura 2. Distribuição dos pontos de coleta pelo ortomosaico. Fonte: Adaptado de TopGeo (2018).



Figura 3. Localização dos pontos. Fonte: Adaptado de TopGeo (2018).

Para a verificação da acurácia do produto foi selecionado 14 pontos para identificação, tanto no ortomosaico quanto em campo. Foi realizado um rastreamento com receptor GNSS da marca ProMark 200, recebendo dupla frequência L1 e L2, e com precisão posicional de 5mm + 1ppm no método de pós-processamento. O tipo de rastreamento foi o posicionamento relativo estático, onde foi utilizado como base o PITN da RBMC, seguindo uma linha de base de em média 9 km até o local do levantamento, obedecendo ao padrão estabelecido pelo INCRA (2013). Na Figura 4, observa-se o receptor GNSS ocupando o ponto 04 de verificação em campo.



Figura 4. Receptor GNSS ProMark 200.

O modelo de VANT utilizado foi o Ebee, fabricado pela empresa suíça Sensefly. O Ebee é uma asa de pequeno porte e suas especificações observa-se na Tabela 2 e na Figura 5.

Tabela 2. Principais características do Ebee

Características	Especificações
Envergadura	96 centímetros
Dimensões	55 x 45 x 25 cm
Cobertura máxima	12 quilometro quadrado
Velocidade de lançamento	25 km/h
Velocidade de cruzeiro	40-90 km/h
Velocidade máxima	90 km/h
Velocidade de pouso	60 km/h
Altitude máxima de voo	500 metros
Peso	630 gramas
Autonomia	50 minutos
Vento	Resistência de até 45 km/h
Sistema de rádio frequênciа	2,4 Hz – alcance de até 3 km

Fonte: Adaptado de SenseFly (2018).



Figura 5. VANT Sensefly Ebee.

A câmera acoplada ao VANT foi a SONY Cyber Shot modelo DSC-WX220, com resolução de 18,2 megapixels, equipada com sensor do tipo CMOS Exmor 1/2,3" resolução (4896 x 3672 pixels), *pixel pitch* de 1,54 µm, distância focal calibrada de 5,9mm e velocidade do obturador 0,0006 s.

O plano de voo foi realizado no programa E-mo-tion3 (Electronic MOnitoring staTION 3), enquanto que o ortomosaico foi confeccionado pelo programa Pix4Dmapper versão 3.1.23.

Métodos Empregados na Avaliação da Exatidão Posicional

Na aplicação do PEC-PCD, utilizou-se pontos de verificação bem distribuídos na imagem e seus respectivos homólogos em campo. De posse das coordenadas avaliou-se as discrepâncias (ΔE , ΔN) e calculou-se as estatísticas amostrais, de média ($\bar{\Delta E}$, $\bar{\Delta N}$) e o desvio padrão da direção ($S_{\Delta E}$, $S_{\Delta N}$), e o desvio padrão da posição ($S_{\Delta P}$). As equações de 1 a 6 demonstram as relações mencionadas e utilizadas.

$$\Delta E = (E_{Mosaico} - E_{terreno}) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\Delta N = (N_{Mosaico} - N_{terreno}) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\bar{\Delta E} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E_i}{n} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\bar{\Delta N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_i}{n} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$S_{\Delta E} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta E - \bar{\Delta E})^2}{n-1}} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$S_{\Delta N} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta N - \bar{\Delta N})^2}{n-1}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde: E = Longitude em metros; N = Latitude em metros; (ΔE ; ΔN): discrepâncias entre as coordenadas; ΔP : erro de posição das discrepâncias; $E_{Mosaico}$: coordenadas retirada do ortomosaico; $E_{terreno}$: coordenadas obtidas pelo levantamento de maior precisão; ($\bar{\Delta E}$; $\bar{\Delta N}$): média das discrepâncias entre as coordenadas; ($S_{\Delta E}$; $S_{\Delta N}$): desvio padrão das discrepâncias entre as coordenadas.

