ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Mudanças no Uso do Solo e Variações no Padrão de Refratividade Atmosférica: Uma Análise Numérica e Observacional na Área do Polo de Irrigação Petrolina/Juazeiro

Magaly de Fatima Correia¹, Jônatas Costa Bezerra², Leonardo Fagner Ponciano Barbieri², Maria Regina da Silva Aragão¹, Weber Andrade Gonçalves³

¹Professora, Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG; e-mail: magaly@dca.ufcg.edu.br; regina@dca.ufcg.edu.br; ²Mestrando da UFCG; e-mail: jonatas_ufcg@hotmail.com; poncianolf@yahoo.com.br; ³Pesquisador CAPES/UFCG; e-mail: weberufcg@gmail.com

Artigo recebido em 09/07/2013 e aceito em 27/09/2013

RESUMO

Mudanças no padrão de refratividade atmosférica decorrentes de intervenções no regime hidrológico do rio São Francisco são avaliadas neste trabalho. Impactos de alterações nos processos de troca de água e energia entre a superfície e atmosfera são quantificados com base em séries históricas de dados coletados em estações convencionais de superfície situadas na região e em simulações numéricas em alta resolução realizadas com o modelo RAMS (Regional Atmospheric Modeling System). Os resultados mostram que empreendimentos do porte do reservatório de Sobradinho são responsáveis por mudanças significativas no padrão de refratividade regional, não apenas na área do reservatório mais, principalmente, no entorno da represa em função das alterações na cobertura e uso do solo resultantes da expansão agrícola e da substituição da vegetação caatinga por culturas irrigadas. Variações temporais no índice de refração atmosférica podem afetar a propagação do sinal em sistemas móveis.

Palavras-chave: semiárido, clima, problemas ambientais, água, desenvolvimento sustentável.

Changes in Soil Use and Atmospheric Refractivity Pattern Variations: A Numerical and Observational Analysis in the Petrolina/Juazeiro Irrigation Area

ABSTRACT

Changes in the atmospheric refractivity patterns due to interventions in the hydrological regime of the São Francisco River are evaluated in this work. Impacts of alterations in the processes of water and energy exchange between the surface and the atmosphere are quantified with a basis on historical data series collected at conventional surface meteorological stations located in the region, and in RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) high resolution numerical simulations. Results indicate that mega-projects as Sobradinho cause significant changes in the regional refractivity pattern, not only in the reservoir area, but mainly in the dam vicinity due to alterations in soil use and coverage that result when the caatinga vegetation is replaced by irrigated crops. Temporal variations in the atmospheric refractivity index may affect signal propagation in mobile systems.

Keywords: refractivity, radiopropagation, RAMS, soil use, microclimate, caatinga, irrigation.

*E-mail para correspondência: magaly@dca.ufcg.edu.br (Correia, M. F.).

Introdução

Gradientes horizontais e verticais da umidade do ar podem gerar condições atmosféricas específicas com efeitos significativos na propagação e intensidade das ondas eletromagnéticas. A previsibilidade de um sistema de navegação eletrônica consiste, por exemplo, no conhecimento das características da propagação do sinal resultantes de descontinuidades ou perturbações nas propriedades físicas da atmosfera.

O sensoriamento remoto na faixa das micro-ondas tem sido amplamente usado para aquisição de dados, monitoramento de sistemas atmosféricos e desenvolvimento de pesquisas científicas nas áreas de hidrologia, climatologia, meteorologia e telecomunicações. O radar e as plataformas de coleta de dados estão entre os sistemas de aquisição mais utilizados. No entanto, medições e transmissões precisas são geralmente mais difíceis em regiões de agricultura intensiva ou litorâneas, diferenciadas por grandes descontinuidades na superfície do solo e condições atmosféricas bastante variáveis. A chuva, o vento e a concentração de vapor na atmosfera estão entre os principais fatores responsáveis pela degradação do sinal em sistemas de transmissão sem fio.

