

INVESTIGAÇÃO QUALITATIVA SOBRE A INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DE ITAIPU NA UMIDADE DO AR UTILIZANDO MODELAGEM ATMOSFÉRICA

Maurício Felga Gobbi¹, Afonso Augusto Araújo¹ e Nelson Luis Dias¹

Resumo - Neste trabalho são feitas simulações da dinâmica da atmosfera em uma região nas proximidades de um lago (reservatório de Itaipu) para se tentar avaliar os possíveis impactos do mesmo no regime de umidade do ar e conseqüentemente de precipitação e do clima locais. Para se fazer tais avaliações, optou-se pela utilização do modelo de mesoescala ARPS (*Advanced Regional Prediction System*), e por rodadas bidimensionais onde os cenários mais favoráveis possíveis para que haja influência do lago foram utilizados. A conclusão é a de que em escalas espaciais horizontais a partir da ordem de 1km (resolução do modelo) a influência do lago na umidade local devido à evaporação direta é praticamente desprezível.

Abstract - In this paper, simulations of the atmosphere dynamics in a region surrounding a lake (Itaipu reservoir) are performed in order to quantify its impacts on the local weather through the increase of moisture in the air. For such, we utilized mesoscale model ARPS (*Advanced Regional Prediction System*), and 2-dimensional simulations where the conditions chosen were the most favorable ones for highest direct evaporation rates from the lake, and therefore highest impacts of the lake on the local weather. It was found that the influence of the lake was very limited for horizontal scales higher than the model's resolution, as far as its capability to increase the air moisture content of the surrounding areas.

Palavras-Chave - mudança climática, reservatórios, evaporação, modelagem numérica

¹Sistema Meteorológico do Paraná - Centro Politécnico - Caixa Postal 19100 - CEP 81531-990 - Curitiba, PR - tel.: 041-366-2020 - r. 6351 - email: gobbi@simepar.br

INTRODUÇÃO

Um problema ambiental ainda não resolvido de forma definitiva é o da influência de um corpo d'água artificial nas possíveis mudanças climáticas da região próxima a ele. Esse é o problema essencial a que este trabalho diz respeito. O objeto do estudo é o reservatório de Itaipu, localizado no oeste do estado do Paraná - Brasil.

Inicialmente, deve-se notar que toda modificação das características da superfície da terra deve ter, em princípio, alguma influência no clima: o aquecimento da atmosfera e sua dinâmica são forçados pelas trocas de massa (vapor d'água, CO₂, etc.), quantidade de movimento (atrito) e energia (radiação, calor sensível e latente) entre a superfície e a atmosfera. Portanto, qualquer alteração das características da superfície deverá ocasionar mudanças nessas trocas e conseqüentemente influenciar a atmosfera. Por exemplo, com a construção de um reservatório de grande porte em uma região sub-tropical, é intuitivo esperar que aumente a evaporação e diminua o fluxo de calor regional. Por seu turno, isto representa uma tendência ao aumento da umidade específica, diminuição da temperatura média do ar, diminuição das temperaturas máximas diárias e aumento das temperaturas mínimas diárias; a presença de grandes corpos d'água é geralmente considerada benéfica para o clima local (Oke, 1987, p.263).

A questão de alterações climáticas tem profunda importância econômica, além de social e ambiental. O reservatório de Itaipu encontra-se em uma região de importância estratégica, cuja economia baseia-se no tripé energia-agricultura-turismo. Os regimes de temperatura do ar, umidade do ar, precipitação, evaporação e evapotranspiração, ventos, etc., da região em torno e dentro do reservatório de Itaipu têm influência direta, embora de difícil quantificação, no balanço hídrico do reservatório. O seu melhor conhecimento pode ser benéfico para a operação do reservatório. Mudanças no uso do solo podem ter como conseqüência mudanças no regime hidrológico dos rios, podendo novamente afetar tanto a disponibilidade hídrica quanto a vazão sólida carregada para dentro do reservatório. A existência de um grande espelho d'água proporciona pistas de vento mais longas com o conseqüente aumento de velocidade do vento e o potencial de produção de ondas maiores. Ela também altera a circulação atmosférica regional com o surgimento de brisas lacustres.

Essas mesmas variáveis afetam diretamente a atividade agrícola, e são também relevantes para a atividade turística. Algumas questões específicas a respeito da relação do clima regional com o reservatório que precisam de respostas podem ser listadas:

- modificação do regime de chuvas;
- modificação do regime de temperatura e umidade do ar;
- modificação do regime de vento;
- importância da contribuição da precipitação direta sobre o lago;
- evaporação no lago versus evapotranspiração, e cálculo das perdas líquidas associadas;
- surgimento de brisas lacustres e suas conseqüências ambientais.

A análise do problema deve portanto ser meteorológica: devemos utilizar as ferramentas experimentais e teóricas disponíveis em meteorologia para obtermos as melhores respostas possíveis.

Por clima local entende-se o clima de uma região da ordem de 10000km² compreendendo o reservatório de Itaipu e suas cercanias (bacias hidrográficas de pequenos afluentes do rio Paraná drenando para dentro do reservatório): os comprimentos envolvidos são da ordem de 100km. Importa então estudar todas as eventuais modificações em escalas lineares espaciais iguais ou inferiores a 100km: estas são chamadas em meteorologia de meso (acima de 2km) e microescalas (abaixo de 2km), segundo a classificação de Orlanski (1975).

Este trabalho está dividido nas seguintes partes:

- apresentação do modelo ARPS;
- avaliação do modelo de trocas com a superfície (SVAT);
- simulações numéricas da atmosfera;
- conclusões e recomendações.

