

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Da Integração Internacional Lusofonia Afro-Brasileira
Diretoria de Educação a Distância

Curso de Especialização em
**Recursos Hídricos, Ambientais e
Energéticos**

Tópicos de Clima e Recursos Hídricos

Cleiton da Silva Silveira



CRÉDITOS

Presidente

Michel Temer

Ministro da Educação

José Mendonça Bezerra Filho

Presidente da CAPES

Abílio Baeta Neves

Diretor de EaD – CAPES

Carlos Lenuzza

Reitor da Unilab

Anastácio de Queiroz Sousa

Diretora de EaD/Unilab

Maria Cristiane Martins de Souza

Coordenadora UAB/Unilab

Emília Chaves

Coordenador do Curso Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

José Cleiton Sousa dos Santos

Elaboração do conteúdo

Autor:

Cleiton da Silva Silveira

Revisor de texto:

Danyelle de Lima Teixeira

Diagramação:

Francisco José Alves da Silva

Ficha catalográfica

SUMÁRIO

| | |
|--------------------|----|
| APRESENTAÇÃO | 05 |
|--------------------|----|

MÓDULO 1 - Variabilidade Climática e Recursos Hídricos.

| | |
|--|----|
| Tópico 1 – Problemática do Clima | 06 |
| Tópico 2 – Os Fenômenos Físicos que Definem o Clima de uma Região..... | 15 |
| Referências | 23 |

MÓDULO 2 - Processos Hidrológicos e Gestão de Recursos Hídricos.

| | |
|--|----|
| Tópico 1 – Processos Hidrológicos..... | 24 |
| Tópico 2 – Gestão de Recursos e Operação de Reservatórios..... | 32 |
| Referências..... | 41 |
| Currículo..... | 42 |

Apresentação

Prezado estudante,

Este livro foi estruturado em duas grandes etapas: na primeira delas reforçaremos os conceitos sobre clima e destacaremos a relação entre clima, energia e água. Destacamos ainda, as diferentes escalas temporais de variabilidade climática e associamos aos fenômenos físicos responsáveis pelo seu comportamento.

Num segundo momento apresentaremos os conceitos de recursos hídricos e são apresentados conceitos de gestão de recursos hídricos associados ao gerenciamento de reservatórios.

Espero que gostem!

Módulo 1

Variabilidade Climática e Recursos Hídricos.

Caro (a) aluno (a),

No módulo 01, aprenderemos um pouco sobre a variabilidade climática em múltiplas escalas temporais e discutiremos os fenômenos responsáveis por essa variação. Apresentaremos aspectos relevantes do balanço de radiação terrestre e circulação atmosférica global.

Boa leitura!

Objetivos

- Compreender os conceitos relativos a clima e recursos hídricos;
- Entender a relação entre clima e recursos hídricos;
- Compreender a relação de nexus entre água, energia, alimento e clima.

Tópico 1 - Problemática do clima.

Neste primeiro tópico, refletiremos um pouco sobre as questões associadas a variabilidade climática e a relação de nexus entre água, energia, alimento e clima. Você já parou para pensar que o clima condiciona a disponibilidade de água para o consumo humano e para agricultura? E a energia gerada no Brasil depende em grande medida da precipitação nos reservatórios do setor elétrico? Intrigante, concorda? Você sabia que o clima pode variar em diferentes escalas de tempo? Será que isso afeta a nossa vida? Questões como essas mostram a necessidade de estudos sobre o clima, concordam? Espero que possamos entender um pouco mais sobre esses questionamentos, para melhorar nossas discussões sobre o assunto iremos comentar um pouco sobre variabilidade climática e relação com recursos hídricos.

Vamos lá !

Objetivos

- Compreender que o clima possui diferentes escalas de variação que podem condicionar o planejamento em recursos hídricos.
- Estudar as escalas de planejamento do clima e relaciona-las aos recursos hídricos.

O que é variabilidade climática?

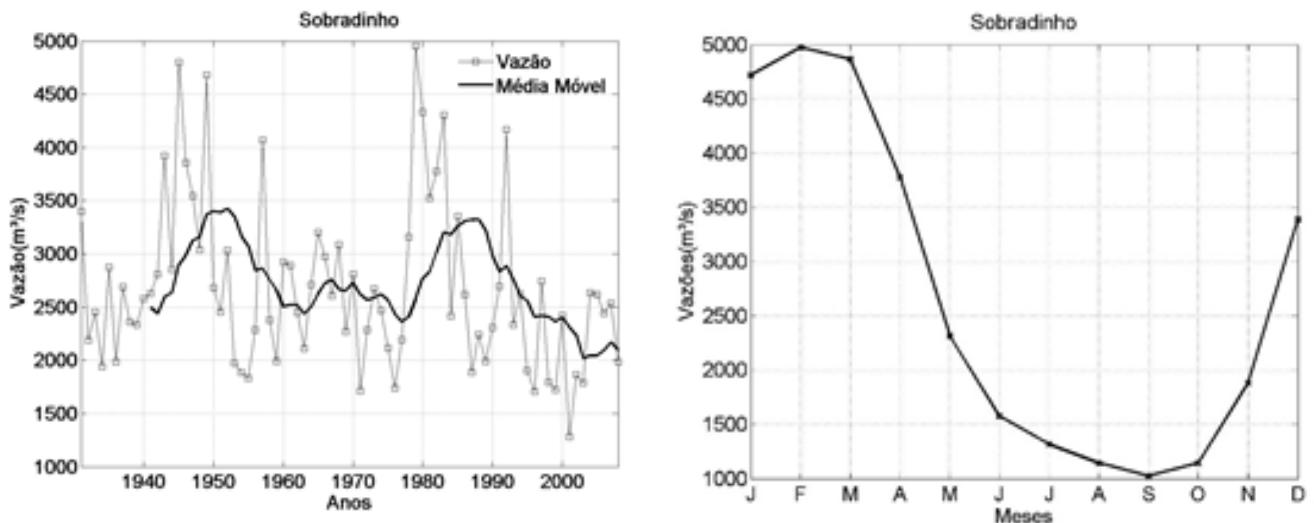
Já identificamos as escalas de planejamento em recursos hídricos, agora vamos entender um pouco sobre variabilidade climática. Mas o que é variabilidade climática?

O clima possui oscilações periódicas associadas a fenômenos físicos, estes interferem na quantidade de precipitação de uma região, na cobertura vegetal, temperatura etc, esse comportamento é chamado de variabilidade climática.

As séries temporais de vazões podem apresentar diversos modos de variação em diferentes escalas temporais, essa variabilidade pode condicionar o risco associado à ocorrência de eventos extremos hidrológicos (cheias e secas) para um local ou região.

As vazões naturalizadas, disponibilizadas pelo ONS (Operador Nacional de Sistemas) para Sobradinho no período de 1931 a 2009 ilustram estes modos de variação. Observa a Figura 1(a) que há uma variação interanual (entre um ano e outro) das vazões médias anuais bastante grande, anos com valores médios de $1500\text{m}^3/\text{s}$ a $5000\text{m}^3/\text{s}$, ou seja, existe um fator multiplicativo maior que 3 entre o mínimo e o máximo. Este modo de variação é chamado de variabilidade interanual e superpõe-se a uma pronunciada variabilidade sazonal (variação dentro do ano) onde em alguns meses as vazões são mais do que $3000\text{m}^3/\text{s}$ maior do que outros meses, conforme mostra Figura 1(b).

Figura 1- (a) Vazões médias anuais em Sobradinho (m^3/s). Média móvel de 10 anos em preto. (b) Climatologia das vazões em Sobradinho (m^3/s) no período de 1931 a 2009.

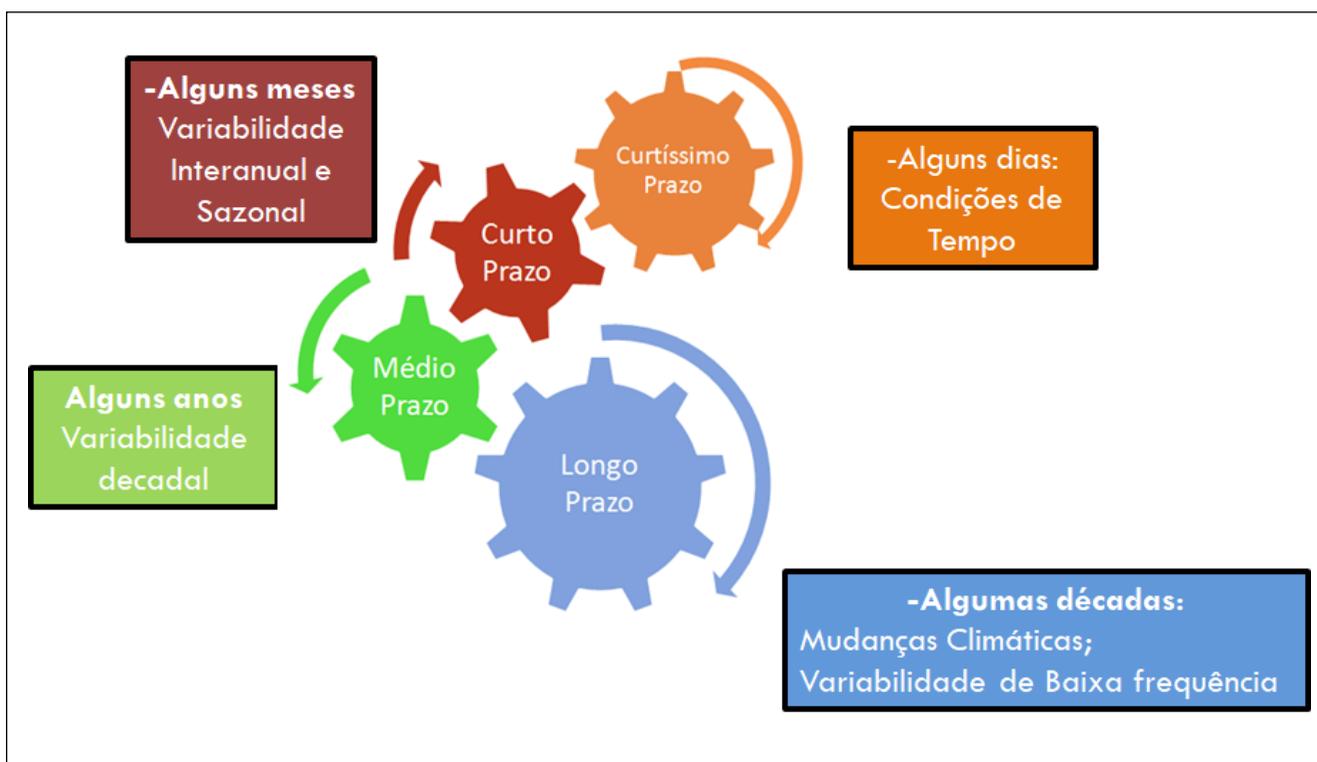


A série de vazões médias anuais de Sobradinho, mostrada na Figura 2(a), sinaliza significativa variabilidade hidrológica decadal, com períodos de 10 anos com média superior a 3200 m³/s, enquanto em outros intervalos a média móvel de 10 anos atinge valores de aproximadamente 2500m³/s. Essa característica mostra um possível modo de variação de baixa frequência, já que esse comportamento é recorrente ao longo da série histórica. Essa variabilidade pode introduzir nos sistemas hídricos a alternância de anos consecutivos úmidos e anos de seca num sistema hídrico. No caso de anos consecutivos com seca o racionamento de água deve ser intensificado e haverá impacto direto na concessão de permissão para o uso da água. Já no caso de anos consecutivos chuvosos pode haver um aumento no número de áreas inundadas e há a possibilidade que alguns usos da água sejam beneficiados.

Os modos de variação das séries temporais de vazões, precipitações e demais variáveis hidrológicas podem ser condicionadas pela atuação simultânea de diversos sistemas atmosféricos de várias escalas temporais e à dinâmica de suas interações. Devido a esses fenômenos meteorológicos em multiescalas, a combinação dos mesmos determina o estado do clima numa determinada escala temporal, e conseqüentemente o estado das variáveis do ciclo hidrológico.

Devido a essa interligação entre os fenômenos climáticos e os diferentes horizontes temporais de planejamento em recursos hídricos, a gestão em recursos hídricos precisa considerar que essas escalas se comunicam mutuamente e os fatores que influenciam cada uma das escalas se sobrepõem. Esta superposição é de extrema importância para as previsões, projeções e/ou cenarizações de clima, pois as escalas maiores modulam os eventos das escalas menores, conforme sugere a Figura 2.

Figura 2 - As escalas temporais de planejamento e o clima.



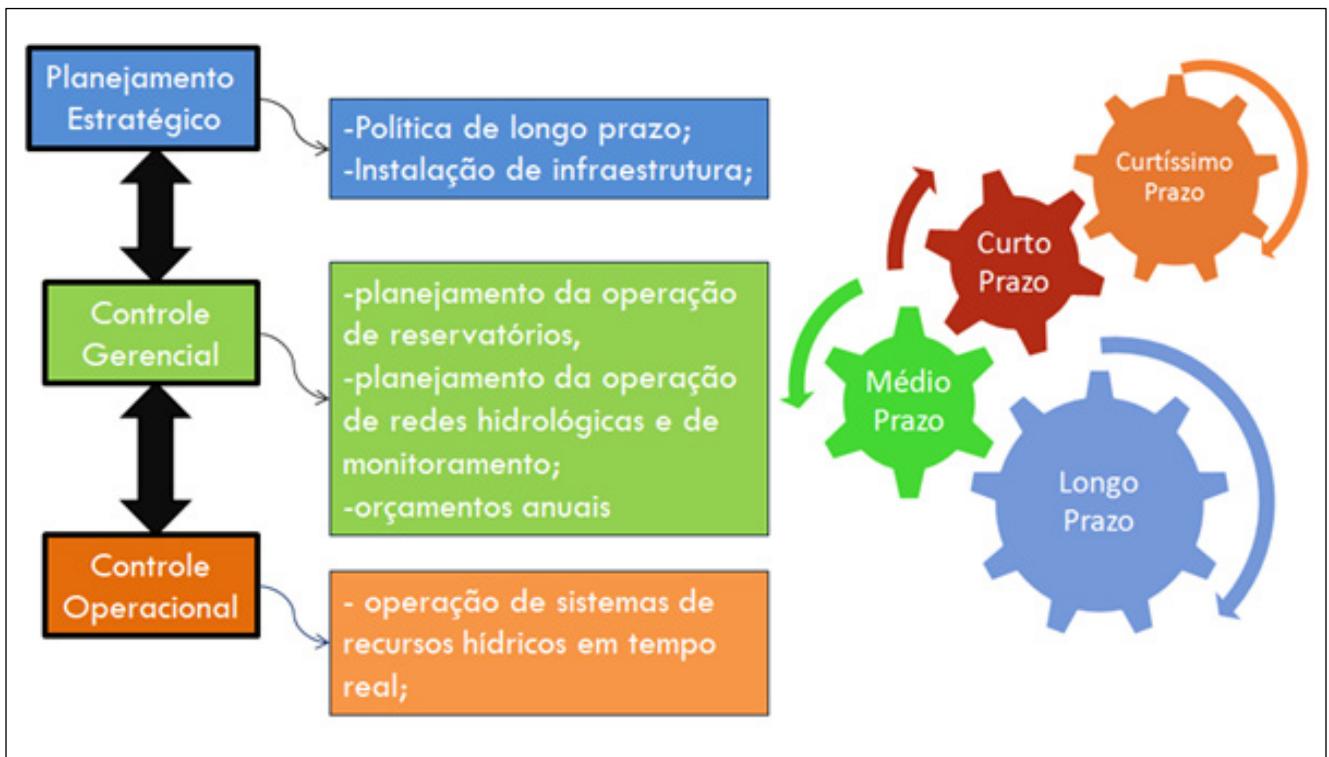
Gestão de recursos hídricos x Escalas de Planejamento

Gerir recursos hídricos, especialmente em períodos de escassez como secas, é uma tarefa bastante complexa. Imagine você como gestor tendo que tomar decisões sobre o uso da água, vários usuários desejando mais água, enquanto não há tanta disponibilidade. Tarefa complexa, concorda?