Na maioria das vezes em que se observa degradação de sinal tem-se como

causa mudanças na estrutura da CLA (camada limite atmosférica) cuja evolução temporal e espacial é fortemente controlada por mecanismos de grande escala e particularmente influenciada por fenômenos em escala local (BABIM, 1995). Circulações atmosféricas induzidas por descontinuidades na superfície tais como, brisas marítimas, terrestres, de vale-montanha e lacustres são exemplos desses fenômenos. Além disso, a ausência de dados meteorológicos e hidrológicos com alta resolução espacial e temporal impede que efeitos relevantes de mudanças antrópicas na propagação de ondas de rádio sejam monitorados em tempo hábil de forma a possibilitar providências imediatas por setores competentes. Neste sentido, o uso de modelagem atmosférica é um recurso fundamental no entendimento de processos físicos em escala local.

O período entre 1985 e 1994 representa uma das etapas mais importantes da evolução das técnicas agrícolas no Submédio do Vale São Francisco. Efetivamente, representa uma das fases marcantes da região na consolidação do Polo agroindustrial Petrolina/Juazeiro com a expansão da fruticultura irrigada (SILVA, 2001). Sob o ponto de vista ambiental mudanças radicais na cobertura e uso do solo foram responsáveis pela geração de um microclima, pela mudança expressiva no padrão local do vento, da umidade e temperatura do ar.

Neste contexto, investigar o impacto de mudanças antrópicas nas condições atmosféricas em escala espacial e temporal passível de afetar a qualidade e o desempenho das transmissões sem fio é um dos objetivos deste trabalho. As análises apresentadas são concentradas na região semiárida da bacia do Rio São Francisco e tem como finalidade quantificar efeitos das mudanças na cobertura do solo, no entorno da hidrelétrica de Sobradinho, nos processos de troca de energia entre a superfície e a atmosfera, e sua influência no padrão de refratividade local.

Material e Métodos

Análise observacional

Dados

Dados das normais climatológicas 1961 – 1990 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 1992), obtidas de estações situadas na região Nordeste do Brasil, e dados coletados nas estações climatológicas de Bebedouro (PE) e Mandacaru (BA) pertencentes a CPATSA/EMBRAPA (Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) foram usados para avaliação de mudanças no padrão da distribuição espacial da refração atmosférica em superfície. A EMBRAPA disponibilizou registros médios diários de leituras horárias relativas ao período de 1969 a 2011.

2.1.2. O índice de refração atmosférica

Variações no índice de refração atmosférica (n) são responsáveis por mudanças na direção de propagação das ondas radioelétricas. Seguindo a recomendação da União Internacional de Telecomunicações, UIT-R P.453-6, as equações 1 e 2 foram utilizadas na determinação do n e da refratividade (N), respectivamente.

$$n = 1 + N \times 10^{-6} \quad (1)$$

$$N = 77,6 \frac{P}{T} + 3,73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} = N_s + N_u \quad (2)$$

em que,

N é a refratividade atmosférica;

$N_s = 77,6 \times \frac{P}{T}$ é o termo seco da refratividade;

$N_u = 3,73 \times 10^5 \frac{e}{T^2}$ é o termo úmido da refratividade;

P é a pressão atmosférica (mb);

T é a temperatura atmosférica (K);

$e = \frac{P_w}{\varepsilon}$ é a pressão parcial do vapor d'água (mb);

w é a razão de mistura (g/kg);

2.1.3. Variabilidade espacial de N_u

Com o objetivo de detectar padrões sazonais do índice de refração e avaliar a influência de microclimas na distribuição espacial da refratividade (N), foram elaborados mapas médios mensais de N , da componente úmida, N_U , e da componente seca N_S .