DESCRIÇÃO DO MODELO ARPS

O modelo de mesoescala utilizado neste trabalho é o ARPS (Xue et al., 1995). O ARPS resolve um sistema de equações não-hidrostático e compressível, utilizando um sistema de coordenadas seguindo a topografia, com uma grade telescópica na vertical. Ele pode rodar em configurações uni, bi e tridimensionais. As variáveis prognósticas do modelo são: as componentes cartesianas, a temperatura potencial, a pressão, a energia cinética turbulenta, e as razões de mistura para vapor d'água, água em nuvens, água de chuva, gelo em nuvens, neve e granizo.

As equações são resolvidas por diferenças finitas, podendo-se utilizar esquemas conservativos quadráticos ou de quarta ordem para os termos advectivos, e diferenças centradas de ordem dois para os demais termos. O *grid* é alternado (*staggered*) segundo um esquema Arakawa-C. A evolução no tempo utiliza esquemas implícitos de ordem dois (*leapfrog*) para intervalos de integração longos, e explícitos progressivos-regressivos para intervalos de integração curtos.

As principais equações resolvidas pelo modelo são

- Equação de estado:

$$\rho = \frac{p}{R_s T} \left(1 - \frac{q_v}{\epsilon + q_v} \right) (1 + q_v + q_l + q_s), \quad (1)$$

onde ρ é a massa específica do ar, p é a pressão atmosférica, R_s é a constante dos gases para ar seco, T é a temperatura termodinâmica, $\epsilon = 0,622$, q_v é a razão de mistura para vapor d'água, q_l é a razão de mistura para água líquida, q_s é a razão de mistura para gelo.

- Conservação da massa:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

onde u , v , e w são as componentes do vetor velocidade. Esta equação não é utilizada diretamente no modelo, mas combinada com a derivada material da equação de estado, produzindo uma equação prognóstica para a pressão.

- Conservação da quantidade de movimento:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + 2\Omega v \cos \phi + \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - 2\Omega u \cos \phi + \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g - 2\Omega u \cos \phi + \left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (5)$$

onde Ω é a velocidade angular da Terra, ϕ é a latitude do local, e τ_{ij} é o tensor de tensões turbulentas (tensões de Reynolds).

- Conservação de um escalar s :

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + v \frac{\partial s}{\partial y} + w \frac{\partial s}{\partial z} = \frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z} + G(s) \quad (6)$$

onde s é um escalar (temperatura potencial θ , razão de mistura de água q_v , q_l , q_s), F_i é a componente de fluxo turbulento de s na direção i , e $G(s)$ é um termo de fonte e/ou sumidouro de s .

Existem diversas opções de parametrização de turbulência no ARPS. As simulações neste trabalho foram feitas com um modelo de nível 1.5 em que a equação de energia cinética turbulenta é resolvida explicitamente.

O ARPS é capaz de assimilar dados de terreno com alta resolução (30" de arco), e é extremamente flexível em suas opções de ingestão de dados para inicialização e definição de condições de contorno. Neste trabalho foi utilizada exclusivamente como condição inicial uma atmosfera isentrópica com vento zero (atmosfera em repouso - *cold start*). Como condição de contorno lateral foi utilizada a condição de radiação. Como condição no topo (a 16km de altitude) foi utilizada uma parede refletora com uma camada de absorção de ondas espúrias. As condições na superfície serão discutidas mais adiante. A

condição de contorno de radiação corresponde à aplicação da equação de onda unidimensional

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + c \frac{\partial \phi}{\partial s} = 0 \quad (7)$$

para transportar informações através dos contornos laterais. s é a coordenada na direção do escoamento no contorno, que permite que o campo ϕ se propague com celeridade c através dos contornos laterais do domínio de integração.

Condições de contorno na superfície da Terra

Os fluxos superficiais de quantidade de movimento τ_x e τ_y , calor sensível H e calor latente LE são fundamentais para a definição das condições de contorno na superfície da Terra que evoluem no tempo ao longo da simulação. A correta determinação destes fluxos é essencial para se obter bons resultados com modelos de mesoescala (Pielke, 1984). O ARPS utiliza um modelo para o cálculo do balanço de energia na superfície e a modelagem das trocas superfície-vegetação-atmosfera que será brevemente descrito nesta seção.

O balanço de energia na superfície da terra é dado por

$$R_l = H + LE + G. \quad (8)$$

R_l é a radiação líquida na superfície; H é o fluxo de calor sensível entre a superfície e a atmosfera; LE é o fluxo de calor latente, e G o fluxo de calor no solo. O modelo de transferência solo-vegetação-atmosfera do ARPS é baseado no modelo proposto por Noilhan e Planton (1989). Ele utiliza como dados de entrada as componentes x e y (zonal e meridional) da velocidade do vento, u e v ; a temperatura do ar junto à superfície, q , a umidade específica do ar junto à superfície, q , a radiação líquida R_l , e a radiação solar incidente, R_s . O modelo utiliza ainda como parâmetros o albedo α , e a rugosidade da superfície para quantidade de movimento, z_0 . Todas estas grandezas foram diretamente medidas ou estimadas (no caso de z_0) durante o experimento EXINC1, realizado em dezembro de 1997 na região de Foz do Iguaçu (Dias et al, 1998). Outros 2 parâmetros, lai (índice de área foliar) e veg (fração vegetativa), não foram diretamente medidos e precisam ser calibrados.