A fórmula empregada para avaliar a precisão tem sido utilizada por vários autores, na qual se utiliza o teste *t de Student* para verificar a tendenciosidade e o *Qui-quadrado* para avaliar a precisão (GALO & CAMARGO, 1994).

A avaliação utilizando testes de hipóteses foi proposta no Brasil por Galo e Camargo (1994), baseado em Merchant (1982), esse método consiste na avaliação da acurácia a partir de testes de hipóteses, onde é realizada uma análise de tendências (baseada na distribuição *t de Student*, quando é verificada a presença de erros sistemáticos); e precisão (com base na distribuição *Qui-quadrado*, para avaliação dos efeitos dos erros aleatórios). Ambos os testes foram realizados com nível de confiança de 90%.

Estes testes estatísticos envolvem duas hipóteses básicas que são a Hipótese nula (H_0) – é a hipótese que assumimos como verdade para a construção do teste, e a Hipótese alternativa (H_1) – contraditória à primeira, resulta da não aceitação da hipótese nula.

Sendo o modelo considerado acurado para uma determinada classe do padrão de exatidão cartográfica, desde que aceita a hipótese nula para a avaliação tendência e precisão.

O teste de tendência foi aplicado usando o teste de hipótese, dentro de certo nível de significância ($1 - \alpha$). A média das discrepâncias foi determinada pelas Equações 3 e 4, o desvio padrão da amostra foi determinado pelas Equações 5 e 6. A tendenciosidade dos ortomosaico foi verificada pelo teste *t de Student* pela Equação 7.

$$t_x = \frac{\bar{\Delta X}}{S_{\Delta X}} * \sqrt{n} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde: t_x = tendência; $\bar{\Delta X}$ = média em E ou N; $S_{\Delta X}$ = desvio padrão em E ou N; n = número de pontos.

$$|t_{(calculado)}| < t_{(tabelado)} \quad (\text{Eq. 8})$$

Quando o teste de hipótese não satisfaz o H_0 , é subtraída a média das discrepâncias verificadas nos pontos de referência, para cada coordenada do ortomosaico (Equação 9).

$$N_n = (X_i - \bar{X}) \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde: N_n : coordenadas retiradas a média das discrepâncias; X_i : coordenada E N do ortomosaico; \bar{X} : media das discrepâncias de E e N.

Para a análise de exatidão utilizou-se o teste *Qui-quadrado* (X^2), onde se comparou a variância das discrepâncias amostrais com os valores pré-estabelecido do Erro Padrão definido pelo PEC-PCD, com o objetivo de verificar a classe que o produto analisado se enquadraria.

A análise de precisão é realizada utilizando o teste *Qui-quadrado*, obedecendo aos valores do Erro Padrão (EP), descritos na norma. Para tanto, inicialmente deve ser calculado o erro padrão esperado para cada classe e escala na planimetria. (σ_n) é a variância em função da escala do produto, sendo calculado através da Equação 10.

$$\sigma_n = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde: σ_n : variância em função da escala; EP: erro padrão.

O teste de exatidão foi aplicado usando o teste de hipótese. O $X^2_{(tabelado)}$ é obtido da tabela de Distribuição *Qui-Quadrado* e o $X^2_{(calculado)}$ foi calculado a partir da Equação 11.

$$X^2_{(calculado)} = \left(\frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_n^2} \right) \quad (\text{Eq. 11})$$

A tomada de decisão é realizada comparando-se os dois valores (Equação 12).

$$|X^2_{(calculado)}| < X^2_{(tabelado)} \quad (\text{Eq. 12})$$

Portanto: $H_0 = X^2_{(calculado)} < X^2_{(tabelado)}$: houve exatidão posicional; $H_1 = X^2_{(calculado)} \geq X^2_{(tabelado)}$: não houve exatidão posicional.

Estas são as exigências para determinar o padrão de precisão, e a Classificação do produto no PEC-PCD.

Nesse trabalho foi praticada a verificação e classificação somente para planimetria, não foi realizado o teste para altimetria. O controle de qualidade foi feito através de análise estatística de exatidão e tendência do modelo, por meio das discrepâncias entre as coordenadas planialtimétricas de referência (campo) e as do ortomosaico (mapa).