O método consistiu na elaboração de distribuições espaciais da refratividade em superfície para a região Nordeste. Os mapeamentos de N , N_U e N_S foram feitos inicialmente usando apenas os dados das normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia. Numa segunda etapa a distribuição espacial foi refeita incluindo os dados das séries históricas de Bebedouro e Mandacaru. Na realização dessa análise foram utilizados programas desenvolvidos em linguagem FORTRAN para o cálculo de parâmetros, e o pacote gráfico SURFER na versão 8.0 para visualização da variabilidade espacial dos campos de N .

A refratividade é extremamente sensível a variações da umidade específica e, portanto, mudanças na concentração de vapor na CLA podem levar a condições anômalas de propagação. O grau de influência de mudanças antrópicas no comportamento espacial e temporal de N_u é avaliado através da comparação entre os mapas com e sem a inclusão dos dados de Bebedouro e Mandacaru. Enfoque especial foi dado ao entendimento de fatores que afetam o teor de

umidade do ar e, consequentemente, o padrão de comportamento de N_u .

Análises Numéricas

Simulações numéricas de alta resolução foram realizadas com o Modelo RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) para quantificar o impacto de mudanças antrópicas significativas em escala local (construção da represa de Sobradinho e implantação da agricultura irrigada em áreas de caatinga) na variabilidade do índice de refração atmosférica.

A realização de experimentos numéricos de alta resolução espacial e temporal permite obter informações detalhadas de processos atmosféricos em terrenos acidentados e avaliar a contribuição relativa de forçantes locais. Um dos objetivos deste trabalho é quantificar o grau de influência da heterogeneidade na cobertura vegetal gerada pela implantação e expansão da agricultura irrigada em áreas de vegetação esparsa, na mudança do padrão local do vento e variabilidade de N_u . Esta avaliação seria impossível apenas com os dados observados nas estações climatológicas ou através de simulações numéricas com baixa resolução. O modelo é utilizado em sua versão 4a descrita em Correia (2001).

Experimentos específicos foram realizados com o objetivo de determinar processos dinâmicos resultantes do efeito combinado das forçantes sinóticas,

topográficas e térmicas, e ainda quantificar a contribuição relativa de cada um desses fatores nos processos de interação superfície-atmosfera e nas mudanças na distribuição horizontal e vertical do vapor d'água. Dados de uma sondagem realizada às 12 TMG do dia 05 de junho de 1985, típica de uma situação na qual há o enfraquecimento dos ventos alísios de sudeste, foi usada como condição inicial do modelo.

O modelo foi integrado por 24 horas iniciando às 06 UTC com uma estrutura homogênea em que os dados da sondagem são estendidos para todo o domínio numérico. O ano de 1985 foi escolhido por representar um período crítico na região de estudo em que o ciclo hidrológico foi fortemente alterado com a formação do lago de Sobradinho e a expansão da agricultura irrigada (SILVA, 2001; CORREIA et al., 2006).

Condições de superfície

Foram utilizadas duas grades com resolução espacial de seis e dois quilômetros, ambas centradas em Petrolina-PE (9,4°S – 40,5°W). A localização das grades 1 e 2 no domínio numérico é apresentada na Figura 1.a.

Três simulações numéricas, com diferentes cenários de ocupação do solo foram realizadas: o experimento numérico de CONTROLE representa o ambiente sem mudanças antrópicas significativas em que a

cobertura do solo no domínio numérico é constituída pelo rio São Francisco e a vegetação nativa caatinga (Fig. 1.b); o experimento COMLAGO no qual o cenário anterior é alterado pela inclusão do lago de Sobradinho (Fig. 1.c) e o experimento IRRIGA em que o cenário no domínio numérico é constituído por caatinga, o lago de Sobradinho e áreas com agricultura irrigada (Fig. 1.d).

A especificação da topografia e ocupação do solo, incluindo o tipo de vegetação e a localização do reservatório de Sobradinho, foi feita com base em arquivos de dados obtidos por meio de radiômetros de altíssima resolução (Advanced Very High Resolution Radiometer–AVHRR) disponíveis no RAMS.