A partir dos dados de entrada, o modelo calcula inicialmente os fluxos de calor latente e sensível utilizando as equações clássicas de transferência de massa e calor:

$$H = \rho c_p C_H (\theta_s - \theta_l) \quad (9)$$

$$LE = L \rho C_E (q_s - q_l) \quad (10)$$

onde C_H e C_E são coeficientes de transferência adimensionais que dependem da rugosidade da superfície e da estabilidade atmosférica, s é o índice da variável na superfície e 1 no primeiro nível aéreo do modelo. O ARPS realiza então um balanço de massa e energia na superfície e numa camada de 2 m de profundidade de solo, com a energia líquida disponível $R_l - H - LE$, baseado num sistema de 5 equações diferenciais ordinárias:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial T_s}{\partial t} &= C_T (R_l - H - LE) - \frac{2\pi}{\tau} (T_s - T_2), \\
\frac{\partial T_2}{\partial t} &= \frac{1}{\tau} (T_s - T_2), \\
\frac{\partial W_g}{\partial t} &= \frac{C_1}{\rho_w d_1} (P_g - E_g) - \frac{C_2}{\tau} (W_{geq}), \\
\frac{\partial W_r}{\partial t} &= vegP - E_r,
\end{aligned} \tag{11}$$

onde T_s é a temperatura da superfície, CT é a capacidade térmica da superfície, \square é o comprimento do dia, T_2 é a temperatura do solo a 2m de profundidade, W_g é a umidade da superfície do solo, C_1 é um coeficiente de precipitação líquida, \square_w é a massa específica da água, d_1 é uma profundidade arbitrária de normalização de 10cm, P_g é a precipitação atingindo o solo, E_g é a evaporação direta a partir do solo, C_1 é um coeficiente de perturbação da umidade do solo na superfície, W_{geq} é a umidade da superfície quando as forças de gravidade e capilaridade estão em equilíbrio, W_2 é a umidade do solo a 2m de profundidade, d_2 é a profundidade da camada de solo (2m), E_{tr} é a transpiração da fração seca de folhas, W_r é a umidade das plantas, veg é a fração de vegetação e E_r é a evaporação direta da fração de folhas úmidas. Os detalhes do modelo de solo-vegetação-atmosfera estão além do escopo deste trabalho. O essencial é que ele propicia estimativas contínuas dos fluxos superficiais necessárias como condições de contorno do modelo de mesoescala, e faz evoluir no tempo as temperaturas da superfície, e do solo, a umidade superficial e profunda do solo e a umidade retida nas plantas.

AVALIÇÃO DO MODELO DE TROCAS COM A SUPERFÍCIE (SVAT)

Nesta seção é mostrada a comparação entre o cálculo da evolução dos fluxos H e LE feitos pelo modelo calibrado de interação solo-vegetação-atmosfera do ARPS descrito acima com medições feitas em campo. Os forçantes do ARPS utilizados nesses exemplos foram a radiação líquida, a velocidade do vento, a temperatura do ar e a umidade específica do ar medidas no EXINC-1 sobre uma plantação de soja.

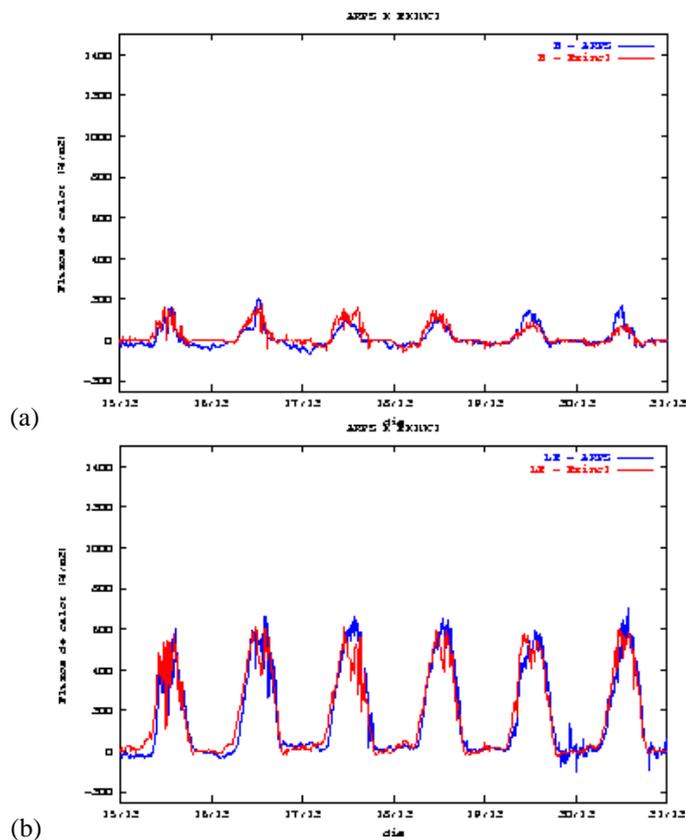
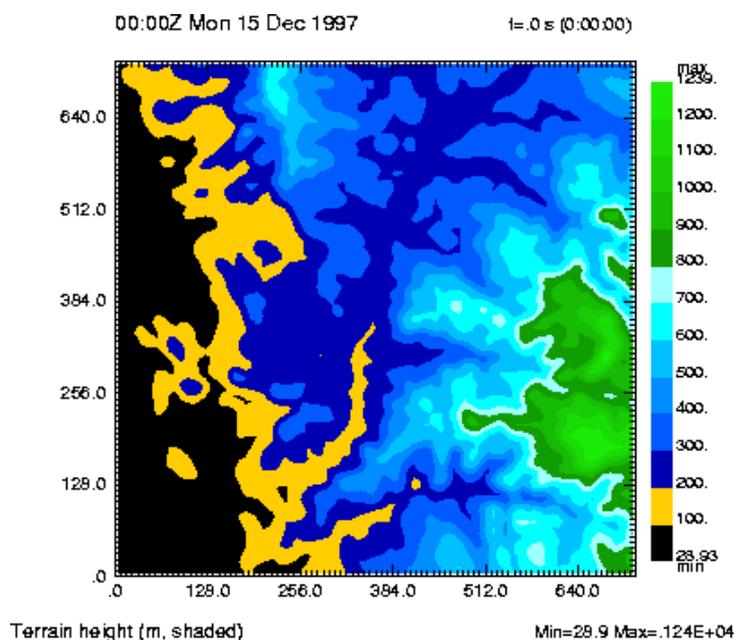


Figura 1: Comparações entre o SVAT do ARPS (-) e medições (-): (a) Calor sensível; (b) calor latente de evaporação. $lai=4.0$, $veg=0.6$, $z_0=0.064m$.