Para avaliar a acurácia do produto analisado, foi utilizado o método proposto por Galo e Camargo (1994) de testes de hipóteses, a partir da análise de tendências baseada na distribuição *t de Student*, quando é verificada a presença de erros sistemáticos e precisão com base na distribuição *Qui-quadrado*, para avaliação dos efeitos dos erros aleatórios. Ambos os testes realizados com nível de confiança de 90%.

Resultados e Discussão

Na Tabela 3 observa-se as coordenadas coletadas com o receptor GNSS, as coordenadas coletadas no ortomosaico e as discrepâncias ΔE e ΔN calculadas.

Tabela 3. Resultado estatístico

Coordenadas do Ortomosaico			Coordenadas do receptor GNSS			
Pontos	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Coord. E (m)	Coord. N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
P01	752621,165	9439952,974	752621,242	9439953,496	-0,077	-0,522
P02	752552,297	9439944,275	752552,226	9439944,585	0,071	-0,310
P03	752415,097	9439913,600	752414,893	9439913,661	0,204	-0,061
P04	752476,010	9439929,238	752475,691	9439929,402	0,319	-0,164
P05	752513,157	9440035,117	752512,905	9440035,474	0,252	-0,357
P06	752513,721	9440081,785	752513,389	9440082,093	0,332	-0,308
P07	752547,536	9440079,953	752547,271	9440080,334	0,265	-0,381
P08	752586,770	9440173,599	752586,343	9440174,033	0,427	-0,434
P09	752563,375	9440202,901	752563,007	9440203,424	0,368	-0,523
P10	752599,415	9440287,323	752598,931	9440287,888	0,484	-0,565
P11	752614,643	9440379,023	752614,104	9440379,673	0,539	-0,650
P12	752636,608	9440432,246	752636,279	9440432,999	0,329	-0,753
P13	752624,731	9440505,361	752624,213	9440506,030	0,518	-0,669
P14	752622,306	9440452,771	752621,863	9440453,414	0,443	-0,643
Coordenadas UTM Elípsoide de referência: SIRGAS2000 Fuso: 23 Meridiano Central: 45W				Média	0,320	-0,453
				Desv. Padrão	0,172	0,201
				Mínimo	0,077	0,753
				Máximo	0,539	0,061

Análises de Tendência

Na análise de tendência foi verificado se os valores do $t_{calculated}$ pela (Equação 7), é menor ou igual ao valor tabelado (t de *Student*) para um nível de confiança de 90%, que neste estudo, os valores do grau de liberdade ($n-1$) utilizado foi $(14 - 1) = 13$, na análise obtém-se o valor de que é igual a 1,350 (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de tendência 1

t _{calc.}	t _{10% (13)}	Resultado
t _E 6,961	1,350	Existe tendência
t _N 8,433	1,350	Existe tendência

Neste contexto, foi possível observar a existência de tendência pela (Equação 8), indicando a presença de erros sistemáticos significativos embutidos nos valores das medições das componentes (E) como para (N) do ortomosaico.

Para minimizar os efeitos dos erros sistemáticos detectados pelo teste t de *Student*, nas componentes que apresentaram tendência, foi subtraída a média das discrepâncias verificada nos pontos de referência para cada coordenada do ortomosaico pela (Equação 9), fazendo com que todos fossem aprovados na análise de tendência (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo estatístico 2