No processo de elaboração dos cenários foi necessário construir arquivos de dados que permitissem eliminar a área inundada do interior do domínio numérico, com o objetivo de avaliar o comportamento da atmosfera no período antes e depois do lago.

Procedimento semelhante foi usado para incluir as áreas agrícolas correspondentes aos principais perímetros públicos de irrigação na região de estudo para avaliar o impacto da substituição da caatinga por vegetação irrigada. Uma descrição detalhada do método pode ser encontrada em Correia (2001).

Figura 1. (a) Localização das grades 1 e 2 no domínio numérico; (b); cenário do experimento CONTROLE (caatinga e o rio São Francisco); (c) cenário do experimento COMLAGO (caatinga, Sobradinho e o rio São Francisco) e (d); cenário do experimento COMIRRIGA (caatinga, Sobradinho, rio São Francisco e agricultura irrigada).

Resultados e Discussão

Análises observacionais

Análises dos mapas mensais da distribuição espacial de $r(g/kg)$ e de Nu elaborados para a região Nordeste indicam um padrão espacial de comportamento semelhante, independente da sazonalidade.

A configuração espacial para os meses de janeiro e novembro, selecionados como representativos da estação chuvosa da região de estudo, com e sem a inclusão dos dados de

Bebedouro e Mandacaru, são apresentadas nas Figuras 2 e 3. Diferenças substanciais são observadas em localidades situadas no Submédio São Francisco (SBSF). A inclusão das medições feitas em ambientes modificados pela agricultura irrigada resultou em núcleos com valores máximos de umidade e de Nu na região. Os retângulos tracejados incluídos nas ilustrações delimitam a área com alterações mais pronunciadas.

A análise conjunta da distribuição espacial da $r(g/kg)$ e de Nu permitiu verificar

a existência de uma relação direta entre o teor de vapor de água e a componente úmida da refratividade atmosférica. Valores mais elevados das duas variáveis são nitidamente observados na região litorânea. Os valores mais baixos se concentram no interior da região Nordeste.

Os núcleos com valores mais altos de $r(g/kg)$ indicam um aumento no teor de vapor associado em grande parte com o processo de evapotranspiração resultante da expansão agrícola em áreas predominantemente cobertas com vegetação esparsa (caatinga). Este resultado possibilita afirmar que mudanças na ocupação do solo são responsáveis por impactos ambientais significativos e geração de microclimas. Comportamento análogo é observado na distribuição espacial de Nu (Figura 3).

Os efeitos são visíveis em todos os meses da estação chuvosa do SBSF (novembro a abril), com exceção do mês de março. Estes resultados estão em concordância (parcial) com os de outras pesquisas sobre influências antrópicas no semiárido brasileiro (CORREIA et al., 2006; BEZERRA, 2007; BEZERRA et al., 2004; CORREIA, 2001).

As análises feitas para o período de estiagem (maio a outubro) mostram efeitos semelhantes, como pode ser observado na Figura 4 que ilustra os mapas da distribuição

espacial de $r(g/kg)$ e de Nu elaborados com e sem a inclusão dos dados de Bebedouro e Mandacaru para o mês de setembro, um dos mais secos no SBSF. Os núcleos com valores mais altos na região do SBSF não são perceptíveis quando a análise é feita apenas com base nos dados das normais climatológicas.

Análises Numéricas

Mudanças na ocupação do solo

A variabilidade de N , Nu e Ns , ao longo da latitude de $9,4S$, para o experimento COMIRRIGA (caatinga, lago, rio São Francisco e áreas irrigadas), é apresentada na Figura 5. A semelhança no comportamento das variáveis N e Nu é evidente. A mesma relação não é observada com Ns . Um aumento significativo nos valores de N e de Nu é observado simultaneamente em torno das longitudes de $40,8W$ e $40,2W$. Estas localidades são caracterizadas por fortes discontinuidades na cobertura do solo (água/vegetação e vegetação/solo descoberto). Nas duas situações têm-se condições favoráveis à geração de gradientes horizontais de temperatura, desenvolvimento de circulações locais e transportes horizontal e vertical de vapor.