O objetivo de tais comparações é o de validar o modelo de transferência solo-vegetação-atmosfera e garantir que os parâmetros utilizados pelo ARPS estejam bem calibrados. Os parâmetros utilizados para caracterizar o tipo de vegetação são: o índice de área foliar, lai , o índice de vegetação veg e a rugosidade z_0 . Na figura 1 estão as comparações de H e LE entre os valores obtidos experimentalmente e os calculados pelo ARPS utilizando-se os seguintes parâmetros: $lai=4.0$, $veg=0.6$, $z_0=0.064m$. As comparações se restringem ao período entre os dias 15/12/97 às 00:00h e 20/12/97 às 24:00h e mostram que o modelo é capaz de reproduzir bastante bem os fluxos de energia quando bem calibrado. Para este caso, os valores utilizados foram $lai=4.0$, $veg=0.6$, $z_0=0.064$, que são bem representativos de uma plantação de soja e muito próximos dos valores recomendados pelo ARPS para este tipo de vegetação.

SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DA ATMOSFERA

Nesta seção serão apresentadas resultados de simulações para avaliar os possíveis impactos no regime de umidade do ar causados pela presença de um lago, em particular do reservatório de Itaipu, na região. A figura 2 mostra em planta a topografia do terreno (dados ingeridos e saída gerada pelo ARPS) em uma extensão relativamente grande (800km x 800km) na região do lago de Itaipu.



ARPS/ZXPLOT dec15, Version 4.4.0 Plot: 0000/00/00 00:00GRMLNDST3

Figura 2 - topografia (m) na região do lago de Itaipu. O lago se encontra aproximadamente no centro da figura.

Simulações tridimensionais

Como motivação inicial para mostrar a capacidade do modelo de mostrar diferenças de umidade superficial do solo para diferentes usos do solo, a figura 3 mostra resultados de uma simulação tridimensional ($\Delta x = \Delta y = 8\text{km}$) comparando a umidade do solo entre 2 cenários diferentes (para mais detalhes sobre essas simulações, (Gobbi et al., 1998): (a) situação atual com o lago e com a região predominantemente agrícola em torno do mesmo; (b) uma floresta de $200\text{km} \times 200\text{km}$ foi colocada no centro do domínio, tentando reconstituir qualitativamente a situação que anterior ao desmatamento que ocorrera na

região décadas atrás. Pode-se notar que após 28h de simulação a umidade do solo na região central do domínio no caso (b) está aproximadamente 15% maior que no caso (a).

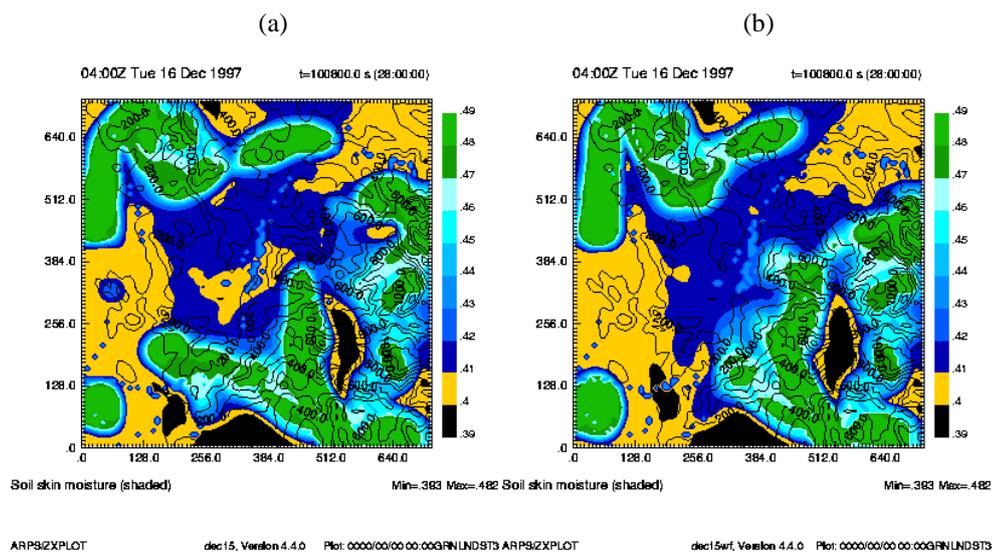


Figura 3 - Umidade do solo após 28 horas de simulação tridimensional ($\square x = \square y = 8\text{km}$). (a) cenário atual (agricultura, com o lago); (b) floresta na região central (200kmx200km).

A figura 4 mostra para as mesmas simulações da figura 3 a umidade específica do ar no nível da superfície. Repare que há pequenas modificações na região central do domínio. A figura 5 mostra um resultado similar ao da figura 4, porém o cenário é o seguinte: o lago foi removido, mas a vegetação no lugar do lago foi mantida próxima ao que existe hoje no entorno do mesmo. Essa simulação portanto deve ser comparada com a da figura 4(a) para se ter uma idéia do impacto do lago na região. Pode-se notar que as diferenças são praticamente inexistentes, o que não é de se espantar tanto, se considerarmos as escalas com as quais estamos trabalhando nestas simulações: o domínio é extremamente grande (640000km^2) e o lago ocupa apenas uma pequena região de aproximadamente 1350km^2 .