A tomada de decisão em recursos hídricos possui uma grande dependência com a variabilidade de fenômenos meteorológicos, especialmente no que concerne à distribuição temporal e espacial da chuva e conseqüentemente do regime de vazões (SOUZA FILHO e MOURA, 2006). Tais decisões precisam atender múltiplos objetivos, e frequentemente seus impactos não podem ser previamente identificados (GOMES et al., 2006).

É preciso ficar atento, segundo Porto et al. (1997), os problemas decisórios podem ser classificados em três grandes níveis hierárquicos de planejamento: **planejamento estratégico**, **planejamento e controle gerencial** e **controle operacional**. Estes níveis estão relacionados a diferentes horizontes temporais e as escalas maiores condicionam as escalas menores. A Figura 3 ilustra a relação entre o planejamento e escalas temporais.

Figura 3- Níveis hierárquicos do planejamento e escalas temporais.



No **planejamento estratégico** encontra-se a política de longo prazo, no Brasil um dos exemplos dessa política são os “Planos Diretores de Recursos Hídricos”. Esse nível de planejamento tem horizonte temporal típico de até algumas décadas, em virtude disso necessita que sejam inseridos, em caráter estratégico, a variabilidade do clima de baixa frequência e as mudanças climáticas.

O **controle gerencial** tem por objetivo a destinação e utilização de recursos da forma mais eficaz possível visando à obtenção de metas e resultados de médio prazo (PORTO et al., 1997). Esse nível de planejamento tem horizonte temporal típico de alguns meses a alguns anos, podendo ser atribuído a essa etapa de planejamento a operação de reservatórios, planejamento da operação de redes hidrológicas e de monitoramento, orçamentos anuais etc. Nesse sentido, previsões sazonais (curto prazo) e de tempo (curtíssimo prazo) de vazões de qualidade podem fortalecer o processo decisório nesta escala.

Para Refletir

O vídeo publicado INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), disponível no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=ssvFqYSIMho>, reflète de forma bastante clara e objetiva as consequências das mudanças climáticas na sociedade e sobre o planejamento estratégico.

O **controle operacional** refere-se a atividades repetitivas e de curto prazo, de algumas horas a alguns meses. Como por exemplo, a operação de sistemas de recursos hídricos em tempo real e também a operação de redes hidrológicas ou monitoramento. O fortalecimento do sistema de suporte a decisão nesta fase pode ser o uso de informações observacionais de precipitação, a modelagem de tempo e ainda previsões sazonais de precipitações e vazões. Considerando que as condições climáticas e de tempo de uma região podem variar devido à combinação de fenômenos físicos em diferentes escalas e que alguns destes oscilam no tempo (SILVEIRA, 2014), as variáveis do ciclo hidrológico podem também sofrer variações provocadas por essa variabilidade climática e, portanto, a identificação dos modos de variação do clima pode ser determinante no planejamento em recursos hídricos.

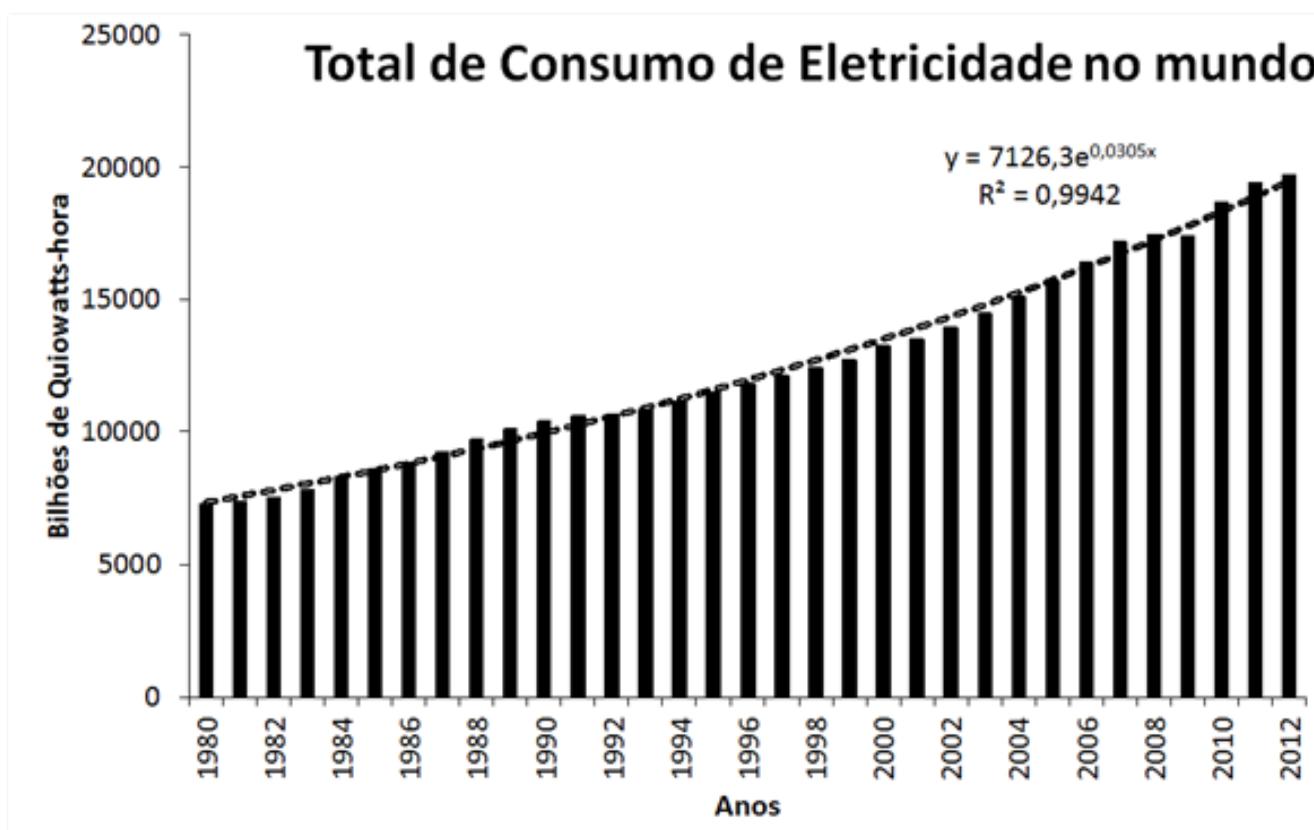
Segundo a ONU (Organização das Nações Unidas), o termo segurança hídrica associa-se diretamente as categorias segurança alimentar, segurança energética e ambiental, sendo a base para o desenvolvimento dessas. O termo segurança é usado no sentido de evitar ameaças e incertezas, portanto, a definição da política ótima no planejamento em recursos hídricos, atendendo o conceito de segurança hídrica, seria o atendimento da demanda hídrica para cada intervalo de tempo do planejamento, ao mínimo custo, preservando a confiabilidade da operação do mesmo.

Nexus: Água, Clima e Energia

Já notamos que existe uma relação entre clima e recursos hídricos, será que essa relação também se reproduz na energia?

O consumo de energia de um país reflete o grau de desenvolvimento econômico e pode estar ligado ao grau de qualidade de vida da população. É possível mensurar através deste a intensidade das atividades comerciais, industriais e serviços. Além disso, é possível aferir a capacidade da população em utilizar bens de capacidade tecnológica mais avançada (ANEEL, 2008). O crescimento populacional, o maior acesso mundial da população a materiais de maior tecnologia e a melhoria dos padrões de vida levaram a um crescimento exponencial do consumo, conforme podemos observar na Figura 4, quase triplicando em um período de 30 anos. Essa acentuada ampliação tem contribuído para o acirramento de diversas crises aumentando a vulnerabilidade e reduzindo a resiliência dos hidrossistemas. Tais crises são oriundas de diferentes questões que variam desde flutuações no preço do petróleo, a instabilidades provocadas pela desregulamentação dos mercados de eletricidade nos anos noventa, além de pressões ambientais.

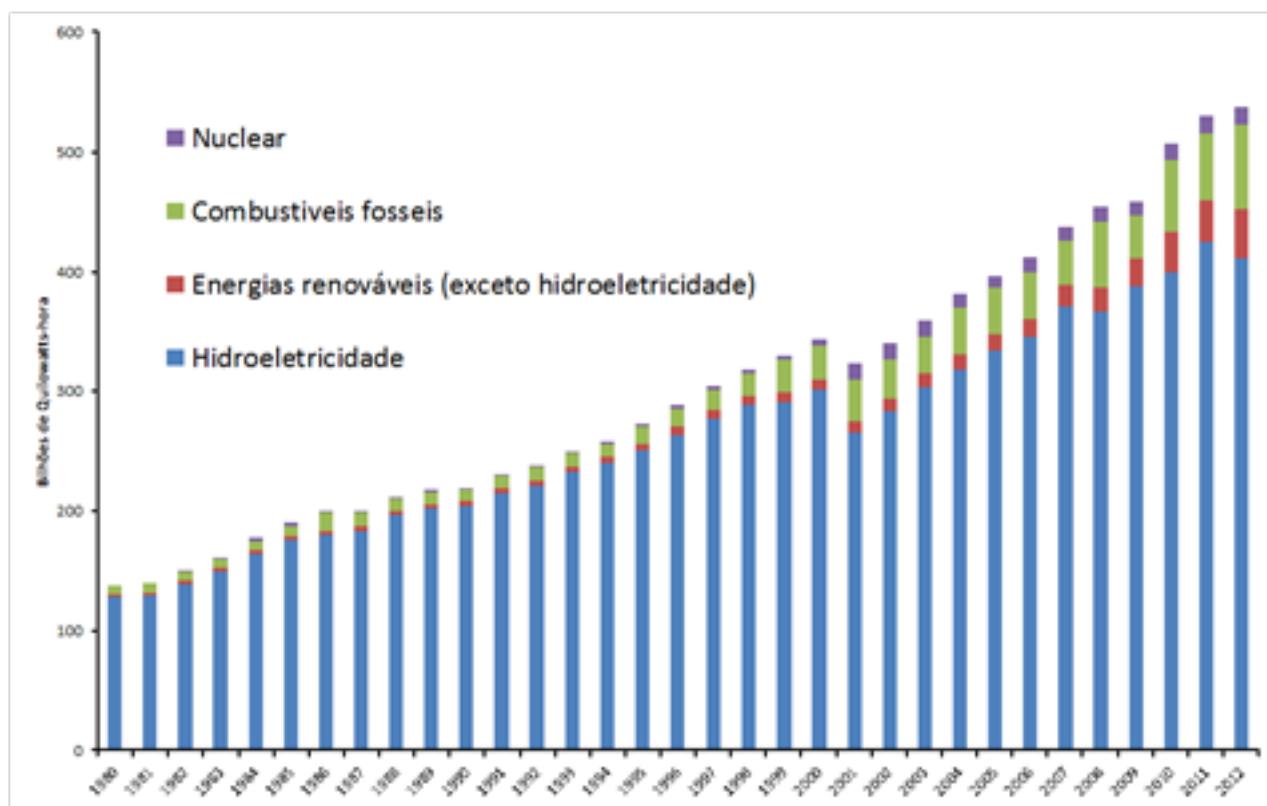
Figura 4 – Crescimento o consumo de energia mundial entre 1980 e 2012. Segundo a International Energy Statistics (IEA).



Para suprir a crescente demanda energética os países investiram fortemente em suas matrizes, o Brasil investiu bastante na construção de hidroelétricas em toda sua extensão territorial, enquanto outros países preferiram investir em outras fontes de energia, na maioria dos casos usinas térmicas, como na maioria dos países europeus e alguns países da América do Norte.

A geração de energia elétrica no Brasil passou de 139 bilhões de quilowatts-hora em 1980 para 539 bilhões de quilowatts-hora em 2012, com uma taxa de crescimento médio de aproximadamente 4,4% a.a, conforme Figura 2. A participação da energia hidráulica foi sempre preponderante no país, variando de 94% (máxima) a 76% em 2012 (mínima). A geração nuclear teve início em 1982 e a geração eólica em 1992. A geração hidroelétrica passou a sofrer redução na participação na matriz de geração de energia elétrica a partir de 1999. A maioria dos empreendimentos hidroelétricos no período de crescimento foi construída, principalmente, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do país.

Figura 5– Geração de energia elétrica no Brasil no período de 1980 a 2012. Segundo a IEA.



Portanto, o Brasil apresenta uma matriz energética basicamente constituída por energias consideradas limpas, conforme Figura 5. A hegemonia da hidroeletricidade impõe cautelosa análise sobre o regime fluvial e seus padrões de variação temporal, tendo em vista o significativo impacto que estas variações podem produzir na oferta de energia, e conseqüentemente, em toda a economia nacional (ALVES et al., 2013).