Figura 2. Configuração espacial da razão de mistura $r(g/kg)$ para os meses de janeiro e novembro: (a) e (c); sem Bebedouro e Mandacaru (SBM); (b) e (d); com Bebedouro e Mandacaru (CBM).

Figura 3. Configuração espacial da refratividade (Nu) para os meses de janeiro e novembro: (a) e (c) sem Bebedouro e Mandacaru (SBM); (b) e (d) com Bebedouro e Mandacaru (CBM).

Figura 4. Configuração espacial da razão de mistura (g/kg) e da refratividade para setembro: (a) e (c) sem Bebedouro e Mandacaru (SBM); (b) e (d); com Bebedouro e Mandacaru (CBM).

Figura 5. Variabilidade de N, Ns e Nu, ao longo da latitude de 9,4°S para o cenário COMIRRIGA.

Impacto do lago de Sobradinho

A distribuição espacial de Nu (u-refratividade), $r(g/kg)$ e $V(m/s)$, resultante da

diferença entre as simulações numéricas COMLAGO e CONTROLE, é apresentada na Figura 6. Valores positivos mais altos são observados na área do lago entre as longitudes

de 41,2W e 40,6W (Fig. 3.5.a e Fig. 3.5.b). Este resultado indica um aumento da umidade e da refratividade atmosférica na área afetada pela brisa lacustre. A região atingida pela frente da brisa é facilmente detectada no campo de vento (Fig. 6.c).

A descontinuidade observada no campo do vento (aparentemente duas frentes de brisa) é resultante da interação da circulação com a topografia local. A direção e a intensidade do escoamento podem ser influenciadas em diferentes graus pela topografia, configuração das margens do lago, tipo de vegetação no entorno da represa e pela estrutura termodinâmica da atmosfera.

Impacto da substituição da vegetação nativa por agricultura irrigada

Os campos de Nu e $r(g/kg)$ resultante da diferença entre as simulações COMIRRIGA e CONTROLE são apresentados na Figura 7. Núcleos com valores mais altos de Nu e $r(g/kg)$ são nitidamente detectados na região dos perímetros irrigados. Estes núcleos estão associados com o aumento no processo de evapotranspiração resultante da substituição da caatinga por culturas irrigadas.

No processo de transpiração das plantas, a água passa para a atmosfera sob a forma de vapor. Esse mecanismo, porém, é bastante afetado pela estrutura da vegetação, pelo comportamento dos estômatos e também

pelos fatores ambientais que controlam a evaporação. Dependendo da planta, o ambiente em torno dela é alterado de forma diferenciada, o que pode levar a diferenças razoáveis no processo de perda d'água.

A evolução temporal dos fluxos turbulentos de calor latente LE (W/m^2) e calor sensível H (W/m^2) ao longo da latitude de 9,4°S, obtida com a diferença entre as simulações COMIRRIGA e CONTROLE, é apresentada na Figura 8. Núcleos intensos de LE, observados entre as longitudes de 40,8°W e 40,2°W, aproximadamente, refletem o aumento no processo de transferência da água pelas culturas irrigadas.

Os efeitos da evapotranspiração são mais evidentes entre 12 e 18 HL na região do maior perímetro de irrigação (Nilo Coelho). Observa-se nitidamente o aumento nos valores de LE (W/m^2) e a redução nos valores de H (W/m^2). Estes resultados evidenciam a importância de monitoramentos ambientais sistemáticos em áreas com fortes pressões antrópicas.

Mudanças no padrão de refratividade são indicativos de alterações na distribuição horizontal e vertical de umidade e aumento na probabilidade de interferências em radio-transmissões.