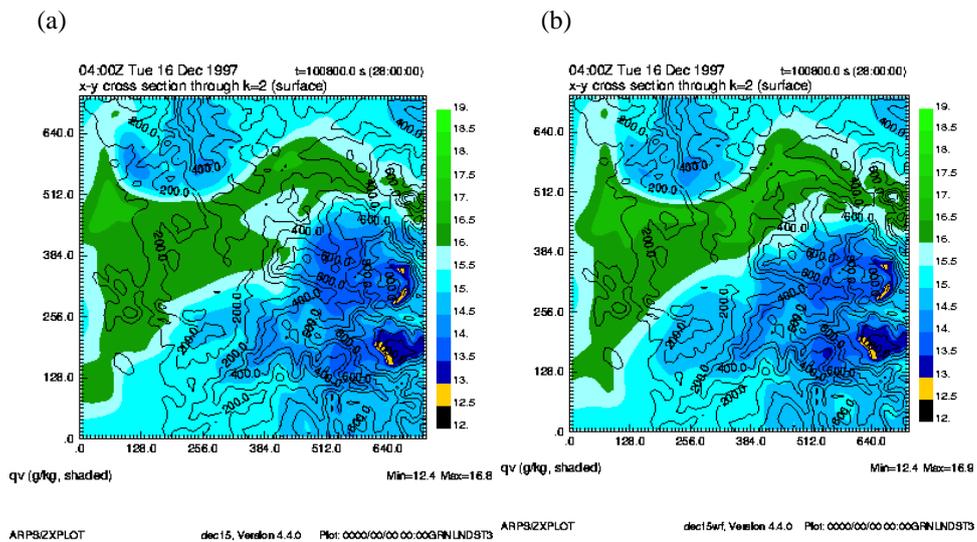
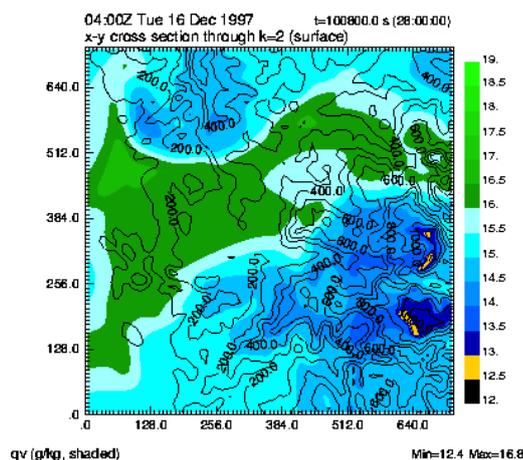


Figura 4 - Umidade específica do ar logo acima da superfície após 28 horas de simulação tridimensional ($\Delta x = \Delta y = 8\text{km}$). (a) cenário atual (agricultura, com o lago); (b) floresta na região central (200kmx200km).



ARPS/2XPLOT dec15sw, Version 4.4.0 Plot: 0000/00/00 00.00GPNLNDST3

Figura 5 - Umidade específica (g/kg) do ar logo acima da superfície após 28 horas de simulação tridimensional ($\square x = \square y = 8\text{km}$). Cenário de antes da construção do reservatório (agricultura, sem o lago).

Simulações bidimensionais

Para se ter uma idéia da influência mais localizada do lago, é preciso que se faça simulações em escalas menores que as mostradas anteriormente. Como o lago de Itaipu possui uma orientação norte-sul com geometria essencialmente bidimensional na direção leste-oeste, para facilitar a análise dos resultados, e poupar custos computacionais, optamos por fazer simulações bidimensionais com resolução espacial de $\square x = 0,5\text{km}$, com o primeiro nível do modelo a 20m de altura. Para se obter o máximo de influência do lago possível, todas as simulações nesta seção foram feitas admitindo que o ar está inicialmente completamente seco, e que a umidade do solo e da vegetação local (culturas agrícolas) são extremamente baixas (no ARPS, em unidade de altura: 0,0001m). Todas as simulações utilizaram vento nulo nas inicializações das velocidades, temperaturas do solo e da água iguais a 20°C. Primeiramente fizemos simulações com superfície constante (sem topografia) com o lago ocupando 8km (largura) no centro. Estas simulações são essencialmente qualitativas. Todas as figuras no restante deste trabalho são vistas bidimensionais na vertical ($x-z$). A figura 6 mostra a evolução da umidade do ar até que a mesma atingisse um regime *quasi*-permanente (após 17h a umidade não aumentou substancialmente, além disso, as condições de contorno radiativas começaram a contaminar a solução, o que é indesejável). A simulação foi inicializada às 00:00h local do dia 11/06/1999. Repare que a umidade após 17 horas de simulação, a evaporação do lago foi capaz de aumentar a umidade do ar em, no máximo, 0,14g/kg a uma distância

não maior que 5km da margem direita do lago, que é uma quantidade irrisória quando comparada com a umidade específica do ar em condições normais, que é de 10 a 20g/kg.

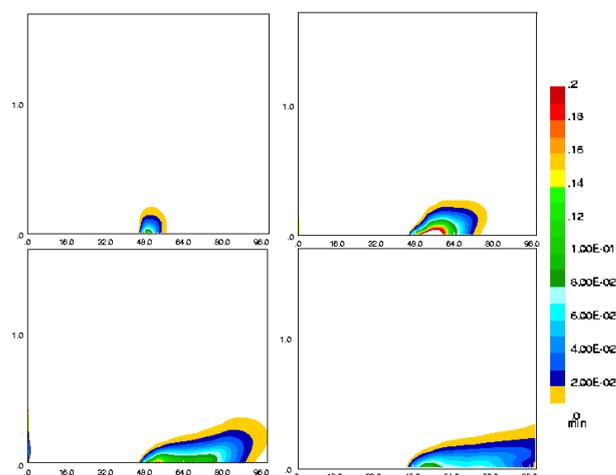


Figura 6 - Seqüência de umidade específica (g/kg) após (esquerda para direita, cima para baixo) 2, 9, 15, e 17 horas de simulação bidimensional ($\square x=0,5\text{km}$), iniciada à 00:00h, 11/06/1999. Lago com 8km no centro. Superfície horizontal.