Coordenadas do Ortomosaico			Coordenadas do receptor GNSS			
Pontos	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Coord. E (m)	Coord. N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
P01	752620,845	9439953,427	752621,242	9439953,496	0,397	-0,069
P02	752551,977	9439944,728	752552,226	9439944,585	-0,249	0,143
P03	752414,777	9439914,053	752414,893	9439913,661	-0,116	0,392
P04	752475,690	9439929,691	752475,691	9439929,402	-0,001	0,289
P05	752512,837	9440035,570	752512,905	9440035,474	-0,068	0,096
P06	752513,401	9440082,238	752513,389	9440082,093	0,012	0,145
P07	752547,216	9440080,406	752547,271	9440080,334	-0,055	0,072
P08	752586,450	9440174,052	752586,343	9440174,033	0,107	0,019
P09	752563,055	9440203,354	752563,007	9440203,424	0,048	-0,070
P10	752599,095	9440287,776	752598,931	9440287,888	0,164	-0,112
P11	752614,323	9440379,476	752614,104	9440379,673	0,219	-0,197
P12	752636,288	9440432,699	752636,279	9440432,999	0,009	-0,300
P13	752624,411	9440505,814	752624,213	9440506,030	0,198	-0,216
P14	752621,986	9440453,224	752621,863	9440453,414	0,123	-0,190
Coordenadas UTM Elipsoide de Referência: SIRGAS 2000 Fuso: 23 Meridiano Central: 45W				Média	0,000	0,000
				Desv. Padrão	0,172	0,201
				Mínimo	-0,077	-0,753
				Máximo	0,539	-0,061

Foi realizado novamente o teste estatístico e o teste de tendência, após a retirada da média das discrepâncias das coordenadas analisadas. Com isso o teste de hipótese foi aceito ($H_0: \bar{\Delta}n = 0$), onde a média das discrepâncias, tanto em (E) como para (N) foi zero, como observa-se na Tabela 6.

Tabela 6. Análise de tendência 2

tcalc.	t10% (13)	Resultado
t_x 0,000	1,350	Não tendência
t_y 0,000	1,350	Não tendência

O acontecimento desse problema e o seu resultado pode ser reduzido pela diminuição de seu valor a cada coordenada lida no ortomosaico. Obedecendo as hipóteses H_0 anteriormente relatadas e comparando os testes calculados com o teste tabelado, observa-se que não foram rejeitadas as hipóteses após a eliminação da média das discrepâncias dos 14 pontos, ou seja, as médias são iguais à zero, e com isso, não há presença de erros sistemáticos (GALO & CAMARGO, 1994).

Análises de Exatidão

Com a aceitação da hipótese H_0 no teste de médias para o processamento com 14 pontos de verificação, passou-se à avaliação da precisão posicional utilizando o Teste *Qui-quadrado*, ao nível de confiança de 90% resultando em um nível de confiabilidade de $\alpha = 10\%$ e um grau de liberdade igual a 13.

O teste de exatidão foi realizado para escalas e classes seguindo os padrões, de acordo com a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais utilizados nos produtos digitais (CONCAR-EB, 2011).

Para determinar o Erro Padrão (EP) nas respectivas escalas e classes, é multiplicado o modulo da escala pelo Erro Padrão estabelecido pela norma representado na Tabela 7.

Tabela 7. Erro padrão (EP) do PEC-PCD nas distintas escalas e classes (Planimetria)

Classe	Classe	Escala								
		PEC	PEC-PCD	1/500	1/750	1/1000	1/1250	1/1500	1/1750	1/2000
-	A	0,085 m	0,128 m	0,170 m	0,213 m	0,255 m	0,298 m	0,340 m		
A	B	0,150 m	0,225 m	0,300 m	0,375 m	0,450 m	0,525 m	0,600 m		
B	C	0,250 m	0,375 m	0,500 m	0,625 m	0,750 m	0,875 m	1,000 m		
C	D	0,300 m	0,450 m	0,600 m	0,750 m	0,900 m	1,050 m	1,200 m		

Em seguida foi calculada a variância em função da escala do produto, sendo calculado através da (Equação 10) (Tabela 8).

