

ISSN 0104-1347

O uso da energia eólica no bombeamento d'água, em Pelotas, RS¹

The use of wind power in the water pumping, in Pelotas RS, Brazil

Luís Eduardo Torma Burgueño² e João Baptista da Silva³

Resumo - No presente trabalho, teve-se como objetivo obter estimativas para o bombeamento d'água, em Pelotas, RS, com a utilização de cataventos. Os dados de bombeamento d'água ($m^3 \cdot dia^{-1}$) em função da velocidade média do vento ($m \cdot s^{-1}$) foram obtidos de um experimento instalado na Fazenda Energética da CEMIG, em Uberaba, MG, no ano de 1988 e permitiram estimar uma equação de regressão linear. Os dados da velocidade média do vento extraídos das tabelas de probabilidades para os níveis de probabilidade de 25, 50 e 75% (BAPTISTA DA SILVA & LARROZA, 2001) foram usados para avaliar o potencial de bombeamento eólico d'água em Pelotas. Para tal, estimou-se uma equação de regressão linear entre os volumes d'água bombeados ($m^3 \cdot dia^{-1}$) e a velocidade média do vento ($m \cdot s^{-1}$) registrados em Uberaba, MG. Por meio desta equação, avaliaram-se os volumes d'água esperados para os ventos incidentes em Pelotas, nos três níveis de probabilidade estudados. Mesmo para uma situação mais conservadora (25%), os volumes d'água bombeados justificam a aquisição de um catavento, visto que o investimento seria recuperado em no máximo três anos, quando comparado com os custos do serviço prestado pela autarquia municipal. Portanto, os resultados obtidos mostraram-se bastante promissores para diversas aplicações nas pequenas propriedades agrícolas da região.

Palavras-chave: energia eólica, probabilidades, bombeamento d'água, velocidade do vento.

Abstract- The present work aim to estimate the water pumping in Pelotas, RS, using windmills. The relation between the wind speed and the water pumping was obtained from an experiment at Fazenda Energética of CEMIG, in Uberaba, MG, in 1988, which allowed us to estimate a equation of linear regression. The dates of wind average speed was taken of probabilities tables, for the levels of 25, 50 and 75% (BAPTISTA DA SILVA & LARROZA, 2001), and used to appreciate the eolic potential water pumping ($m^3 \cdot day^{-1}$) at Pelotas. It was estimated a linear regression equation between the water pumping volumes ($m^3 \cdot day^{-1}$) and the wind average speed ($m \cdot s^{-1}$) on records from Uberaba, MG. Through the equation it was possible to evaluate the expected volumes related to the incident winds in Pelotas, on the three probabilities levels studied. Even in a conservative situation (25%) of the pumping water volumes, the use of a eolic windmill is justifiable and the initial investment would be returned in three years, when comparated to the water cost provide by the civil service. Therefore, the obtained results are promising for various applications in small rural properties.

Key words: wind power, probabilities, water pumping, wind speed.

¹Trabalho realizado com financiamento do CNPq e da FAPERGS.

²Estudante de Engenharia Agrícola (UFPel), Bolsista de Iniciação Científica da FAPERGS.

³Engenheiro Agrônomo, Livre Docente, Doutor em Ciências, Bolsista do CNPq, Prof. Titular (aposentado) do Instituto de Física e Matemática (UFPel).

Introdução

A água, elemento vital desde as mais antigas civilizações e indispensável a todas as atividades produtivas é um patrimônio comum de toda a humanidade. O acesso condiciona o desenvolvimento econômico e as condições sanitárias de uma região. Não restam dúvidas hoje de que a crescente escassez e o mau aproveitamento da água doce constituem-se numa grave ameaça ao desenvolvimento sustentável e à sobrevivência da própria humanidade.

Em função da importância da água na implantação e no desenvolvimento das pequenas propriedades rurais e agroindústrias, deve levar-se em conta a necessidade urgente de uma utilização racional no uso dos recursos hídricos. A acirrada competição pelo recurso entre a agricultura, a indústria e as cidades já está restringindo as atividades em muitos países. À medida que as populações se expandem e as economias crescem, a competição por este escasso recurso se intensificará e, também os conflitos entre os usuários d'água.

Uma alternativa de acesso à água em comunidades isoladas e não servidas de redes de abastecimento e distantes de rios e lagos é a utilização das águas subterrâneas. Na utilização da água subterrânea na agricultura, deve considerar-se para o bom aproveitamento do recurso os seguintes fatores que estão, de certa forma, relacionados entre si: a proporção de sódio em relação ao cálcio e ao magnésio, a salinidade total da água, a permeabilidade do solo, a pluviometria da área e a tolerância das culturas à salinidade.

Outro fator limitante do desenvolvimento de pequenas propriedades rurais é a disponibilidade de energia. O aporte energético dessas áreas, portanto, deve ser considerado como prioritário, possibilitando a melhoria das condições de vida, aumentando a produtividade do trabalho e, conseqüentemente, fixando significativas parcelas da população em seus locais de origem.

Segundo a contagem de população realizada pelo IBGE em 1996, dos 5.507 municípios existentes, apenas 503 possuem população acima de 50.000 habitantes e apenas 213 superam os 100.000 habitantes, o que significa que 90% dos municípios brasileiros poderiam ser atendidos por centrais elétricas de até 10MW (CBEE, 2001). Ademais, uma parte substancial da população dos países do Terceiro Mundo ainda não tem acesso à eletricidade, particular-

mente em áreas rurais (cerca de dois bilhões de pessoas), para onde a extensão das formas de suprimento de energia convencional são completamente inviáveis. Por outro lado, formas de produção local, a exemplo, pequenos aerogeradores, poderiam vir a representar uma solução definitiva para suas necessidades de energia elétrica ou ainda a utilização de cataventos no bombeamento de água do subsolo para o uso agrícola e doméstico. Isto sugere a necessidade de um novo modelo energético que, por considerar as diversas fontes energéticas alternativas, deve ser tomado como prioritário no estabelecimento do desenvolvimento rural sustentável, ao equacionar os objetivos ambientais com os de aumento da produtividade, mantendo certa eficiência social, a fim de evitar maior exclusão dos pequenos produtores rurais.