O processo de planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro é composto, dentre outras atividades, por simulações computacionais de configurações futuras do sistema de energia elétrica. Nestas simulações se busca localizar e mensurar necessidades elétricas e energéticas futuras, bem como ajuste de cronogramas de entrada de empreendimentos de geração, entre outros. Tais ajustes são realizados seguindo critérios que visam, principalmente, a segurança do suprimento e a minimização de custos de investimento e operação. O planejamento e a geração eletroenergética do SIN (Sistema Interligado Nacional) apresentam correlação com os estoques de água existentes nos reservatórios das usinas hidrelétricas e as suas aflúências. Sobretudo, em período críticos, com reservatórios com baixos volumes, são acionadas termoelétricas de emergência para suprir a demanda energética do país. As térmicas no Brasil acabam por funcionar como reservatórios virtuais ao proporcionar segurança de abastecimento quando os reservatórios estão vazios e ao aliviar a necessidade de estocar água para lidar com a incerteza das aflúências.

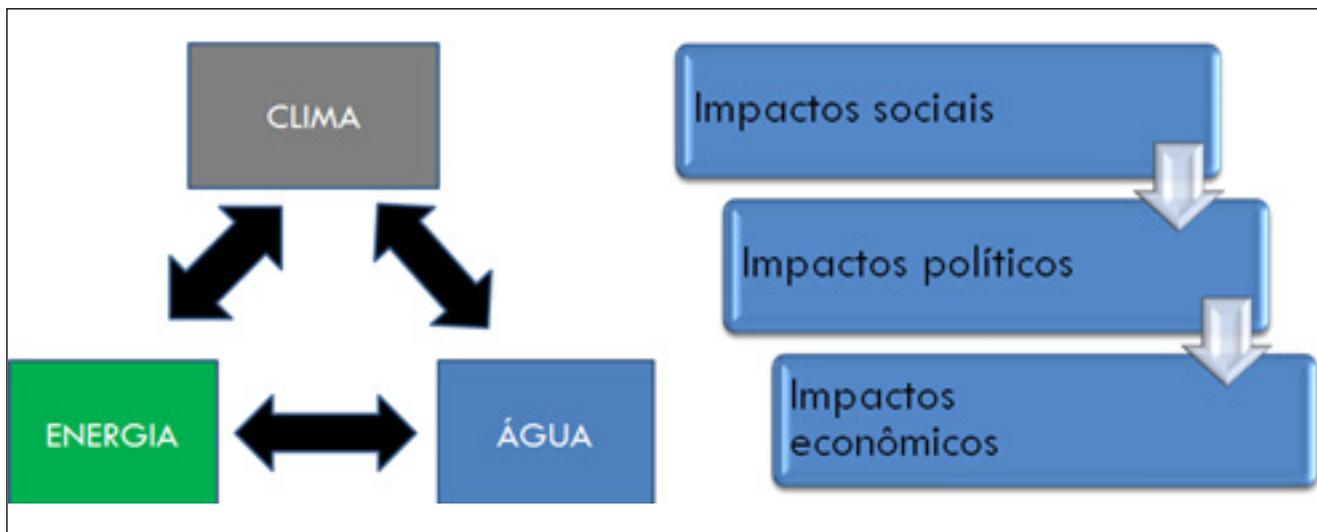
Sistemas energéticos como o brasileiro estão sujeitos a impactos advindos da variabilidade e das mudanças no clima, tanto na produção de energia, em suas diversas formas, quanto no seu consumo. Fontes renováveis são especialmente relevantes nesse sentido, uma vez que sua renovabilidade depende, fundamentalmente, do clima.

Guarde bem isso:

A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de 179 mil m³/s, o que corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade hídrica superficial mundial (SHIKLOMANOV, 1998). A variação do escoamento nos rios é influenciada por diversos fatores, entre os quais se destacam a precipitação ocorrida na bacia de contribuição e as mudanças no uso e ocupação do solo. No Brasil, a precipitação média anual (histórico de 1961-2007) é de 1.761 mm, variando de valores na faixa de 500 mm na região semiárida do Nordeste a mais de 3.000 mm na região Amazônica.

Existe, portanto, uma interdependência entre água e energia (Rothausen e Conway, 2011; Scanlon et al., 2013), sendo o clima o elo que pode ser afetado e afetar essa relação. Scanlon et al. (2013) menciona que o acréscimo na demanda por energia aumenta também a demanda por água e leva a uma redução quantitativa deste recurso. Além disso, isto implica numa maior quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera, visto que boa parte da matriz energética mundial tem as termelétricas como principal fonte geradora, funcionando como feedback positivo para as mudanças climáticas e tornando os eventos extremos mais recorrentes e intensos. Além disso, segundo Lucena et (2010) as termelétricas também são afetadas pela mudança climática, pois o aumento da temperatura diminui a eficiência na conversão de energia das turbinas de gás natural.

Figura 6- Nexus Clima, Energia e Água.



Portanto, as implicações da variabilidade e alterações climáticas não têm sido integralmente consideradas nas políticas de recursos hídricos e nos processos de tomada de decisões (KABAT et al., 2002). Isto é particularmente verdadeiro nos países em desenvolvimento, onde os recursos financeiros, impactos humanos e ecológicos são potencialmente maiores e onde os recursos hídricos já podem estar em situação de grande estresse, associado à pequena capacidade de se enfrentar e se adaptar as mudanças (KABAT et al., 2002).

O reconhecimento dos padrões climáticos de variação em cada região hidrográfica, bacia ou localidade é decisivo para escolha e configuração dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Alves et al. (2013) analisando as séries temporais de vazões da ONS identificou diversas configurações para os padrões de variação do regime de vazões no Brasil.

Os instrumentos de gestão notadamente necessitam encontrar configurações que possibilitem o pleno desenvolvimento da Gestão Adaptativa dos Recursos hídricos para que possam efetivamente promover segurança hídrica.

No tópico II estudaremos um pouco sobre o clima na terra e forçantes que os condiciona.

Tópico 2 - Os Fenômenos Físicos que Definem o Clima de uma Região

Prezado estudante,

Seja bem-vindo ao segundo tópico da disciplina de Tópicos de Clima e Recursos Hídricos. Já identificamos que o clima varia em várias escalas temporais. Para entendermos os condicionantes do clima iremos estudar os aspectos do balanço de energia e da circulação atmosférica.

No tópico anterior nós vimos que o clima possui diferentes escalas temporais de variação, devido a isso há impacto nas variáveis do ciclo hidrológico (precipitação, vazão evapotranspiração etc), conseqüentemente na gestão dos recursos hídricos.

Mas quais são os condicionantes do clima na terra? Qual o papel da atmosfera nesse contexto? Como a energia proveniente do sol interfere nisto?

Questões como essas mostram a necessidade de estudarmos um pouco sobre o que chamamos de balanço de energia e circulação atmosférica.

Bom estudo!

Objetivos

- Entender os processos físicos que regem o clima global e regional;
- Reconhecer os fatores que geram efeitos sobre o balanço de energia.

O balanço de energia

O balanço de energia é a diferença entre energia que entra e sai do sistema climático. Quando a radiação solar entra no sistema climático terrestre, uma parte da radiação é absorvida, outra refletida e outra espalhada.

Você sabia que o nosso planeta recebe a todo instante uma grande quantidade de energia proveniente do sol e que a distribuição dessa energia é um dos principais mecanismos que condicionam o clima na terra?

Será que essa radiação é recebida uniformemente na terra? Obviamente que não, logo é preciso haver o transporte das regiões de mais energia para as demais com menos. Legal!!!

Guarde bem isso:

A fonte de energia injetada no topo da atmosfera é proveniente do sol. Este emite continuamente uma parte da sua energia por meio de ondas eletromagnéticas e partículas de alta energia.

Efeito da atmosfera no balanço de energia

A atmosfera é uma camada relativamente fina de gases e material particulado (aerossóis) que envolve a Terra e é essencial para a vida que existe hoje no planeta.

A atmosfera é muito transparente à radiação solar incidente, aproximadamente 51% desta penetra e incide diretamente na superfície da Terra sem nenhuma interferência da atmosfera, constituindo a insolação direta.

E o que acontece com outra parte da radiação (49%) que chega no topo da atmosfera?

Essa outra parte da energia poderá ser:

- Refletida de volta para o espaço ;
- Absorvida ;
- Espalhada em volta até atingir a superfície da Terra ou retornar ao espaço.

A atmosfera contém um grupo de gases que são transparentes para radiação solar direta, mas que absorvem diferentes bandas da radiação de ondas longas. Estes gases incluem: H₂O, CO₂, CH₄, N₂O, O₃ e CFCs.

Guarde bem isso:

A radiação solar direta que chega à superfície terrestre sem interação com a atmosfera carrega uma quantidade maior de energia e é chamada de onda curta. Enquanto, a radiação emitida pela superfície terrestre é chamada de onda longa.

Estes gases reemitem boa parte desta radiação para a superfície e para o espaço, aquecendo a superfície. Esse processo de aquecimento é chamado de efeito estufa.

Em um balanço de energia médio em toda a atmosfera, parte da energia incidente é refletida pelo ar e pelas nuvens e parte é absorvida pela poeira, pelo ar e pelas nuvens. Parte da energia que chega à superfície é refletida de volta para o espaço ainda sob a forma de ondas curtas.

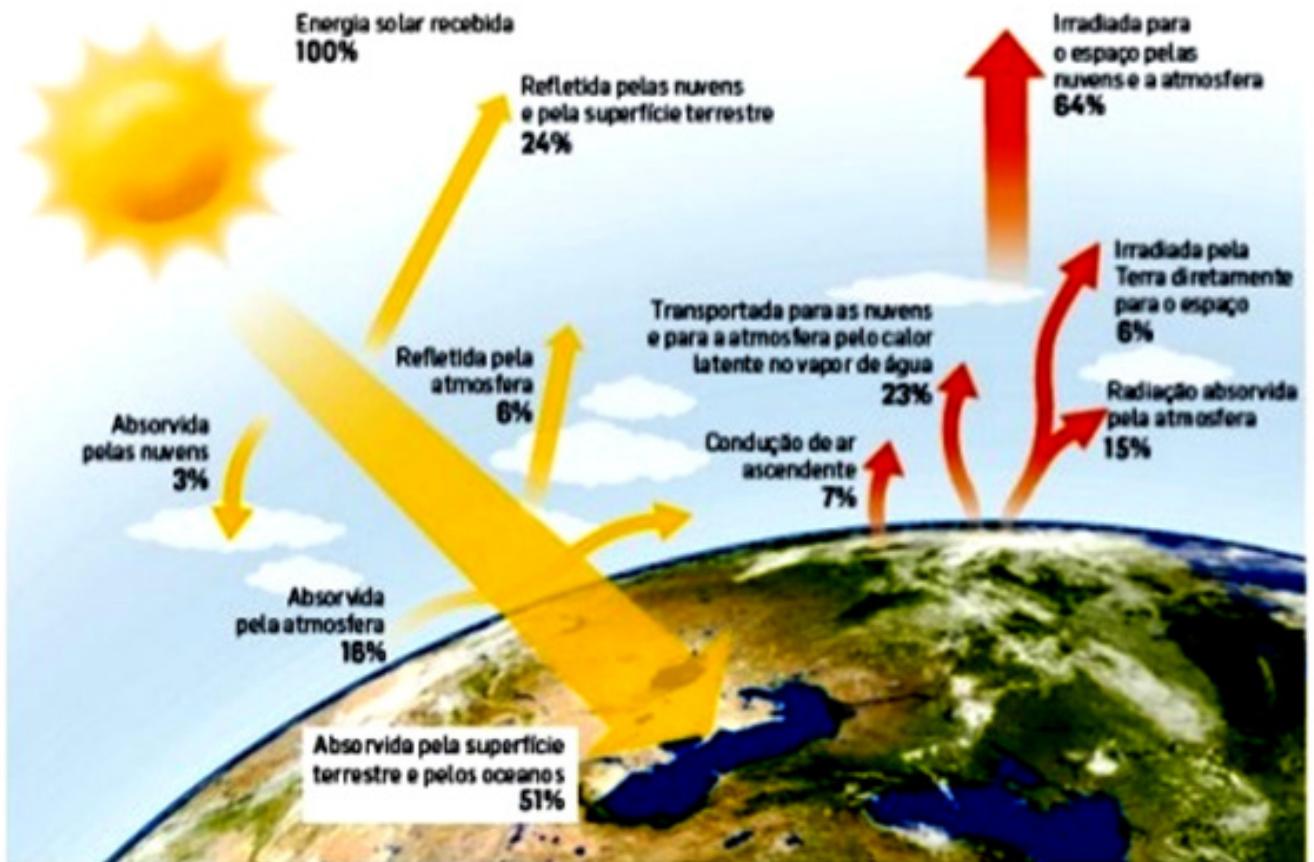
A energia absorvida pelas áreas continentais e pelos oceanos contribui para o aquecimento dessas superfícies, que emitem radiação de ondas longas. Além disso, o aquecimento das superfícies contribui para o aquecimento do ar que está em contato, gerando o fluxo de calor sensível. A vaporização da água líquida do solo, nas plantas ou na superfície, e a transferência desse vapor para a atmosfera é o fluxo de calor latente.

Finalmente, a energia absorvida pelo ar e pelas nuvens e a energia dos fluxos de calor latente e sensível, pode retornar ao espaço na forma de radiação de onda longa, fechando o balanço de energia.

Saiba mais:

O vídeo a seguir mostra de maneira detalhada o balanço de energia terrestre:
<https://www.youtube.com/watch?v=clgqmbFnZM>

Figura 1 - Balanço de energia Terrestre.



Fonte: <http://image.slidesharecdn.com/1-variabilidadedaradiaosolar-160109211644/95/1-variabilidade-da-radiao-solar-17-638.jpg?cb=1452374505>

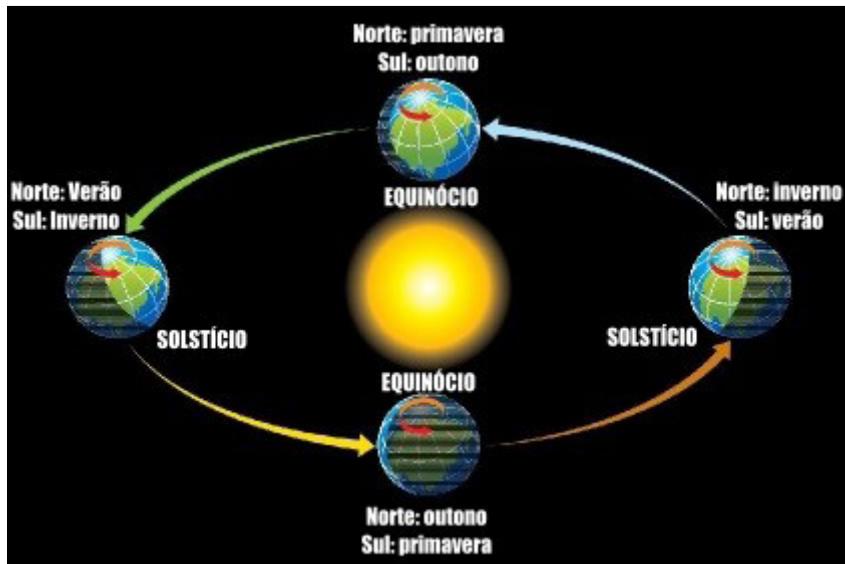
Estações do ano

O nosso planeta recebe radiação sob diferentes ângulos devido a sua rotação, inclinação em relação ao seu plano orbital e translação em torno do sol, esse aspecto faz com o clima não se apresente de forma homogênea ao longo do ano. Essa variabilidade pode ser explicada em grande medida pelas estações do ano.