Tabela 8. Variâncias amostrais calculadas através do EP para a planimetria

Classe PEC- PCD	Escala						
	1/500	1/750	1/1000	1/1250	1/1500	1/1750	1/2000
σ classe A	0,060 m	0,090 m	0,120 m	0,150 m	0,180 m	0,210 m	0,240 m
σ classe B	0,106 m	0,159 m	0,212 m	0,265 m	0,318 m	0,371 m	0,424 m
σ classe C	0,177 m	0,265 m	0,354 m	0,442 m	0,530 m	0,619 m	0,707 m
σ classe D	0,212 m	0,318 m	0,424 m	0,530 m	0,636 m	0,742 m	0,849 m

Para atender a precisão de uma determinada classe da norma, o valor do teste Qui-quadrado calculado ($X^2_{(calculado)}$) é obtido pela (Equação 11), deve ser inferior ao teste Qui-quadrado tabelado ($X^2_{(tabelado)}$). O valor tabelado de $X^2_{(tabelado)}$ é 19,812 obtido na tabela de Distribuição Qui-Quadrado. Nas Tabelas 9 e 10 observa-se os resultados do Qui-quadrado ($X^2_{(calculado)}$), tanto para (E) como para (N).

Tabela 9. Cálculo estatístico para a coordenada E

X^2 Calculado	Escala						
	PEC-PCD	1/500	1/750	1/1000	1/1250	1/1500	1/1750
A	106,461	47,316	26,615	17,034	11,829	8,691	6,654
B	34,186	15,194	8,546	5,470	3,798	2,791	2,137
C	12,307	5,470	3,077	1,969	1,367	1,005	0,769
D	8,546	3,798	2,137	1,367	0,950	0,698	0,534

Tabela 10. Cálculo estatístico para a coordenada N

X^2 Calculado)	Escala						
	PEC-PCD	1/500	1/750	1/1000	1/1250	1/1500	1/1750
A	145,388	64,617	36,347	23,262	16,154	11,868	9,087
B	46,686	20,749	11,671	7,470	5,187	3,811	2,918
C	16,807	7,470	4,202	2,689	1,867	1,372	1,050
D	11,671	5,187	2,918	1,867	1,297	0,953	0,729

Em seguida, verificou-se se o valor acima calculado se encontrava no intervalo de aceitação, ou seja, atende a (Equação 12). Não sendo obedecida, rejeita-se a hipótese nula, isto é, o produto não atende à precisão pré-estabelecida. As Tabelas 11 e 12 apresentam a classificação quanto ao atendimento da configuração para as distintas classes e escalas do PEC-PCD.

Tabela 11. Classificação do produto cartográfico em (E) quanto às classes e escalas

X^2 Calculado	Escala						
	PEC-PCD	1/500	1/750	1/1000	1/1250	1/1500	1/1750
A	Não atende	Não atende	Não atende	Atende	Atende	Atende	Atende
B	Não atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
C	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
D	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende

Tabela 12. Classificação do produto cartográfico em (N) quanto às classes e escalas

X² Calculado	(N)						
	Escala						
PEC-PCD	1/500	1/750	1/1000	1/1250	1/1500	1/1750	1/2000
A	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Atende	Atende	Atende
B	Não atende	Não atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
C	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
D	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende

Comparando os testes calculados para cada classe com o teste tabelado, pode-se concluir que, com 14 pontos de verificação, como o teste de exatidão pelo método do qui-quadrado as hipóteses nas direções do eixo (E) como para (N), obteve classe C na escala 1/500 e 1/750, classe B na escala 1/1.000 e 1/1.250 e classe A na escala 1/1500, 1/1.750 e 1/2.000, ao nível de confiança de 90%. Observa-se o mapa gerado a partir do ortomosaico proveniente do VANT (Figura 6).

Em pesquisa similar, guardado as proporções, materiais e dados utilizados, Alves Junior (2015) mostra testes de acurácia e exatidão realizados com o qui-quadrado e teste t de Student considerando o produto com Classe A, na escala 1/1.125, para o ortomosaico com pontos de apoio, e com escala 1/2.500 para o ortomosaico sem pontos de apoio. Acrescenta o autor, após realizar os testes estatísticos para verificar o PEC dos ortomosaicos gerados, foi possível concluir que somente o ortomosaico gerado com oito pontos de apoio possui PEC Classe A para a escala de 1/1.125, sem tendenciosidade nos eixos E e N, e com tendenciosidade no eixo Z. O ortomosaico gerado sem pontos de controle foi classificado com PEC Classe A na escala de 1/2.500, com tendenciosidade nos eixos E, N e Z.