Repare que apesar da simulação ter sido inicializada com vento nulo, pequenas perturbações numéricas foram suficientes para que a simetria do problema fosse rapidamente quebrada pelas não-linearidades das equações e pode-se notar o desenvolvimento de uma camada limite na metade direita do domínio. A figura 7 mostra resultados de velocidades para a mesma simulação após 2h e 8h. Repare que após 2h (painel superior) o campo de velocidades é típico de uma situação de brisa noturna sobre um lago. Mais tarde, o escoamento sobre o lago claramente se estabelece para o sentido leste e forma a camada limite da figura. Repare nos valores consideráveis de velocidades.

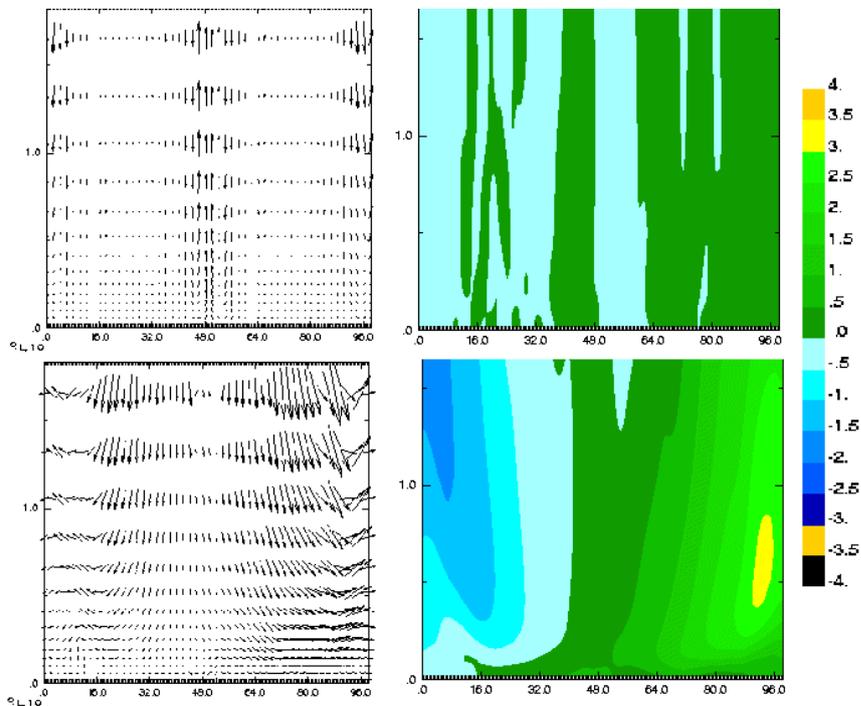


Figura 7 - Vetores velocidade (esquerda) e velocidades horizontais (direita) (m/s) após 2h (acima) e 8h (abaixo) de simulação bidimensional ($\Delta x=0,5\text{km}$), iniciada à 00:00h. Lago com 8km no centro. Superfície horizontal.

A figura 8 mostra resultados de umidade específica do ar após 3h, 6h, 9h, e 12h de uma simulação idêntica ao caso anterior, exceto pela presença da topografia real da região. Repare que neste caso a topografia acentuada no lado leste do domínio causa um forte escoamento para oeste, e a camada limite desta vez se forma nesse sentido.

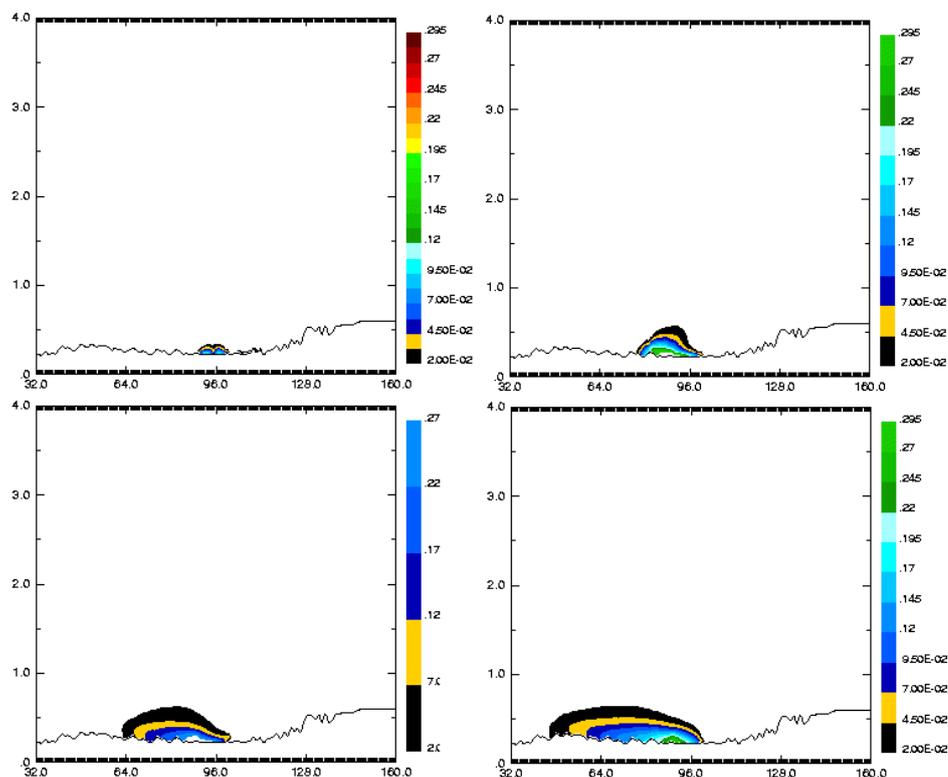


Figura 8 - Seqüência de umidade específica (g/kg) após (esquerda para direita, cima para baixo) 3, 6, 9, e 12 horas de simulação bidimensional ($x=0,5\text{km}$), iniciada à 00:00h, 11/06/1999. O lago está aproximadamente no centro e a superfície é um corte da topografia real.