Em virtude destes diferentes movimentos, a terra possui um total de quatro estações do ano: primavera, verão, outono e inverno. Contudo, em regiões tropicais o mais comum é que se perceba apenas duas grandes estações, uma mais seca e outra mais chuvosa.

As estações do ano apresentam-se de forma diferentes nos hemisférios norte e sul. Quando é inverno no norte, é verão no sul; sendo que quando é primavera no norte, é outono no sul, e a recíproca é verdadeira. Além disso, quando estamos no período de verão/inverno nos hemisférios, estamos na época dos solstícios e, quando estamos no período de outono/primavera, estamos na época dos equinócios.

Figura 2 – Estações do Ano.



Fonte: <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/estacoes-ano.htm>

Acessado em 08/12/2017

Circulação geral da atmosfera

A atmosfera terrestre circula incessantemente e a energia de seus ventos, apesar de consumida por forças dissipativas é realimentada pelo forçante térmico (o sol).

Devido a fatores físicos, a terra recebe uma quantidade da radiação na zona equatorial maior que as demais. Portanto, a circulação atmosférica é essencial para realizar o transporte de calor da região equatorial para os polos. Além disso, a circulação é associada também a assimetria dos oceanos e características da superfície.

Modelo de uma célula

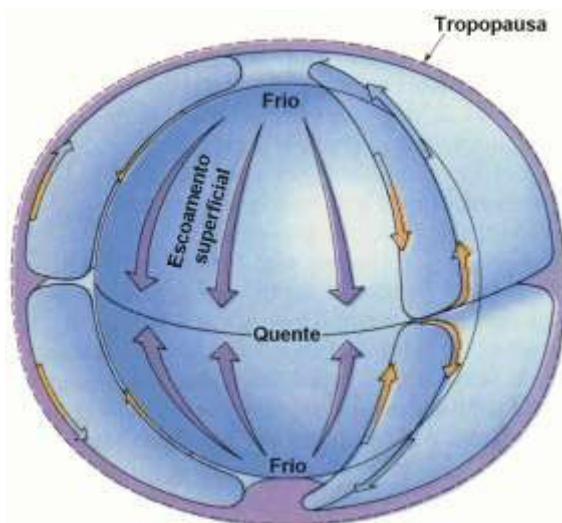
Caso a terra não girasse e fosse homogênea, teríamos um modelo de célula.

Para este modelo considerariamos as seguintes condições:

- A Terra não está em rotação, esta consideração elimina o efeito da força de coriolis e toda circulação se torna essencialmente térmica;
- A superfície da Terra é homogênea, não havendo superfícies com propriedades térmicas distintas, não há circulação locais ou regionais do tipo brisas e monções;
- A absorção de radiação solar e a emissão de radiação de onda longa provoca um gradiente de temperatura com ar mais quente sobre o Equador e ar mais frio sobre os Pólos.

Com base nessas considerações, a circulação geral deve ter o mesmo comportamento das circulações térmicas. Isso implica que cada hemisfério conteria uma molécula tri-dimensional com convergência e movimento ascendente sobre os trópicos e movimento descendente em altas latitudes, a célula teria função redistribuir o calor do Equador para os Pólos.

Figura 3 – Representação esquemática de um modelo de circulação geral simplificado de uma célula.



Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap8/cap8-1.html>

Modelo de três células

A rotação da Terra faz surgir uma força fictícia, o efeito coriolis, que reflete os corpos em movimento para direita ou esquerda, nos hemisférios norte ou sul, respectivamente. Como a rotação da Terra é muito intensa, o modelo de uma célula não é válido. Já que a célula pode ser deformada ao ponto de não mais atingir os pólos.

A transferência de energia dos trópicos para os pólos irá requerer um número de circulações tanto maior quanto for a rotação da Terra. Em um modelo simples, o movimento do planeta leva a formação em cada hemisfério, de três células: a célula de Hadley, a célula Ferrel, e a célula polar, conforme Figura 4.

Neste modelo o equador é o local mais quente da Terra, esta área recebe um excesso de energia na forma de radiação solar forma uma baixa térmica, é uma região de convergência de ar, vindo dos subtropicais. No entanto, os ventos estão refletidos para a direita do norte e para esquerda no sul, nos trópicos eles possuem uma componente sempre apontando de leste para oeste. Estes ventos de baixos níveis, que circulam dos subtropicais em direção ao equador são denominados alísios. A faixa de confluência desses ventos que, neste modelo, encontra-se em torno do equador, denomina-se zona de convergência intertropical (ZCIT).

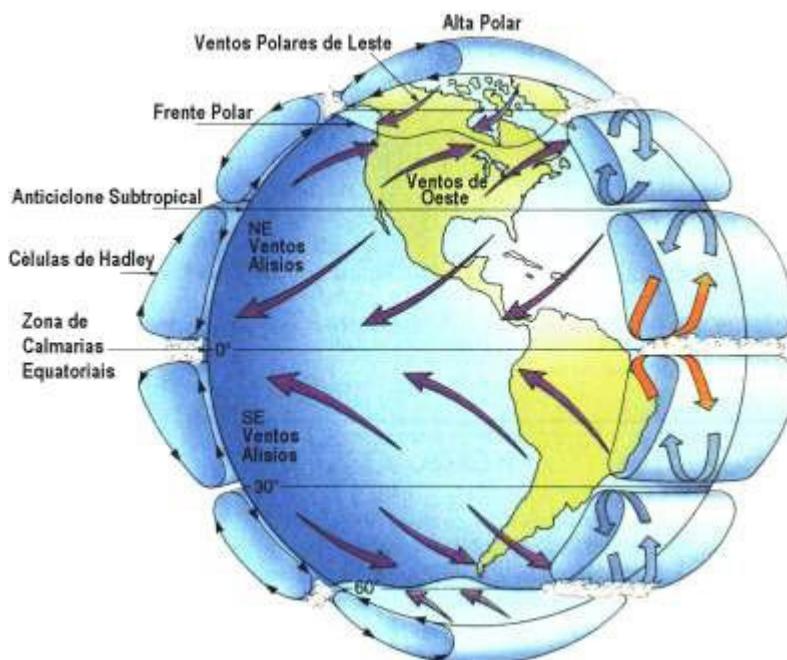
Em torno de 30° de latitude o ar passa a fluir de oeste para leste, este escoamento zonal é denominado jato subtropical. Como não há mais escoamento meridional o ar que se acumula é forçado a descer, provocando subsistência nos subtropicais, levando ao aparecimento de altas pressões em baixos níveis nessas regiões.

A partir das altas subtropicais, o ar flui em duas direções: parte dele dirige-se novamente aos trópicos, para completar a circulação fechada, conhecida como célula de Hadley; parte prossegue seu caminho em direção aos polos. Em baixos níveis, do equador para os polos, uma nova baixa aparece em torno de 60° de latitude e uma nova alta sobre os polos (alta polar). Os ventos, também em baixos níveis, são de oeste em latitude média e de leste nas latitudes polares, formando o que se convencionou chamar de vórtice polar.

Guarde bem isso:

*O vídeo a seguir mostra uma animação do modelo de três células:
https://www.youtube.com/watch?v=Y07hA3i_f4E
Destacam-se as células de Hadley, Ferret e Polar.*

Figura 4 – Representação esquemática de um modelo de circulação geral de três células.



Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap8/cap8-1.html>

Circulação Geral observada

A circulação geral da atmosfera terrestre tem fortes semelhanças com o que foi mencionado na seção anterior, mas há diferenças relacionadas:

- Ao fato de a superfície da terra não ser homogênea, com continentes e oceanos tendo propriedades térmicas diferentes;
- A existência da declividade do eixo de rotação que produz assim estações do ano;
- A presença de topografia.

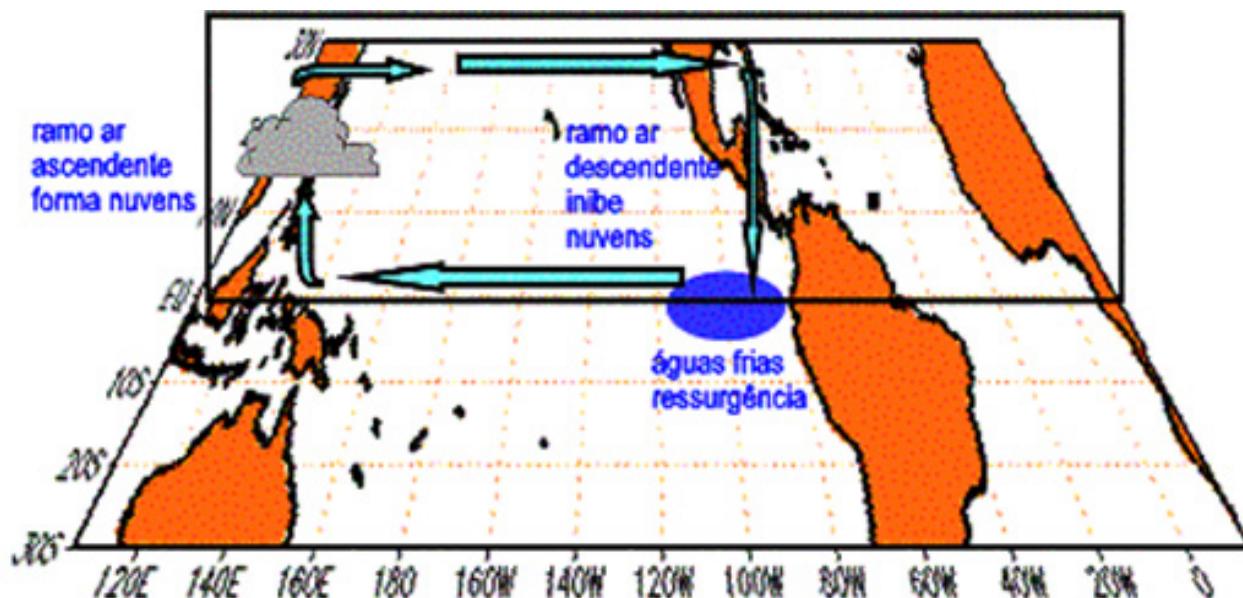
Como no modelo idealizado a formação dessa banda de baixa pressão (ZCIT) resulta do aquecimento solar e da convergência dos alísios. Porém, a ZCIT não é retilínea e nem está localizada sobre o equador. Distorções ocorrem devido a não homogeneidade da terra, com uma tendência que a linha seja “puxada” em direção aos polos sobre a África, América do Sul e Austrália.

A ZCIT é geralmente encontrada ao norte do equador, com um deslocamento mais intenso em julho, faz com que as vastas extensões de terra no hemisfério norte, principalmente na Ásia, se aqueçam, por exemplo, incorporando a baixa asiática a ZCIT. A grande amplitude de movimentação favorece a circulação regional do tipo monção.

Célula de Walker

Na bacia do oceano pacífico, normalmente, as águas são mais aquecidas no setor oeste da bacia (Indonésia) e mais fria no setor leste, em particular próximo a costa oeste da América do Sul. Os ventos próximos a superfície da bacia sopram no sentido leste para oeste da América do Sul. Os ventos próximos a superfície da bacia sopram no sentido leste para oeste, empilhando as águas mais aquecidas do setor oeste.

Figura 4- Célula de Walker em condições Normais.



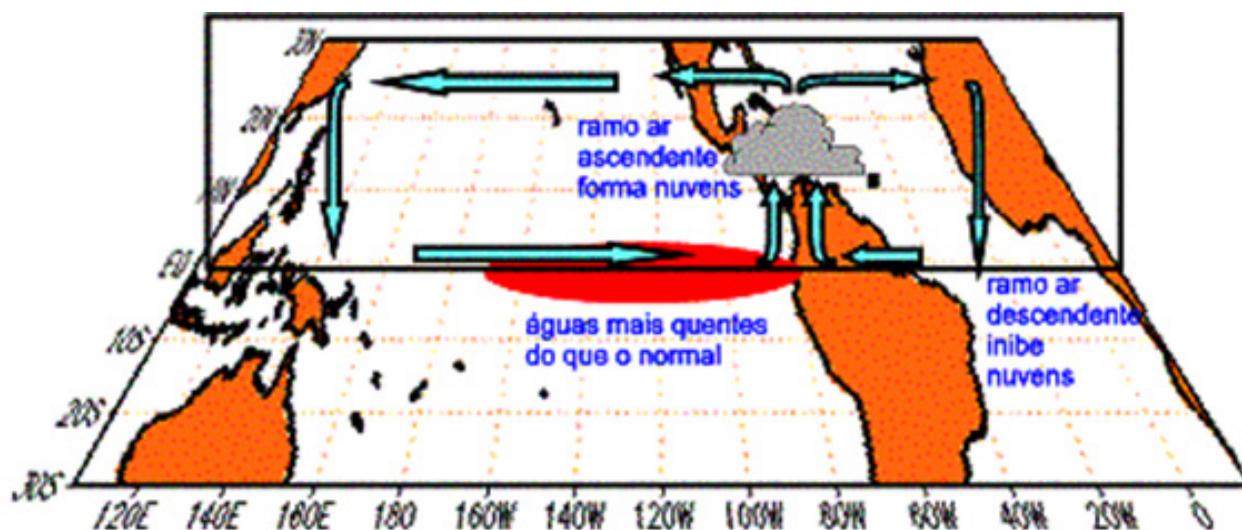
Fonte: http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_chuvas_postos_pluviometricos/totalchuvas/el_nino/infotec/nino.htm

O ar seco varia a aproximadamente 12 km de altura vindo descender próximo à costa do equador e Peru. Essa circulação é chamada de célula de Walker.