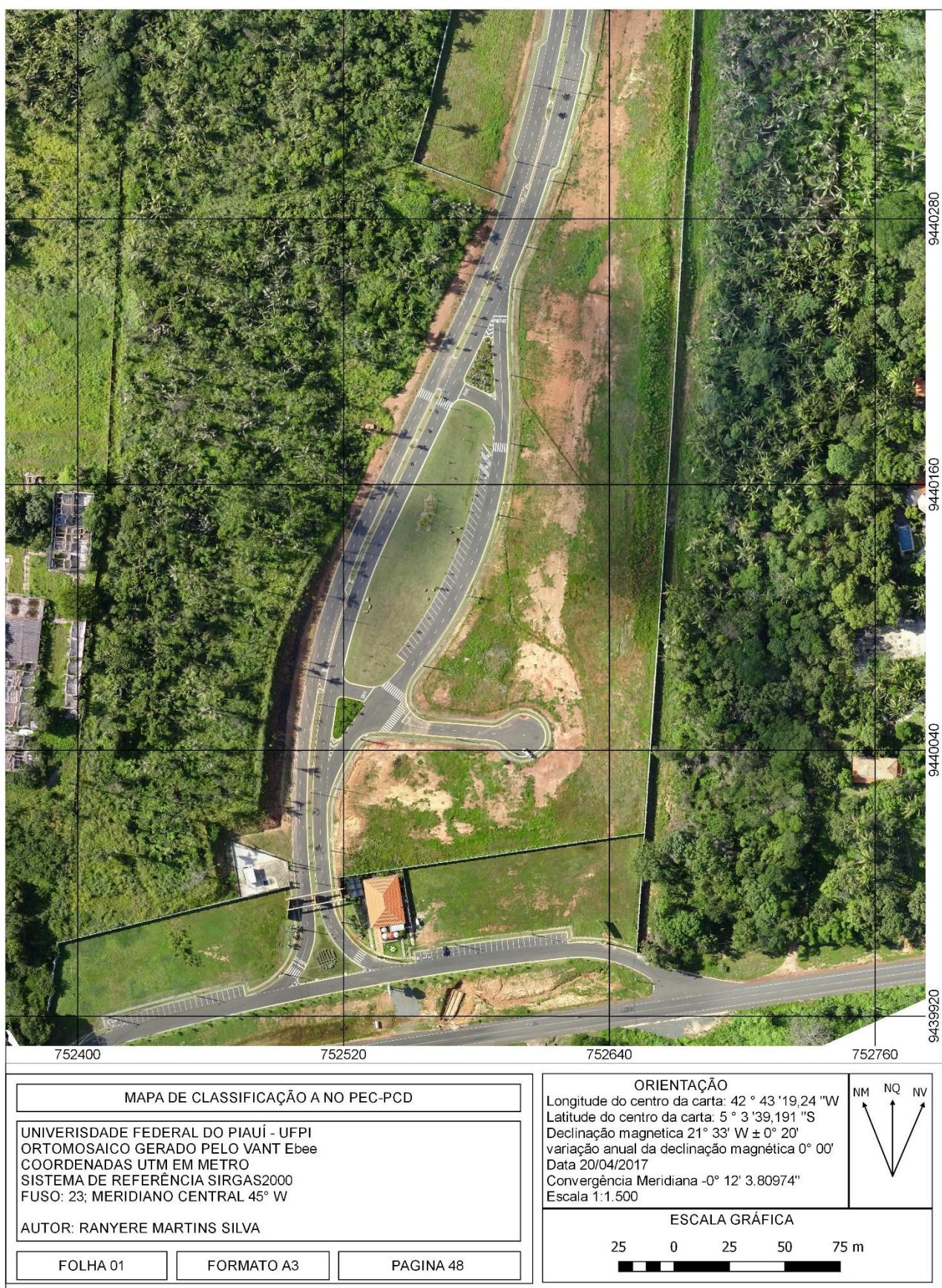


Figura 6. Mapa resultante do ortomosaico.