As simulações bidimensionais acima foram feitas com inicialização à noite. É interessante olharmos para o caso em que se faça inicialização durante o dia. Esta é a idéia da simulação cujos resultados estão na figura 9, que mostra após 7h de simulação a temperatura, a umidade específica, a velocidade horizontal u , e a velocidade vertical w . Repare que desta vez, a situação é a de uma brisa de lago (divergência) com subsidência sobre o lago, e com a água tendendo a esfriar o ar imediatamente acima. A exemplo dos casos anteriores, nesta simulação a umidade específica ficou bastante baixa (máxima abaixo de $0,2\text{g/kg}$) mesmo após muitas horas de simulação (não mostrado).

Como último exemplo fizemos uma simulação idêntica à anterior, porém com a inicialização no mês de dezembro, quando a incidência de radiação é bastante maior

(mantivemos a temperatura do solo e água em 20°C, embora saibamos que este valor seja provavelmente baixo). A figura 10 mostra uma seqüência de velocidades, umidades específicas após 5h, 8h, e 12h de simulação. Após 12 horas de simulação a umidade não aumentou e a simulação foi interrompida. Repare que desta vez os processos convectivos são bem mais intensos, estabelecendo uma sistema bem caracterizado de brisa lacustre. Note que a advecção lateral neste caso é praticamente inexistente, e a "pluma" de umidade fica confinada nas proximidades do lago por uma forte subsidência, exceto quando encontra uma célula de convecção, que tende a levar o ar úmido para cima. Note também a forte influência da topografia, neste caso mais evidente que em qualquer outro. A umidade específica, neste caso teve seu máximo em aproximadamente 0,8g/kg, porém concentrada em uma região menor que nos casos anteriores. Ainda assim, este é um número relativamente pequeno se comparado a valores de umidade específica corriqueiros (principalmente no verão da região de Itaipu).

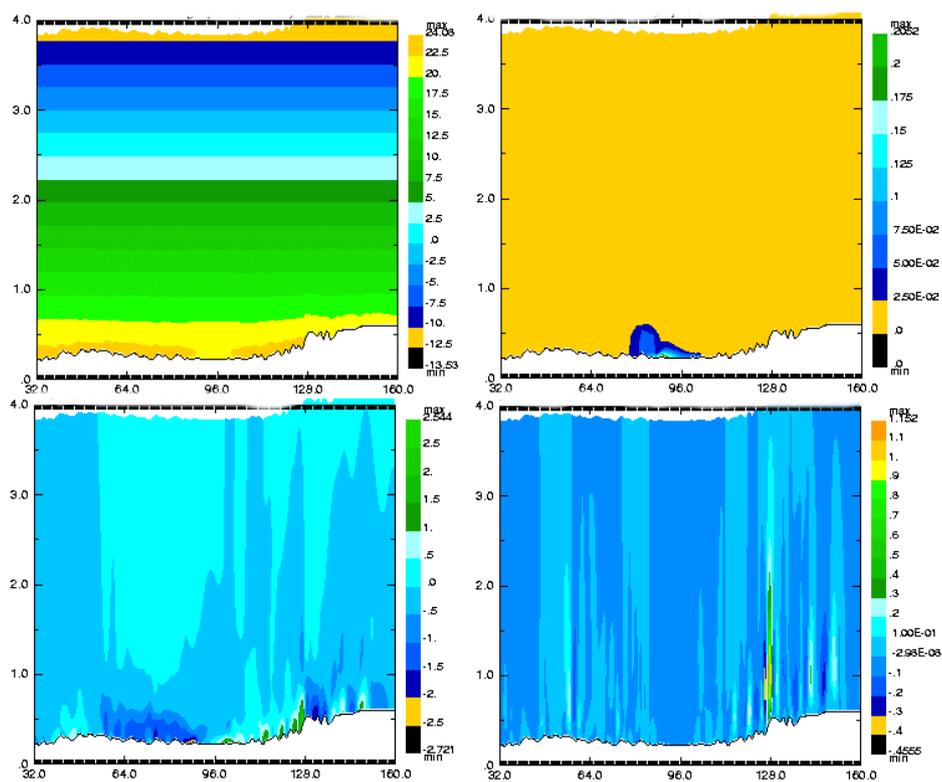


Figura 9 - Temperatura (°C) (esquerda, acima), umidade específica (g/kg) (direita, acima), velocidade horizontal (m/s) (esquerda, abaixo), e velocidade vertical (m/s) (direita abaixo), após 7 horas de simulação bidimensional ($x=0,5\text{km}$), iniciada à 12:00h,

11/06/1999. O lago está aproximadamente no centro e a superfície é um corte da topografia real.