El Niño

O El Niño ocorre sobre a região do pacífico centro-leste, incluindo Peru/Equador quando a região do Pacífico encontra-se mais aquecida, observa-se o ramo ascendente (Favorável à formação de nuvens) da célula de walker e, por outro lado, sobre o pacífico da Austrália e também atlântico equatorial incluindo o leste da amazônia e Norte do semiárido do NEB, tem-se consequentemente a inibição da formação de chuva.

Figura 5- Célula de Walker em anos de El Niño.



Fonte: http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_chuvas_postos_pluviometricos/totalchuvas/el_nino/infotec/nino.htm

No caso de anos de La Niña as se resfriam e o comportamento da célula de walker assemelha-se a anos normais.

Saiba mais:

O vídeo a seguir mostra de maneira detalhada o El Niño, Lã Niña e anomalias de TSM no pacífico: <https://www.youtube.com/watch?v=oF4naKtTo6o>

O que aprendemos no módulo?

Nós vimos que o clima depende do balanço de radiação e de como este calor será distribuído na terra num processo chamado de circulação atmosférica.

No próximo módulo iremos observar o comportamento da precipitação na América do Sul associado a alguns fenômenos meteorológicos, a variabilidade climática desta e de outras do ciclo hidrológico. Além disso, iremos abordar conceitos de operação de reservatórios e gestão de recursos hídricos.

Espero que tenham gostado deste módulo, até o próximo!

Referências

1. ALVES, B. C. C.; SOUZA FILHO, F. A.; SILVEIRA, C. S. Análise de tendência e Padrões de Variação das séries históricas de vazões do Operador Nacional de Sistemas(ONS). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, n. 4, p. 19-34, 2013.
2. ANEEL. Banco de Geração de Informações – Capacidade de Geração do Brasil.< <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>>Acesso em 03/04/2011; 2011.
3. GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T.(2006). Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério. São Paulo: Atlas S.A.
4. KABAT, P.; SCHULZE, R.E.; HELLMUTH, M.E.; VERAART, J.A.; ""COPING WITH IMPACTS OF CLIMATE VARIABILITY AND CLIMATE CHANGE IN WATER MANAGEMENT: A SCOPING PAPER" DIALOGUE ON WATER AND CLIMATE, 2002
5. PORTO, R. L. L. et al. (1997) Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
6. SHIKLOMANOV, I. World fresh water resources. GLEICK, P. H. (Ed.). Water in Crisis. A Guide to the World's Fresh Water Resources. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security. Stockholm: Stockholm Environmental Institute, 1998.
7. SILVEIRA, C.S. (2014). Modelagem integrada de meteorologia e recursos hídricos em múltiplas escalas temporais e espaciais: aplicação no Ceará e no setor hidroelétrico brasileiro. Tese de doutorado. Universidade Federal do Ceará., 351p.
8. SOUZA FILHO, F. A.; MOURA, A. D. (2006). Memórias do Seminário Natureza e Sociedade nos Semi-Áridos. 1. ed. Fortaleza: Fortaleza. Banco do Nordeste do Brasil/Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.
1. BANCO MUNDIAL. Relatório sobre o desenvolvimento mundial de 2010: desenvolvimento e mudança climática/ Banco Mundial. São Paulo. São Paulo: UNESP, 2010.
2. CAVALCANTI, A. I. F. et al. Tempo e Clima no Brasil. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
3. HINRICHS, R.; KLEINBACH, M.; REIS, L. Energia e Meio Ambiente. 1.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
4. REBOUÇAS, A.C., BRAGA, B., TUNDISI, J.G. (org.) Águas doces no Brasil – capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999.
5. TUCCI, C.E.M. et al (2003), Clima e Recursos Hídricos no Brasil, ABRH, Porto Alegre.
6. TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. (Coleção ABRH de recursos hídricos, 4).

Módulo 2

Processos Hidrológicos e Gestão de Recursos Hídricos.

Prezado estudante,

Seja bem-vindo ao nosso segundo módulo **Processos Hidrológicos e Gestão de Recursos Hídricos**. Já sabemos que o clima varia em múltiplas escalas temporais (longo, médio, curto e curtíssimo prazo), isto pode condicionar o risco associado à ocorrência de eventos extremos hidrológicos (cheias e secas) para um local ou região.

A variação do escoamento nos rios é influenciada por diversos fatores, entre os quais se destacam a precipitação ocorrida na bacia de contribuição e impermeabilização do solo. Portanto, há necessidade de uma cautelosa análise sobre o regime fluvial e seus padrões de variação temporal, tendo em vista o significativo impacto que estas variações podem produzir na oferta de energia, alimentos e outros fins, e conseqüentemente, em toda a economia nacional. Diante disso, vamos estudar os aspectos associados aos processos hidrológicos e gestão de recursos hídricos.

Bons estudos!

Objetivos

- Conceituar o ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica;
- Entender o valor econômico associado a água;
- Entender as relações de conflitos associados aos usuários de água;
- Compreender as relações entre a operação de reservatórios e a gestão de recursos hídricos.

Tópico 1 - Processos Hidrológicos.

Neste tópico, discutiremos um pouco sobre as questões associadas aos processos hidrológicos. Você já parou para pensar que os processos hidrológicos, como a precipitação e a evapotranspiração estão por toda parte? Que variáveis do ciclo hidrológico são condicionadas pelo clima? Que a precipitação pode variar em diferentes escalas de tempo? Questões como essas mostram a necessidade de estudos sobre os processos hidrológicos, concordam? Então, vamos juntos entender um pouco mais sobre esses questionamentos, para melhorar nossas discussões sobre o assunto, nesse sentido iremos mostrar as variáveis do ciclo hidrológico, destacando a variabilidade da precipitação.

Objetivos

- Entender as variáveis que influenciam os processos hidrológicos;
- Analisar a variabilidade da precipitação;

Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície e a atmosfera, conforme Figura 1. Entretanto à medida que são analisadas áreas menores, como uma bacia, fica mais caracterizado que este é aberto no nível local.

Entre os fatores que contribuem para que haja uma grande variabilidade desse ciclo nas diferentes áreas do globo, tem-se, a não uniformidade com que a energia solar atinge os diversos locais, o diferente comportamento térmico dos continentes em relação aos oceanos; a quantidade de vapor d'água, CO₂ e ozônio na atmosfera; a variabilidade espacial de solos e coberturas vegetais; influência da rotação e inclinação do eixo terrestre na circulação atmosférica etc.

Nesse sentido, o estudo dos processos hidrológicos numa bacia é fundamental já que define a disponibilidade hídrica nesta, servindo para avaliar a necessidade de irrigação, a previsão de enchentes nos rios, a operação de hidrelétricas, o atendimento às demandas para abastecimento etc. Este texto mostra aspectos associados a alguns desses processos, são eles precipitação, a evaporação e transpiração, infiltração e escoamento superficial.

Figura 1 – Ciclo Hidrológico.



Fonte: <http://brasilecola.uol.com.br/biologia/ciclo-agua.htm>

Saiba mais:

O vídeo a seguir mostra de maneira detalhada o ciclo da água:
<https://www.youtube.com/watch?v=vW5-xrV3Bq4>

Precipitação

Entende-se por precipitação toda transferência de umidade da atmosfera para a superfície terrestre. A chuva é a precipitação na forma líquida com gotas maiores que 0,5mm.

Saiba mais:

O vídeo a seguir mostra como se formam as nuvens e destaca alguns dos aspectos até ocorrer precipitação: <https://www.youtube.com/watch?v=YSCTgsE4dsc>

Classificação da Precipitação

A ocorrência de precipitação está geralmente relacionada à ascensão de ar úmido (ar contendo vapor d'água), após o qual se dá o processo de condensação sobre os núcleos e o crescimento das gotas. Contudo, não devemos esquecer que há diferentes mecanismos que causam a referida ascensão. Conforme estes tipos de mecanismos as precipitações são classificadas em:

Convectivas: A ascensão do ar úmido e quente decorrente de uma elevação excessiva de temperatura; como o ar quente é menos denso, ocorre uma brusca ascensão deste que, ao subir, sofre um resfriamento rápido, gerando precipitações intensas com pequena duração, ocorrem principalmente em regiões equatoriais.

Orográficas: A ascensão do ar quente e úmido, proveniente do oceano ocorre devido a obstáculos orográficos, como montanhas e serras; ao subir, ocorre o resfriamento e em seguida a precipitação. Como as montanhas constituem um obstáculo à passagem do ar úmido, normalmente existem áreas ao lado oposto caracterizadas por baixos índices de precipitação.

Frontais: Neste tipo de precipitação a ascensão do ar decorre do encontro de massas de ar frias e quentes; como resultado, o ar mais quente e úmido sofre ascensão, resfria-se e ocorre a precipitação caracterizada por longa duração e intensidade média, cobrindo grandes áreas.

Variação espacial e temporal das chuvas na América do Sul

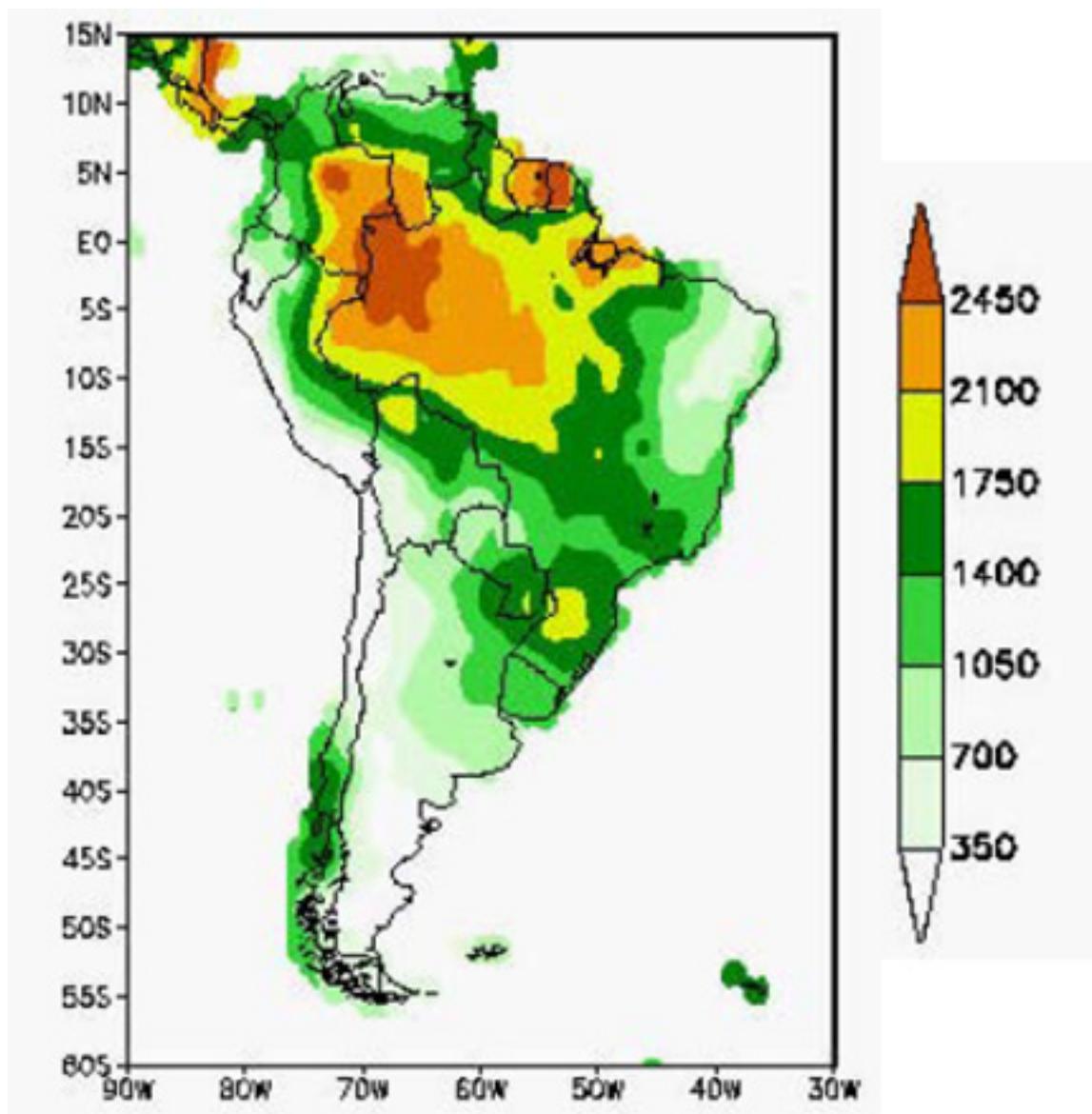
As chuvas apresentam significativas variações espaciais e temporais. Conforme vimos no módulo 1 o clima varia em escala sazonal, interanual, decadal etc. Sendo assim, a variação espacial das chuvas médias está associada a efeitos locais e de grande escala.

Diferentes sistemas atmosféricos causam precipitação sobre a América do Sul e provocam a **variabilidade sazonal** da precipitação. Estes sistemas são associados a padrões locais de topografia, regionais de vegetação, interação solo-atmosfera e de configuração da grade-regional escala do escoamento atmosférico. Como exemplo tem-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de convergência do atlântico sul (ZCAS), que condicionam a chuva na maior parte do território brasileiro.

A superfície não homogênea e a grande extensão territorial da América do Sul possibilita o desenvolvimento e atuação de vários sistemas meteorológicos, que levam a alta variabilidade espacial e temporal da precipitação sobre o continente (REBOITA et al., 2010).

Os acumulados anuais de precipitação têm valores distintos ao longo do continente, em que extremos são encontrados em mesmas latitudes, como por exemplo, sobre a região da Amazônia ocidental, com 2400 mm/ano, e o sertão nordestino, apresentando cerca menos de 700 mm/ano (Figura 1). Mínimos de precipitação anual também são encontrados no extremo sul da América do Sul, norte do Chile e centro-oeste da Argentina. A região Sul do Brasil e leste do Paraguai formam outro máximo de precipitação formando uma das principais bacias de hidrográficas do País, a bacia do Prata.

Figura 1 - Precipitação média anual (mm) calculada entre 1979-1995.



Fonte: Shi et al. (2000).

Uma grande parte da variabilidade interanual do clima e das variáveis hidrológicas sobre a América do Sul é modulado pela combinação das circulações atmosféricas induzidas pelas distribuições espaciais de TSM sobre os Oceanos Pacífico equatorial e Atlântico. Seus

comportamentos afetam o posicionamento latitudinal da ZCIT sobre o Atlântico, influenciando a distribuição da precipitação América do Sul. As condições do dipolo do atlântico e aquecimento (El Nino) ou resfriamento (La Nina) das águas do pacífico podem condicionar os campos de precipitação. Caracteristicamente em anos de El Nino normalmente ocorre menos precipitação no Nordeste do Brasil e o anos se apresentam mais chuvosos no Sul do País.