Conclusão

Os VANTs vêm sendo bastante utilizado para mapeamentos com várias aplicações, especialmente em áreas de dimensões intermediarias, por se tratar de um equipamento de fácil manuseio e com baixo custo se comparado aos aviões tripulados. O VANT *Sensefly Ebee* e o método utilizado se mostraram apropriados para a produção do produto cartográfico apresentado. Além disso, uma particularidade interessante do método utilizado é o baixo custo e a praticidade de seu uso que não requer uma administração complicada no planejamento e execução dos voos.

Diante do propósito de avaliar a acurácia dos ortomosaicos produzido pelo VANT, conclui-se que pelo método utilizado neste estudo, o Ebee foi eficiente na geração de produtos de sensoriamento remoto de grande acurácia, com alta resolução espacial, indicado principalmente para levantamentos planimétricos locais de alta precisão. Fato que faz desta ferramenta complementar as tecnologias já consagradas no mercado.

Logo a classificação do PEC-PCD, por meio da metodologia do teste de hipóteses fundamentado na análise de tendência e precisão, demonstrou-se apropriado para avaliar a precisão posicional, bem como identificar o erro sistemático embutido no ortomosaico gerado.

Foi possível concluir que o ortomosaico possui Classe A para a escala de 1/1.500, sem tendenciosidade nos eixos (E) como para o eixo (N).

Os VANT's podem ser perfeitamente utilizados em atualização de bases cartográficas de pequenas áreas e mapeamentos temáticos.

Diante do exposto, espera-se que este trabalho tenha esclarecido as dúvidas quanto à acurácia e aplicações dos VANT's, por meio das capacidades e limitações do uso deste equipamento apresentado neste trabalho, assim como sua função social de apresentar uma nova tecnologia que pode ser utilizada para diversos levantamento como, cartografia cadastral, levantamento planimétrico, mapas temáticos, monitoramento, e entre outros trabalhos realizados não só pela engenharia Cartográfica e de agrimensura, como também em diversas outras áreas de engenharias e afins.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.133. Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. 35p.
- ALVES JÚNIOR, L. R. Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais no estado de goiás. 113f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2015.
- ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Instrução Suplementar (IS) Nº 21-021- Revisão A. Apresentação de Dados Requeridos para Certificação Suplementar de Tipo. 2012. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-21-021a/@@display-file/arquivo_norma/IS21-021A.pdf>. Acesso em: 10 out de 2017.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Portaria Normativa nº 606/MD de 11 de junho de 2004. Diário Oficial da União nº 112 - seção 01, Brasília, 2004.
- BRASIL. Decreto Lei nº 89.917, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo. Brasília, DF, 22 jun. 1984.
- CONCAR. Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR-EB). Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV). Estrutura de Dados Geoespaciais Vetoriais (EDGV). Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). 2011.
- GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GNSS no controle de qualidade de cartas. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 1, 1994, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 1994. v.2.
- INCRA. Instituto Nacional da Reforma Agrária. Manual Técnico de Posicionamento - Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 1º ed. Brasília, 2013.
- MERCHANT, D. C. Spatial accuracy standards for large scale line maps. In: American Congress on Surveying and Mapping, 42, 1982, Falls Church, VA, USA. Proceedings... Gaithersburg, MD, USA: ACSM, 1982. v.1, p.222-231.
- SENSEFLY PARROT GROUP. Classic eBee: O drone de mapeamento profissional. Disponível em: <<https://www.sensefly.com/drone/ebee-mapping-drone/>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

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 Agrícola pela UFCG. 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.

Paulo da Costa Medeiros: Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba - Campus II (1995), mestrado em Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba - Campus II (1997) e doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (2011). Atualmente é Professor Adjunto IV da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Hidráulica. Atuando principalmente nos temas Transformada de Wavelet Contínua, Hidrograma, gestão de recursos hídricos.

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 Geoambiente 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.