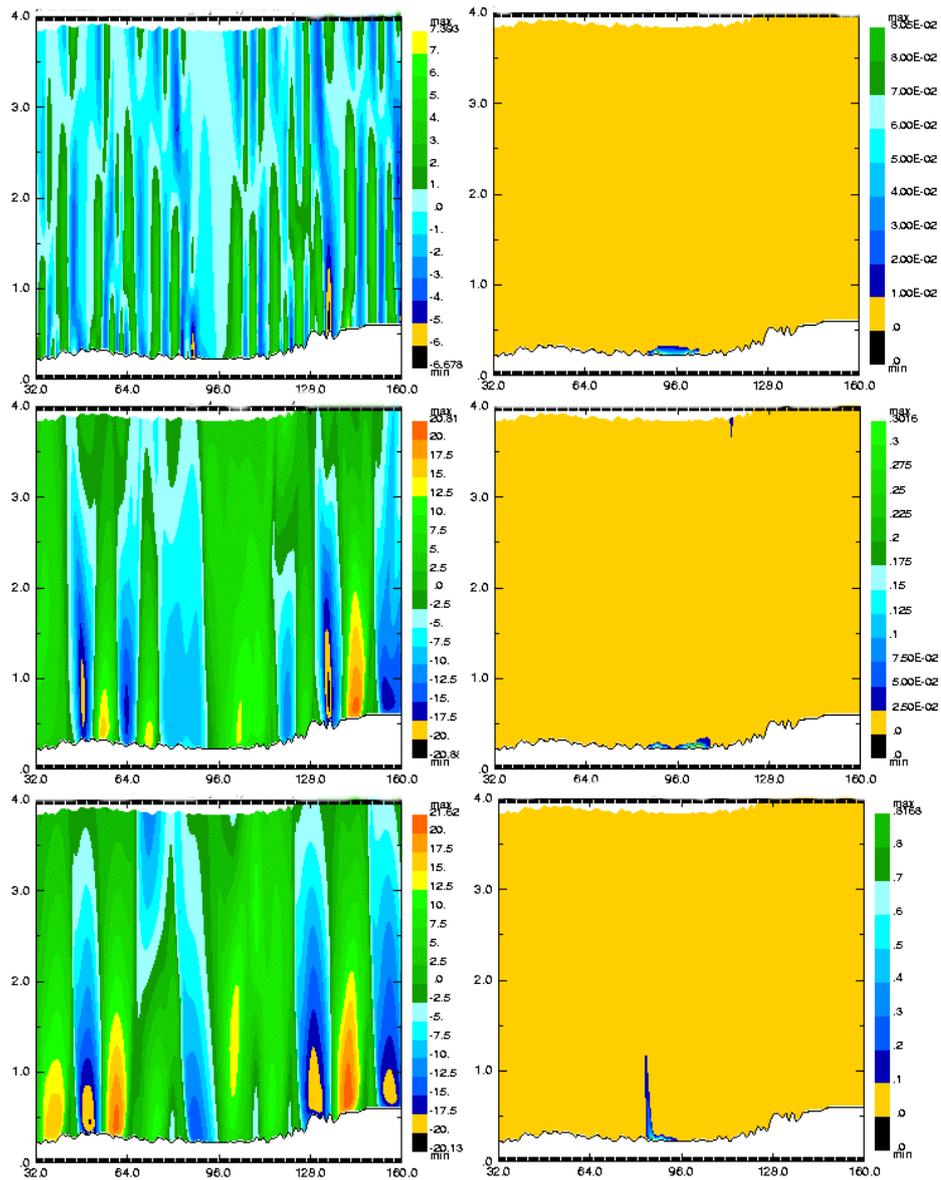


Figura 10 - Velocidade horizontal (esquerda), e umidade específica (direita), após 5h, 8h, e 12h simulação bidimensional ($\Delta x=0,5\text{km}$), iniciada à 12:00h, 11/12/1998. O lago está aproximadamente no centro e a superfície é um corte da topografia real.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Similarmente às conclusões chegadas nas simulações tridimensionais realizadas pelos autores em trabalhos anteriores (Gobbi et al., 1998), ilustradas parcialmente neste trabalho nas figuras 3, 4, e 5, as simulações bidimensionais mostram que a influência do lago de Itaipu na umidade da região têm muito pouco efeito no regime de umidade em escalas espaciais maiores que a micro-escala. Para responder de forma mais quantitativa à questão do impacto do lago em uma região, se fazem necessárias simulações de longo prazo utilizando inicializações realistas (análises), assim como condições de contorno que não contaminem a solução a longo prazo. De preferência, o ideal é se utilizar contornos o mais longe possível da região de interesse para que erros nas mesmas influenciem pouco o balanço de massa de água na atmosfera. Este tipo de simulação só é possível havendo plena disponibilidade computacional de alto desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DIAS, N. L., Okawa, C. M. P., Grodzki, L., Kan, A., Araújo, A. A. M., Nazareno, Rocha, L. S., e Sanchez, S. D. (1998), Relatório ii do projeto mesolit: instalação de estações meteorológicas e resultados das medições micrometeorológicas. Relatório Técnico Projeto HG-79 Relatório Técnico 5, SIMEPAR, Curitiba, PR, Brasil.
- GOBBI, M. F., Araújo, A. A., Dias, N. L., e Kan, A. (1998), Relatório IV do projeto Mesolit: Relatório final da fase 1. Relatório Técnico 006/97, Simepar, Curitiba.
- NOILHAN, J. e Planton, S., A (1987), Simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Monthly Weather Review*, 117 536--549, 1989.
- OKE, T. R., *Boundary Layer Climates*, Methuen, London.
- ORLANSKI, I (1975)., A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56.
- PIELKE., R. A. (1984), *Mesoscale meteorological modeling*. Academic Press, San Diego.
- XUE, M., Droegemeier, K. K., Wong, V., Shapiro, A., e Brewster, K. (1995), *Advanced Regional Prediction System -- ARPS version 4.0 User's Guide*. Center for Analysis and Prediction of Storms, University of Oklahoma, 1995.