O principal sistema meteorológico atuante na região do Atlântico equatorial é a ZCIT. Este fenômeno atmosférico é caracterizado pela convergência dos alísios e a convergência de massa, além da região de baixa pressão equatorial, com marcha latitudinal durante o ano alcançando 13ºN em meados de setembro e 2ºS em março e abril. A ZCIT tem papel importante sobre a estação chuvosa sobre o norte do Nordeste do Brasil e América do Sul, onde altos acumulados de precipitação são observados em anos que a ZCIT tem maior deslocamento para o sul. Sobre o Nordeste do Brasil também existe a atuação de vórtices ciclônicos na alta troposfera além de incursão de distúrbios de leste oriundos do Atlântico tropical leste.

A parte tropical e subtropical da América do Sul, principalmente, as regiões Centro Oeste e Sudeste do Brasil, sobre o norte da Argentina e sobre o Paraguai apresentam um regime bem definido de precipitação, em que a pico de precipitação sobre a faixa noroeste sudeste sobre o continente se encontra entre outubro e fevereiro. Os principais sistemas meteorológicos atuantes que caracterizam os grandes acumulados de precipitação são Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Os **CCM** são originados pela convecção local devido à variação diurna, além de condições favoráveis a manutenção e desenvolvimento do movimento convectivo como topografia e fonte de calor e umidade, sendo observados com ciclos de vida de alguns dias. Estes CCM são encontrados na região tropical sobre o noroeste da bacia amazônica e também são encontrados a sota-vento dos Andes durante a primavera e verão.

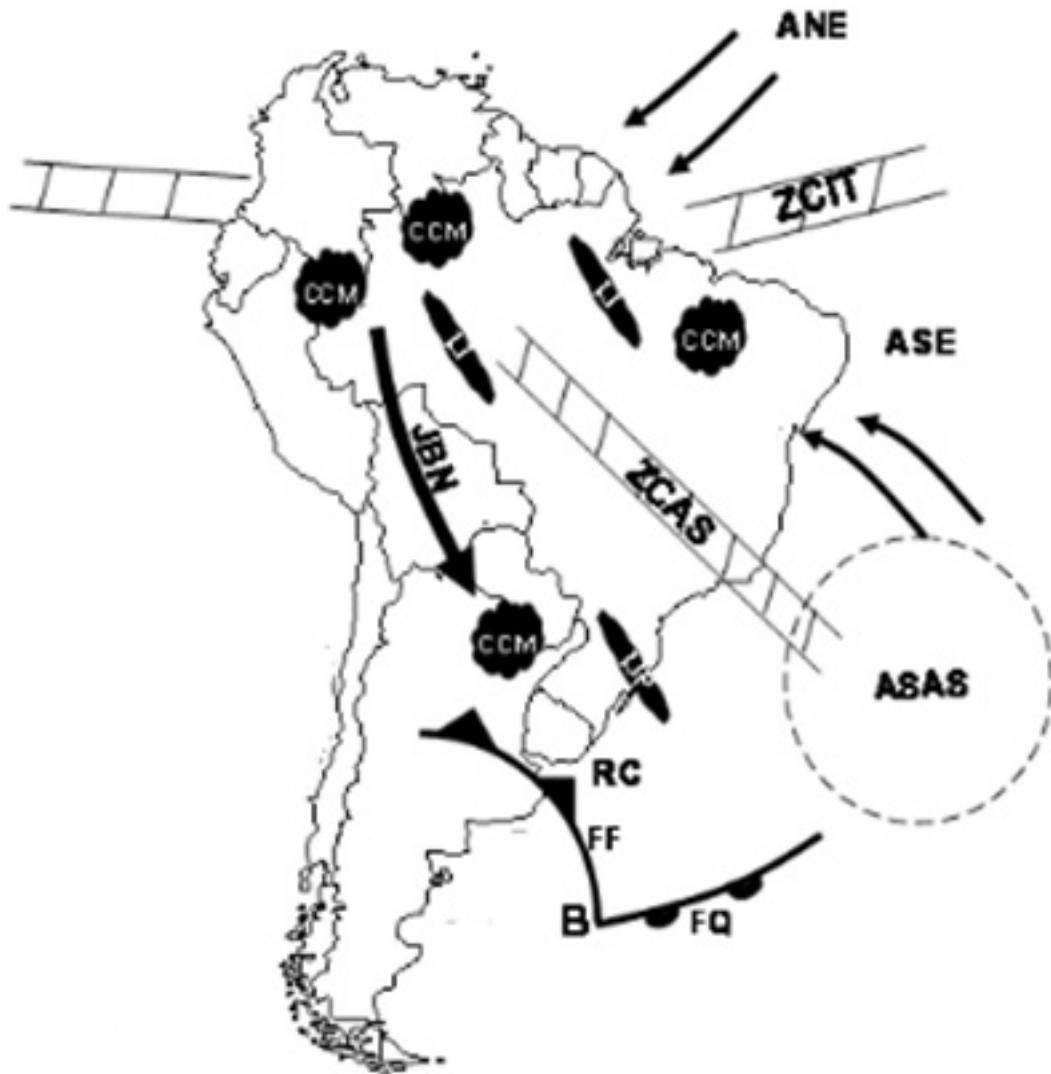
A **ZCAS** é um escoamento convergente de umidade e massa na baixa troposfera, sendo considerado um sistema típico do verão da América do Sul e principal agente para da estação chuvosa do Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Mesmo com a grande variabilidade espacial da ZCAS, este sistema tem características médias bem conhecidas, contudo a falta sua atuação regular nos últimos anos tem trazido problemas de armazenamento das reservas hídricas da região Sudeste do Brasil.

O Sudeste da América do Sul e sul do Brasil são regiões afetadas por **Frentes Frias** (FF) durante todo o ano. As incursões das FF durante o inverno podem chegar a latitudes mais baixas, com, por exemplo, o oeste da Amazônia e também ao longo da costa do Nordeste. Durante o verão as FF tem posicionamento preferencial entre o litoral paulista e sul da Bahia e quando estas estão associadas com transporte de umidade oriundas da Amazônia se tornam estacionárias e provocam períodos de chuva intensa na região climatológica da ZCAS.

Saiba mais:

O clima na América do Sul é bem complexo, diversos sistemas meteorológicos atuam proporcionando chuva na região, conforme o sugere o texto de Reboita et al. (2010): <https://www.ige.unicamp.br/terraeducativa/v8-1/pdf81/s3.pdf> os autores descrevem de forma detalhadas estes sistemas.

Figura 2 – Conjunto de sistemas meteorológicos em baixos níveis atuantes na América do Sul e suas posições de atuação.



Fonte: Adaptado de Satyarmurty et al. (1998).

As siglas significam: ZCIT – zona de convergência Intertropical, ZCAS – zona de convergência do Atlântico Sul, CCM – Complexo Convectivo de Mesoescala, FF – Frente Fria, FQ - Frente Quente, ANE – Alísios de nordeste, ASE – Alísios de sudeste, ASAS – Alta Subtropical da América do Sul, JBN – Jato de Baixo Nível.

Há ainda registro de variabilidade decadal da TSM nos oceanos que superpõe o sinal interanual, por exemplo, a ODP (Oscilação Decadal do Pacífico, sinal de variabilidade da TSM do pacífico na escala decadal) apresenta duas fases: na fase negativa da ODP as características são anomalias negativas de temperatura na superfície do mar (TSM) no Pacífico, e a tendência é que ocorra um maior número de episódios de La Niña que tendem a ser mais intensos. Ao mesmo tempo se dá uma menor frequência de eventos do El Niño que tendem a ser curtos e rápidos. Já na fase positiva da ODP, a tendência é de um maior número de episódios do El Niño que tendem a ser mais intensos. Em contrapartida, se registra um menor número de La Niña e que

tendem a ser menos expressivos. Essa variabilidade pode condicionar os valores de vazões e precipitações na escala de décadas.

Evapotranspiração

Você sabia que o retorno da água precipitada para a atmosfera fechando o ciclo hidrológico ocorre através do processo de evapotranspiração? O ciclo hidrológico é mesmo incrível!

A evapotranspiração é o conjunto de dois processos: evaporação e transpiração. Evaporação é o processo de transferência de água líquida para vapor do ar, diretamente de superfícies líquidas, como lagos, rios, reservatórios, poças e gotas de orvalho. A água que umedece o solo que está em estado líquido, também pode ser transferida para a atmosfera diretamente por evaporação. Já a transpiração envolve a retirada da água do solo pelas raízes das plantas, o transporte de água através da planta até as folhas e a passagem da água para a atmosfera através dos estômatos das folhas.

A intensidade do fluxo de evapotranspiração de uma área de vegetação depende de fatores atmosféricos e da disponibilidade de água. Entre os fatores atmosféricos, destacam-se a radiação solar, a temperatura do ar, a velocidade do vento e a umidade relativa do ar. Além disso, tem-se o tipo de vegetação e o tipo de solo.

De forma geral, quanto maior a energia recebida pela água líquida, tanto maior é a taxa de evaporação. Da mesma forma, quanto mais baixa a concentração de vapor no ar acima da superfície, maior a taxa de evapotranspiração.

Evapotranspiração Potencial x Real

A evapotranspiração potencial (ETP) é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo, de uma superfície extensa e completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água

Enquanto a evapotranspiração real é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais de fatores atmosféricos e umidade do solo. Logo a evapotranspiração real é igual ou menor que a potencial.

Infiltração

A infiltração é penetração da água no solo através de sua superfície. Taxa de infiltração é a taxa máxima que um solo é capaz de absorver água, sob uma dada condição. Geralmente é expressa em mm/h.

Os fatores intervenientes no processo de infiltração:

* **Tipo de solo** – A capacidade de infiltração varia diretamente com a porosidade e com o tamanho das partículas do solo.

- **Umidade do solo** – Quando a água é aplicada em um solo seco, não há movimento descendente dessa água até que as partículas do solo estejam envolvidas por uma fina película d'água. As forças de atração molecular e capilar fazem com que a capacidade de infiltração (fp) inicial de um solo seco seja muito alta.
- **Vegetação** – Uma cobertura vegetal densa como grama ou floresta tende a promover maiores valores de fp, devido ao sistema radicular que proporciona a formação de pequenos túneis e que retira umidade do solo através da transpiração, e à cobertura vegetal que previne a compactação do solo.
- **Compactação** – solos nus podem se tornar parcialmente impermeáveis pela ação compactadora das grandes gotas de chuva (que também preenchem os vazios do solo com material fino), e pela ação do tráfego constante de homens, veículos ou animais.
- **Altura da retenção superficial e espessura da camada saturada** – a água penetra no solo sob a ação da gravidade, escoando nos canalículos formados pelos interstícios das partículas.

Escoamento superficial e difuso

O escoamento superficial ou vazão consiste no fluxo sobre as encostas e canais (rios, riachos etc) devido ao gradiente de energia potencial gravitacional. Neste processo a energia de posição é dissipada em sua maior parte em calor nos turbilhões do escoamento turbulento dos canais. A encosta caracteriza-se pela não configuração de canais de escoamento.

Durante o escoamento dois efeitos se superpõem o de translação da água ao escoar pelas encostas e canais fluviais e o da difusão (armazenamento) desta água na encosta e nos canais fluviais. A superposição destes dois efeitos caracterizam o escoamento superficial em uma bacia.

A formação do escoamento superficial pode ser explicado por duas teorias a Hortoniana e da saturação da encosta.

A teoria Hortoniana prevê a formação de escoamento superficial na encosta quando a intensidade de chuva supera a taxa de infiltração. O escoamento de saturação da encosta consiste na saturação da superfície do solo pelo afloramento do nível freático.

O escoamento no canal fluvial ocorre devido a contribuição do escoamento superficial direto, subsuperficial e subterrâneo. O escoamento de base é a contribuição subterrâneo para o canal fluvial. O escoamento de base é que define se um rio é efêmero (cessou de escoar tão logo a chuva finde), intermitentes (escoam durante a período de chuvas e não escoam na seca) e permanentes (escoam durante todo o ano).

O que aprendemos? O que iremos aprender?

Neste tópico vimos os diferentes processos hidrológicos e os fatores que influenciam os mesmos. Destacamos, especialmente, os padrões espaciais e temporais de precipitação na América do Sul. Espero que tenha gostado!

No tópico seguinte mostraremos a relação entre a gestão de recursos e estes processos hidrológicos, destacando a necessidade da gestão adaptativa em recursos atrelada a variabilidade climática. Até o próximo módulo, conto com vocês!

Tópico 2 - Gestão de Recursos Hídricos e Operação de Reservatórios

No tópico anterior aprendemos um pouco sobre processos hidrológicos, vimos um pouco sobre os processos hidrológicos que regem o ciclo da água. Neste tópico iremos relacionar a gestão de recursos hídricos operação de reservatórios e os fenômenos climáticos. Espero que gostem e boa leitura.

Objetivo:

- Relacionar a gestão de recursos hídricos com clima

Saiba mais:

O vídeo a seguir mostra de maneira aspectos da lei das águas:
<https://www.youtube.com/watch?v=bH08pGb50-k>

Uso de Reservatórios de Acumulação para Gestão de Recursos Hídricos

Você já deve ter assistido noticiários divulgando enchentes e inundações ou os problemas ocasionados pela crise hídrica em algumas regiões do país. Observamos que as duas situações ocasionam grandes prejuízos as comunidades envolvidas.

Percebemos que a variabilidade temporal das chuvas resulta na variabilidade da vazão nos rios. Em consequência, surgem situações de déficit hídrico natural, quando a vazão do curso d'água é inferior à necessária para o atendimento de determinados usos, ou situações onde o excesso de vazão produz enchentes e inundações.

Como ferramenta de gestão de recursos hídricos na busca de reduzir a variabilidade temporal da vazão e a sua regularização, recorre-se a construção do reservatório de acumulação de água. Para compensar as deficiências hídricas dos períodos de estiagem, o reservatório acumula parte das águas nos períodos chuvosos exercendo, assim, um efeito regularizador das vazões naturais. A técnica de regularização das vazões naturais é, neste caso, um procedimento que visa a melhor utilização dos recursos hídricos superficiais. De outro modo, nos períodos chuvosos, o reservatório poderá produzir o amortecimento das ondas de cheia, proporcionando uma proteção para as áreas situadas a jusante do barramento.