Figura 6. Distribuição espacial de Nu (u – refratividade), r(g/kg) e vento (m/s) resultante da diferença entre as simulações COMLAGO e CONTROLE no domínio da grade 2 (resolução: 2km) as 15 HL. As áreas coloridas representam o lago de Sobradinho e o Rio São Francisco.

Figura 7. Distribuição espacial de Nu (u–refratividade) e r(g/kg) resultante da diferença entre as simulações COMIRRIGA e CONTROLE no domínio da grade 2 (resolução: 2km) as 15 HL. As áreas coloridas representam o lago de Sobradinho, o rio São Francisco e os perímetros irrigados (Bebedouro, Nilo Coelho, Curaça, Manicoba, Tourão e Mandacaru).

Figura 8. Variação temporal dos fluxos turbulentos ao longo da latitude de 9,4°S, resultante da diferença entre as simulações COMIRRIGA e CONTROLE: (a) calor latente (LE) em (W/m^2) e (b) calor sensível em (W/m^2).

Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

Variações sazonais e diárias da umidade e temperatura afetam o padrão de refratividade e devem ser consideradas em estudos e planejamentos de enlaces radioelétricos;

Áreas com fortes pressões antrópicas são ambientes favoráveis a mudanças significativas no balanço de energia em superfície e, conseqüentemente, nos processos de interação biosfera-atmosfera;

Empreendimentos do porte de Sobradinho alteram processos hidrológicos e meteorológicos em nível regional.

A substituição de uma superfície constituída por áreas agrícolas, urbanizadas, e vegetação nativa por uma grande espelho

d'água mudou substancialmente o regime de vento local dando origem a formação da brisa lacustre;

A mudança no uso do solo decorrente da substituição da caatinga por culturas irrigadas representa o mecanismo determinante na transferência de água para atmosfera e geração de um microclima na área de estudo;

Descontinuidades na cobertura vegetal e no teor de umidade no solo constituem fatores importantes na variabilidade de condições atmosféricas em escala local e podem causar distorções na propagação e variabilidade na intensidade de sinais radioelétricos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à EMBRAPA Semiárido e ao INMET pela cessão dos dados meteorológicos, e ao CNPq pelo auxílio financeiro (Processo: 303627/2008-5).

Referencias

- Babim, S. M. 1995. A case study of sub refractive conditions at Wallops Island, Virginia. *Journal of Applied Meteorology*, v. 34, p. 1028-1038.
- Barbosa, T. F.; Correia, M. F. 2005. Sistemas convectivos intensos no semi-árido brasileiro: O controle da grande escala. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 395-410, Dez.
- Bezerra, J. C. 2007. Mudanças ambientais e alterações no padrão de refratividade atmosférica: Uma análise numérica da influência antrópica na bacia do rio São Francisco. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 30 f.
- Bezerra, J. C; Correia, M. F; Gonçalves, W. A. 2004. Radioclimatologia: mudanças na cobertura e uso do solo e alterações no padrão de refratividade atmosférica. In: Congresso Brasileiro De Meteorologia, Fortaleza. Anais. Fortaleza: SBMET, 2004. 1 CD-ROM.
- Correia, M. F. 2001. Impacto das ações antrópicas no clima do Submédio do Rio São Francisco: Um estudo numérico e observacional. 2001. 178 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Correia, M. F.; Silva Dias, M. A. F.; Silva Aragão, M. R. 2006. Soil occupation and atmospheric variations over Sobradinho Lake Area. Part Two: A regional modeling study. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 94, p. 115-128.
- INMET. 1992. Normais Climatológicas (1961-1990). Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 84p.
- Silva, P. C. G. da. 2001. Articulação de interesses públicos e privados no polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA: Em busca de espaço no mercado globalizado de frutas frescas. 2001. Tese (Doutorado em Economia) - Instituto de Economia da UNICAMP, Campinas.