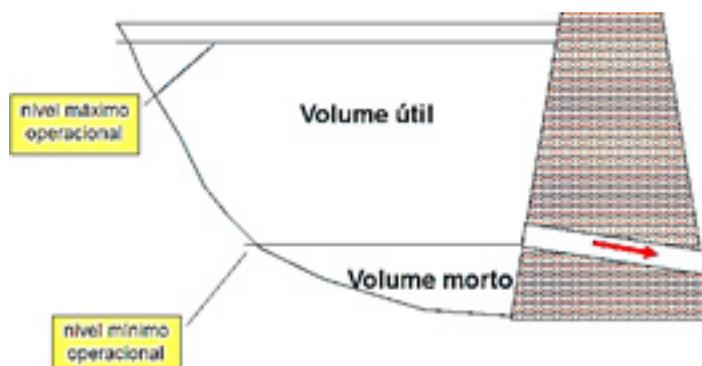
Características dos Reservatórios

Em geral os reservatórios são formados por meio de barragens implantadas nos cursos d'água. Suas características físicas, especialmente a capacidade de armazenamento, dependem das características topográficas do vale em que estão inseridos.

No quadro a seguir e na Figura 1, veremos que um reservatório pode ser descrito por seus níveis e volumes característicos:

| NÍVEL | VOLUME |
|--|--|
| Nível máximo operacional: Corresponde à cota máxima permitida para operações normais no reservatório. Níveis superiores a este podem ocorrer em situações extraordinárias, mas comprometem a segurança da barragem. O nível máximo operacional define o volume máximo do reservatório. | Volume morto: É a parcela de volume do reservatório que não está disponível para uso |
| Nível mínimo operacional: A cota mínima de operações normais do reservatório. | Volume útil: A diferença entre o volume máximo de um reservatório e o volume morto é o volume útil, ou seja, a parcela do volume que pode ser efetivamente utilizada para regularização de vazão. |

Figura 1- Estruturas de um reservatório em termos de volume de acumulação.



Outras características importantes são as estruturas de saída de água, eclusas para navegação, escadas de peixes, tomadas de água para irrigação ou para abastecimento, e eventuais estruturas de aproveitamento para lazer e recreação. Além disso, tem-se os vertedores que são o principal tipo de estrutura de saída de água. Os vertedores são dimensionados para permitir a passagem de uma cheia rara (alto tempo de retorno) com segurança.

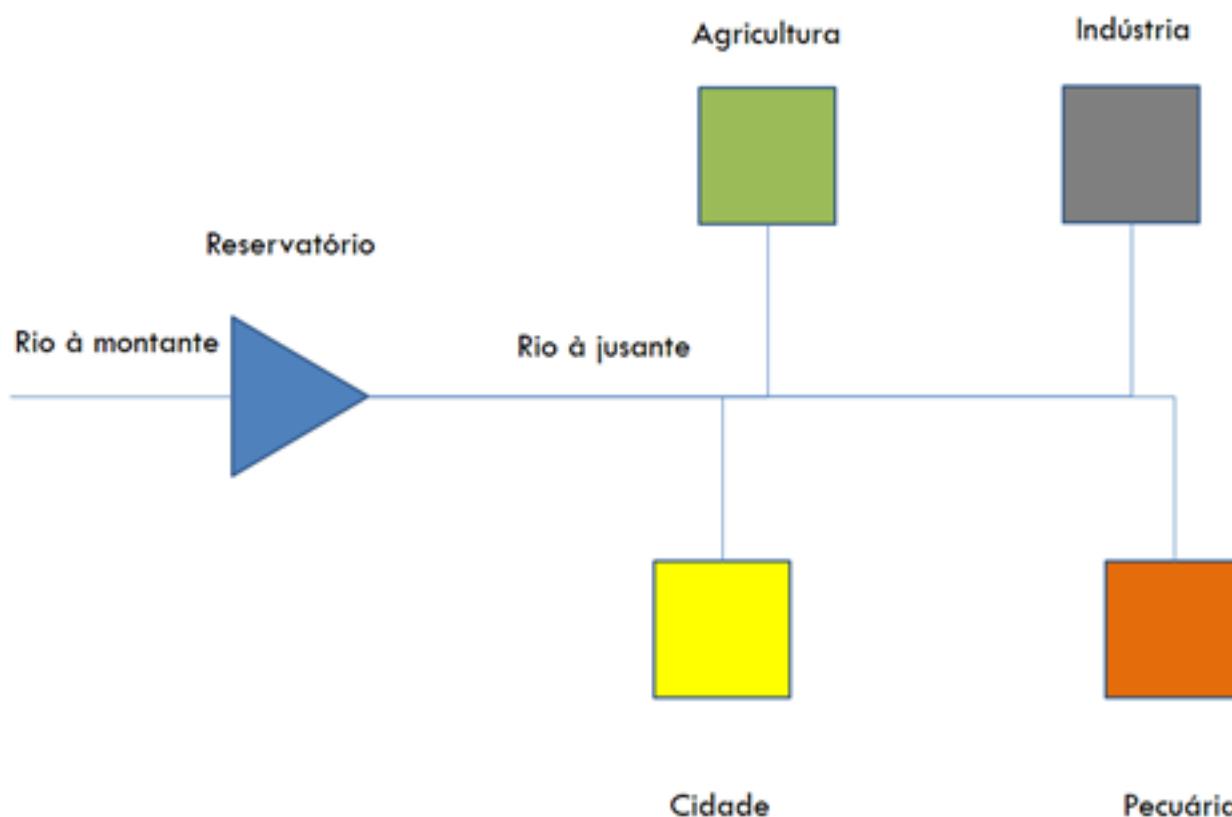
Operação de reservatórios como ferramenta de planejamento e gestão de recursos hídricos

Agora que já conversamos um pouco sobre os reservatórios, vamos entender como são utilizados como ferramenta de tomada de decisões em sistemas de recursos hídricos deve considerar aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais, mutáveis no tempo e associados a incertezas de difícil quantificação (como o clima). Observamos que a medida que as demandas de água crescem acirram-se os conflitos e disputas pelo recurso e os sistemas tendem a se tornar mais complexos. Esses conflitos de uso das águas podem ser de destinação de uso, disponibilidade qualitativa e disponibilidade quantitativa.

O uso múltiplo das águas é uma opção que visa integrar os usuários e prover segurança hídrica, ou seja, acesso regular e permanente à água em quantidade e qualidade adequadas para o uso das populações humanas, uso na produção e pelos ecossistemas.

Nesse sentido, a operação de reservatórios é fundamental, já que a disponibilidade está associada a liberação ou armazenamento de água no reservatório, na figura 2 a seguir, podemos identificar um exemplo dessa complexidade, vários usuários a jusante do reservatório disputando pela água. Observe que para o gestor este é um processo de tomada de decisão sob incerteza que envolve diversos agentes (econômicos, sociais e políticos), sendo uma etapa importante para a gestão de recursos hídricos.

Figura 2- Reservatório que abastece múltiplos usuários.



Não esqueça que existem diferentes regras de operação de reservatórios, mas todas usam como variável de decisão o volume do reservatório ou a vazão defluente que se pretende atingir em determinados períodos de tempo como o diário, semanal ou mensal.

Água, Energia e Clima: Setor Elétrico Brasileiro

O setor elétrico brasileiro é formado por diversas hidrelétricas, entre outras fontes, que apresentam reservatórios de acumulação de água, a energia produzida é função da eficiência de cada turbina e da chamada altura líquida (que tem relação com diferença da cota de montante e jusante), ou seja, depende grandemente da operação e gestão dos reservatórios.

Como as hidrelétricas correspondem a maior porcentagem de geração de energia o planejamento e a geração eletroenergética do setor elétrico brasileiro apresentam correlação com os estoques de água existentes nos reservatórios das usinas hidrelétricas e as suas afluições. Sobretudo, em período críticos, com reservatórios com baixos volumes, são acionadas termoelétricas de emergência para suprir a demanda energética do país. As térmicas no Brasil acabam por funcionar como reservatórios virtuais ao proporcionar segurança de abastecimento quando os reservatórios estão vazios e ao aliviar a necessidade de estocar água para lidar com a incerteza das afluições.

O **processo de planejamento** da expansão do sistema elétrico brasileiro é composto, dentre outras atividades, por simulações computacionais de configurações futuras do sistema de energia elétrica. Nestas simulações se busca localizar e mensurar necessidades elétricas e energéticas futuras, bem como ajuste de cronogramas de entrada de empreendimentos de geração, entre outros. Tais ajustes são realizados seguindo critérios que visam, principalmente, a segurança do suprimento e a minimização de custos de investimento e operação.

O gestor da água dos reservatórios precisa definir em relação a liberação ou acumulação de água, a liberação visa atender os usuários do período atual com premissa de que o reservatório receberá água suficiente para atender demandas primárias em um futuro próximo. O não atendimento no futuro das demandas na bacia pode levar a crises hídricas, como as ocorridas no Cantareira em 2015 e todo o Nordeste do Brasil em 2017.

Já acumulação de água nos reservatórios no presente visa atender demandas futuras na bacia, com a premissa de pouca recarga do reservatório (baixos índices pluviométricos). O dilema da operação é mostrada na Figura 3.

Figura 3- Dilema do operador Setor elétrico.



Fonte: https://media.licdn.com/mpr/mpr/shrinknp_800_800/AEAAQAAAAAAGGAAAAJGQwYmRjNTkzLWJkYWEtNDhkNi1hMDdkLWRkZjAwY2M1MTg0Mw.jpg

Historicamente observamos que as ações com relação a seca ocorrem exclusivamente como reação a ocorrência de uma determinada seca, este processo leva a aumento de custos e do impacto das secas. No âmbito do setor público a seca só entra na agenda dos tomadores de decisão quando a seca ocorre, finda a seca o tema sai da agenda. Este fato impõe ineficiências importantes nas ações relacionadas as secas, por não haver um planejamento prévio para estabelecer iniciativas e ações direcionados as regiões mais afetadas pelas questões climáticas.

O Planejamento é o instrumento para se romper com esse ciclo baseado na gestão reativa, por ser um processo onde estabelece-se objetivos e os caminhos a serem seguidos. Perceba que a partir do planejamento surge a necessidade de instituir um plano para alcançar o objetivo estabelecido.

No âmbito da gestão das secas percebemos planos direcionados para **Gestão de Crise**, **Gestão de Risco** e **Gestão Proativa**. Os planos de seca na abordagem de **Gestão de Crises** têm um caráter reativo e definem ações de **Resposta e Recuperação** a serem realizadas pelos diversos agentes sociais **DURANTE** uma seca. Os planos na abordagem de **Gestão de Riscos** preveem **ANTERIOR E DURANTE** a seca contemplando ações de **Mitigação, Preparação, Monitoramento e Aviso Precoce, Resposta e Recuperação**.

A pergunta que divide estes dois tipos de plano é o que se faz quando não há seca?

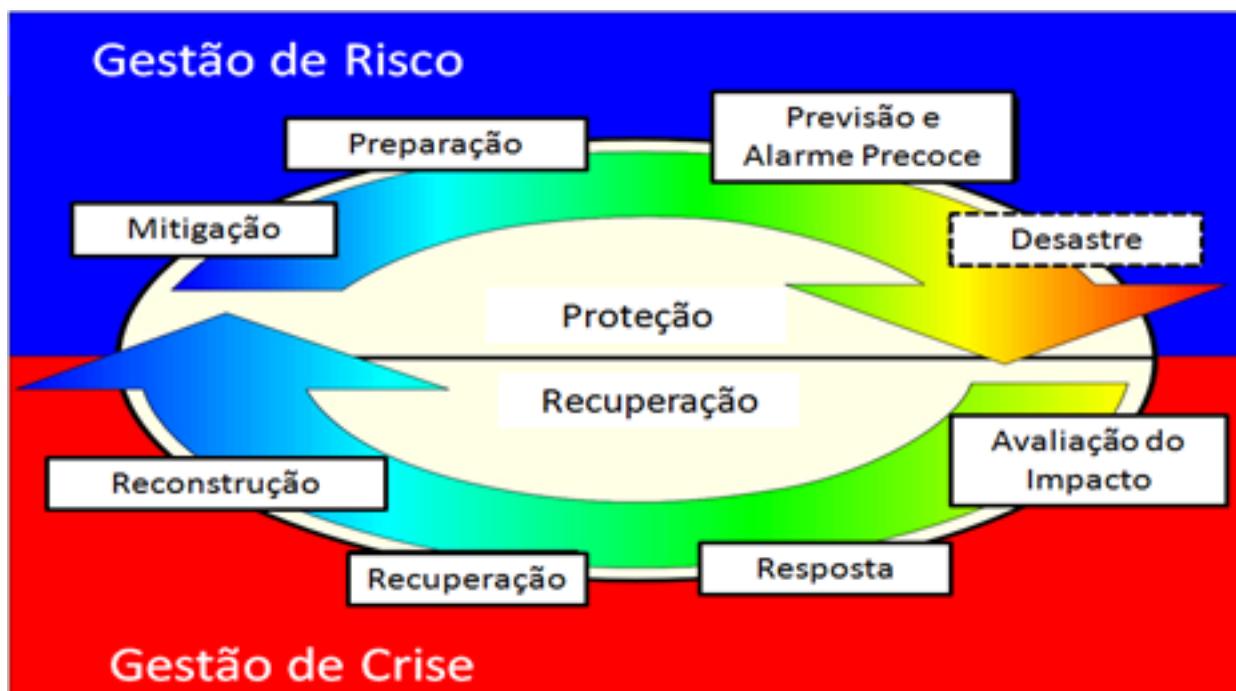
No contexto de uma **Gestão Proativa** da seca significa **tratar as vulnerabilidades**, e não os sintomas, a partir de mecanismos para melhor monitorar e antecipar eventos de seca, orientando, assim, as medidas de preparação e alívio aos efeitos da seca visando uma maior eficiência, objetividade e eficácia em sua implementação. Tais medidas destinam-se a aumentar a **resiliência** à seca, através de três conjuntos de ações ou pilares: (1) Monitoramento robusto e previsão/alerta precoce; (2) melhor compreensão das vulnerabilidades/resiliência e impactos; e (3) um planejamento da resposta mais coordenado e sistemático, além do desenvolvimento de uma estratégia de mitigação de longo prazo.

O Planejamento deve ser integrado dentro de uma visão de gerenciamento do risco de secas como mostrado na Figura 4. O desejável é o processo contínuo do planejamento. A preservação da memória sobre as secas e a preservação de organizações e estratégias eficientes deve constituir o ciclo de gestão de secas.

Veja que a gestão da seca em seu sentido mais amplo deve integrar:

- (I) o planejamento geral dos sistemas de água com ações para garantir o equilíbrio entre a disponibilidade e a demanda em horizontes futuros;
- (II) regras de operação dos sistemas hídricos em condições normais e regras para cenários futuros de seca;
- (III) estratégias de gestão e resolução de cenários operacionais para mitigar as condições de seca.

Figura 4- Ciclo de Gestão do Risco de Secas proposto pelo National Drought Mitigation Center, USA.



É importante que você saiba que as estratégias e ações objeto do planejamento definirão ações a serem realizadas no período que antecede a seca e durante a seca. As medidas devem ser compatíveis com a severidade da seca, conforme sugere Figura 5, que de forma mais específica podem ser descritas como:

- Normal: as demandas são supridas sem nenhum tipo de restrição.
- Alerta: preparação administrativa e operacional para o início efetivo da seca operacional.
- Conservação (Reduções): reduzindo o consumo por meio de incentivos econômicos e campanhas de conservação da água, assim como, incremento de recursos financeiros para ampliação da oferta hídrica e redução de perdas.
- Restrições: redução física do consumo para o reforço das medidas de execução de impacto socioeconômico mais elevado.
- Emergência: grande gravidade com impactos severos, medidas de alto custo social e econômico-financeiro para evitar o colapso total do sistema.

As medidas serão executadas conforme a severidade da seca caracterizada através do Estado da Seca. Estes estados da seca são definidos a partir de indicadores baseados na em variável meteorológica (precipitação, evaporação), hidrológica (vazão) ou alguma característica do hidrossistema (estoques de água).

Figura 5- Zonas de Operação do reservatório.



Alocação da Água

A alocação de água refere às regras e aos procedimentos por meio dos quais a distribuição da água é decidida para uso individual ou coletivo, em relação à sua disponibilidade e configura-se como uma tomada de decisão no gerenciamento de recursos hídricos. É um processo que, em muitas vezes, tende a ser marcado por conflitos em virtude da escassez do próprio recurso (em termos de quantidade, qualidade, tempo de disponibilidade ou confiabilidade). A seguir vamos fazer uma breve abordagem dos tipos de alocação da água.

Saiba mais:

O vídeo a seguir mostra aspectos sobre a outorga:
<https://www.youtube.com/watch?v=FsgkXCf3bic>

Alocação de Curto Prazo

Devido à maior prioridade de uso do abastecimento humano (urbano) e as secas persistentes adota-se na operação de curto prazo operação com salvaguardas. Isto é, impõe-se o racionamento para alguns usos antes do reservatório entrar próximo do colapso.

Constitui-se pela redução das retiradas (acionamento de água) antes do reservatório chegar a níveis mais baixos. A operação com salvaguardas é a realizada na alocação negociada. Neste processo a decisão é qual fração de racionamento será realizada naquele ano, sendo esta uma das flexibilidades do modelo de operação. O volume disponível no reservatório deve satisfazer a demanda urbana de 18 meses ou 30 meses e a disponibilidade remanescentes é alocada para a irrigação e demais usos. Vemos que esta é uma operação com salvaguardas que resguarda o abastecimento urbano.

Alocação de Longo Prazo e a Variabilidade Climática

O planejamento de longo prazo em recursos hídricos, atualmente, é baseado na estacionariedade das séries temporais. O dimensionamento de obras hidráulicas e o aproveitamento dos recursos hídricos são projetados e operados a partir da hipótese da estacionariedade estatística de séries históricas. Entretanto, reconhecemos que essa suposição pode ser invalidada pelas mudanças climáticas, pela variabilidade climática de baixa frequência e pelas mudanças no uso do solo.

A não-estacionariedade das séries históricas requer, portanto, estratégias de adaptação e gestão de risco mais robustas.

Um exemplo de uso da estacionariedade é o valor máximo outorgável para longos períodos, a política de recursos hídricos utiliza como critério de definição do volume outorgável (alocável no longo prazo) vazões de referência com certa garantia como 90%. Nesta abordagem os períodos de ano consecutivos secos devem apresentar-se com frequência. Esta abordagem procura reduzir catástrofes econômicas e sociais de grandes demandas instaladas sem ter suprimento por longos períodos. No entanto tem como efeito colateral a perda das oportunidades nos períodos úmidos. Sendo este o dilema associado à variabilidade decadal.

Perceba que diferentemente da variabilidade interanual os estoques de água não conseguem mitigar este tipo de variação devido ao longo período de exposição das superfícies de lagos com grande volume de água expostas ao efeito da evaporação, isto é, a evaporação secaria os lagos antes da década seca. Para variabilidade decadal a infraestrutura hídrica capaz de mitigar o seu efeito é a transposições de sistemas com diferente padrão de ocorrência climática (se disponíveis e viáveis), a gerenciar a demanda e os conflitos são frequentemente as ferramentas mais relevantes para lidar com este modo de variação.

Gestão Adaptativa para a Segurança Hídrica

Os modos de variação do clima exigem que a gestão de recursos hídricos seja operada em três dimensões: gestão da oferta, gestão da demanda e gestão de conflitos. A gestão da oferta contempla o dimensionamento, operação e manutenção da infraestrutura hídrica, sendo a segurança (hidrológica, hidráulica, estrutural, geotécnica...) desta infraestrutura aspecto essencial. Gestão da demanda consiste em todas as ações relacionadas aos usos econômicos e sociais da água e a sustentabilidade ambiental. Aspectos como conservação da água (uso racional) e flexibilidade dos usos são dimensões relevantes. A gestão da demanda é realizada através de instrumentos como outorga, cobrança entre outros. A Gestão de Conflito pelos usos da água tem sua necessidade em decorrência da escassez relativa dos recursos hídricos. Esta escassez impõe a necessidade de alocar a água entre os diferentes usos potenciais ou efetivos, este fato está associado a disputas de interesses conflitantes que necessitam ser administrados; para tanto faz-se necessário arcabouço político/jurídico/institucional adequado.

A Gestão de Recursos Hídricos deve contemplar visões, estratégias, métodos, políticas, instituições e arcabouço legal que possibilite sua eficácia em um Cenário de Riscos/Incertezas. Nestas condições o conceito de Segurança Hídrica em associação direta com as ideias de previsão/controle/garantia necessita ser revisitado sob a mediação do seu par dialético Gestão

de Risco em associação direta com as ideias incerteza/adaptação/risco de falha. A Gestão Integrada dos Recursos Hídricos para este fim tem que ser definida no contexto da Gestão Adaptativa dos Recursos hídricos. Os instrumentos de gestão notadamente os definidos na Lei 9433-97 necessitam encontrar configurações que possibilitem o pleno desenvolvimento da Gestão Adaptativa dos Recursos hídricos.

As Perspectivas da Gestão de Recursos Hídricos Frente ao Clima

As incertezas advindas da grande variabilidade dos cenários e a variabilidade climática na escala interanual e multidecadal impõem estratégias de adaptação e gestão de riscos em recursos hídricos. As atuais práticas de gestão de água provavelmente serão insuficientes para reduzir os impactos negativos da mudança climática sobre a garantia de abastecimento de água, risco de inundação, saúde, energia, e dos ecossistemas aquáticos. A incorporação de estratégias de gestão dos recursos hídricos relacionadas à variabilidade climática atual faria a adaptação à mudança do clima futuro mais fácil.

Neste contexto, as pesquisas sobre clima têm uma dupla tarefa: (i) aumentar a compreensão do sistema climático; (ii) articular e se possível quantificar as incertezas associadas com vistas a instrumentalizar de forma adequada as estratégias de adaptação e gestão do risco. O setor de recursos hídricos tem que aprimorar seus métodos e práticas para melhor enfrentar os desafios de um mundo em mudança. No qual as variáveis hidrológicas não podem mais ser consideradas estacionárias. Independente das incertezas envolvidas na mensuração dos impactos da mudança climática futura sobre o regime hídrico, a escassez de recursos financeiros e a existência de áreas atualmente deficitárias na implementação da gestão dos recursos hídricos indicam a necessidade de se adotar medidas de adaptação “sem arrependimento” (no regrets), que são aquelas dirigidas à solução de problemas associados à variabilidade climática existente enquanto, ao mesmo tempo, aumentam a resiliência aos efeitos de uma possível mudança climática. Ou seja, enfrentando-se os problemas atuais, aumentar-se-á a capacidade da sociedade e da economia de lidar com as alterações esperadas.

As implicações da variabilidade e alterações climáticas não têm sido integralmente consideradas nas políticas de recursos hídricos e nos processos de tomada de decisões. Isto é particularmente verdadeiro nos países em desenvolvimento, onde os recursos financeiros, impactos humanos e ecológicos são potencialmente maiores e onde os recursos hídricos já podem estar em situação de grande estresse, associado à pequena capacidade de se enfrentar e se adaptar as mudanças.

O Brasil é um país que tem sua economia e populações humanas significativamente condicionadas pelo clima; sendo conseqüentemente sensível às mudanças climáticas. A economia fortemente dependente de recurso natural diretamente ligada ao clima, notadamente a agricultura e a geração de energia hidroelétrica, corroboram esta afirmação; assim como, os vastos setores das populações submetidas a eventos climáticos extremos, tais como, as do semiárido nordestino, áreas de risco de deslizamentos em encostas, e as que habitam zonas submetidas a inundações nos grandes centros urbanos.

Hoje o Brasil enfrenta um déficit de adaptação à variabilidade hidrológica existente (natural e decorrente de interferências nas bacias hidrográficas) que deve ser enfrentado simultaneamente aos novos desafios representados pelas mudanças climáticas. Ou seja, o

sistema de gerenciamento de recursos hídricos não se encontra plenamente adaptado às condições climáticas e hidrológicas atuais, carecendo, entre outros, de investimentos em monitoramento, modelagem, sistemas de alerta, infraestrutura de defesa e resposta a eventos extremos e fortalecimento institucional.

O reconhecimento dos padrões climáticos de variação em cada região hidrográfica, bacia ou localidade é decisivo para escolha e configuração dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos.

Os instrumentos de gestão notadamente necessitam encontrar configurações que possibilitem o pleno desenvolvimento da Gestão Adaptativa dos Recursos hídricos para que possam efetivamente promover segurança hídrica.

Referências

1. ANDREOLI, R. V. et al. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 3, p. 337-344, 2004.
2. FOLLAND, C. K.; PARKER, D. E. Observed variations of sea surface temperature.. In: SCHLESINGER, M. E. **Climate- Ocean Interaction**. [S.l.]: Kluwer, Dordrecht, 1990.
3. GRIMM, A. M.; V. R. BARROS; M. E. DOYLE. Precipitation Anomalies in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *J. Climate*, v. 11, p. 2863-2880, 1998.
4. MANTUA, N. J. et al. A Pacific Interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 78, p. 1069-1979, 1997.
5. REBOITA, M. S., GAN, M.A., ROCHA, R. P., AMBRIZZI, T. Regimes de precipitacao na America do sul." *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, no. 2 (2010).
6. REBELLO, E. R. G. **A Oscilação Decadal do Pacífico e sua possível influência no clima do Sul do Brasil**. INMET. Brasilia-DF. 2005.
7. SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. South America. In: *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Eds. Karoly D. J.; Vicent, D. G. American Meteorological Society, *Meteorological Monographs*, v.27, n.49, p.119-139, 1998.
8. SHI, W; HIGGINS, R. W.; YAROSH, E.; KOUSKY, V. E. The Annual Cycle and variability of Precipitation in Brazil. NCEP/Climate Prediction Center Atlas N°9, 2000.
9. SILVEIRA, C.S. (2014). Modelagem integrada de meteorologia e recursos hídricos em múltiplas escalas temporais e espaciais: aplicação no Ceará e no setor hidroelétrico brasileiro. Tese de doutorado. Universidade Federal do Ceará., 351p.
10. ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; BATTISTI, D. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93.. **Journal of Climate**, v. 10, p. 1004-1020, 1997.

Referências

- ABNT. ABNT NBR ISSO/IEC 31010 – Gestão de Riscos: Técnicas para o processo de Avaliação de Riscos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012, 96 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013. Brasília: ANA, 432p. 2013a.
- ALMEIDA, A. B. de. Gestão das águas: incertezas e riscos. Esfera dos Caos: Portugal, 2011, 248p.
- AQUINO, S. H. S. Relatório Final: Estudo da Seca no Nordeste. Rede Clima/UFC/CNPq: Apoio à Consolidação da Rede Brasileira de Pesquisas Sobre Mudanças Climáticas. 2013, 60p.
- AQUINO, T. S. A; GOMES, C. C.; SOUZA FILHO, F. A; SILVA, S. M.O. Impacto da recuperação dos investimentos na infraestrutura hídrica na cobrança pelo uso da água. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n.1, p. 87 - 98, 2013.
- BRASIL. Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997, republicada em 22 de março de 2002, juntamente com o texto da Lei Federal n. 9.984/2000, que criou a Agência Nacional de Águas. 2002.
- HOLLING, C.S. Surprise for science, resilience for ecosystems and incentives for people. Ecological Applications, v. 6, n. 3, p. 733-735, 1996.
- MOREIRA, R. M. Alocação de recursos hídricos em regiões semi-áridas. 2001. 119f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2001.

Mini Currículo

Graduado em Física pela Universidade Estadual do Ceará (2006), possui mestrado em Ciências Físicas Aplicadas pela Universidade Estadual do Ceará (2009) e doutorado em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará (2014). Foi bolsista de pesquisa na Fundação Cearense de Recursos Hídricos (FUNCEME). Tem experiência na área de clima e recursos hídricos, atuando principalmente nos seguintes temas: hidrologia, modelagem atmosférica, mudanças climáticas, variabilidade climática e gestão de recursos hídricos. Além disso, atua nas relações entre clima, energia e água. É professor adjunto da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira (UNILAB), atuando no curso de graduação em Engenharia de Energia e na Especialização em Gestão de Recursos Hídricos e Ambiental. Também atua como professor colaborador do Mestrado Profissional em Climatologia e Aplicações nos países da CPLP e África na Universidade Estadual do Ceará (UECE), onde leciona a disciplina de Tópicos de clima e recursos hídricos. Faz parte do grupo de pesquisa de Gerenciamento do Risco Climático e Sustentabilidade Hídrica da Universidade Federal do Ceará (UFC) onde atua em pesquisas relacionadas a variabilidade climática em múltiplas escalas temporais aplicadas ao setor elétrico brasileiro e Ceará.