O aproveitamento da energia contida no vento pode auxiliar estas comunidades no processo de emancipação e auto-sustentabilidade. Isto representa um desafio, não apenas do ponto de vista institucional, de descentralizar e ampliar a matriz energética nacional, mas também do ponto de vista técnico, por projetar e desenvolver equipamentos de geração de energia para baixas velocidades de vento. Os modelos de turbinas eólicas produzidos hoje, inclusive no Brasil, têm sua implantação viabilizada somente em regiões com velocidades médias superiores a 5 m.s^{-1} . Outro fator que merece atenção são os cataventos, que aproveitam a energia mecânica do vento no bombeamento de água e outros usos agrícolas e domésticos. Normalmente são máquinas de construção rústica, simples e merecem a atenção de técnicos, pesquisadores e das agências de fomento a fim de que disponibilizem recursos para desenvolvimento dessas máquinas de maneira a torná-las mais eficientes.

Sendo a velocidade do vento uma variável aleatória, é importante salientar a ocorrência de variabilidade mensal, nos valores médios estimados dentro de uma série de anos. Esta inevitável variação que ocorre nos eventos meteorológicos justifica a utilização de análises mais criteriosas para a estimativa dos valores a serem assumidos como constantes para uma determinada região, análises estas relacionadas à distribuição de frequência dos valores estimados (SAAD & SCALLOPI, 1988). Em seus estudos PARK et al. (1979) consideram que a velocidade média anual do vento varia de um ano para outro em torno de 10%, observando porém que em alguns locais foram verificadas variações de até 30%. Nos procedimentos usuais de estimativa do potencial eólico de uma região, a caracterização de um valor médio de veloci-

dade do vento pode não ser o mais indicado, pois que uma análise probabilística do evento a partir de uma série de dados apresenta-se como um procedimento mais criterioso (VIEIRA et al., 1988).

Embora a maioria dos autores procurem distribuições probabilísticas que melhor se ajustem aos dados, a metodologia usada por BAPTISTA DA SILVA et al. (1999) para construir tabelas de probabilidades baseia-se na aproximação dos dados à distribuição normal, o que pode ser obtido pela transformação de dados, quando necessário. A vantagem deste procedimento é que os dados transformados ficam disponíveis para serem usados por outros métodos que exijam a normalidade.

Pelas características da região de Pelotas, com alta disponibilidade de água e inúmeras pequenas propriedades rurais, busca-se neste trabalho, a partir das tabelas da velocidade média pentadal[†] do vento, já construídas (BAPTISTA DA SILVA & LARROZA, 2001), estimar as vazões possíveis de serem obtidas com o uso de um catavento do tipo multipás, de modo que os pequenos agricultores possam, com o auxílio desta fonte inesgotável e renovável, prover o abastecimento d'água de suas instalações, de forma econômica e em equilíbrio com o ambiente.

Material e métodos

Os valores da velocidade do vento usados para estimar-se os potenciais de bombeamento eólico d'água foram extraídos das tabelas de probabilidades da velocidade média pentadal do vento, construídas a partir dos registros diários da Estação Agroclimatológica de Pelotas (latitude: 31°52'S, longitude: 52°21'W, altitude: 13,2 metros), situada no Campus da UFPel - Universidade Federal de Pelotas. Foram escolhidos das tabelas os valores das velocidades médias pentadais estimadas para os níveis de probabilidade de 25, 50 e 75%, (primeiro, segundo e terceiro quartís, respectivamente) conforme apresentados na Figura 1, transcritas de BAPTISTA DA SILVA & LARROZA (2001).

Os dados de bombeamento foram obtidos a partir de um experimento instalado na Fazenda Energética de Uberaba, MG (latitude: 19°43'S, longitude: 47°55'W, altitude: 720 metros) no convênio

CEMIG/EPAMIG/EMATER, no ano de 1988. Os valores da capacidade de bombeamento d'água são referentes a um catavento da marca Kenya do tipo multipás de alto torque para baixas velocidades. Foi instalado sobre uma torre metálica de nove metros de altura e acionava uma bomba que recalrava água de um poço a nove metros de profundidade, elevando-a até um reservatório instalado a três metros acima do solo, que abastecia bebedouros para bovinos.

A avaliação do desempenho consistiu no monitoramento e análise dos dados de velocidades médias do vento no local e o volume diário de água bombeado. Para medição do volume de água bombeada, foi instalado um hidrômetro na tubulação de recalque. A leitura do hidrômetro era realizada diariamente em um mesmo horário de modo a representar a vazão a cada 24 horas.

Como se pode ver na Figura 2, os dados do eixo vertical, à esquerda, referem-se ao volume d'água bombeado ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$) para as correspondentes velocidades médias do vento (km.h^{-1}), no eixo vertical à direita, nos 12 meses do ano.

Um coeficiente de correlação linear simples (r) foi estimado para X , velocidade dos ventos (m.s^{-1}) e Y , volume d'água bombeada ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$) e testado pelo teste t . Posteriormente, buscou-se uma equação linear que relacionasse as duas variáveis. Para tal, foi usada uma análise de regressão linear (ANOVA) e, pelo método dos mínimos quadrados, pode estimar-se os parâmetros que definem o modelo.

Considerando como verdadeira esta relação entre as variáveis X e Y , o que será confirmado pelos testes de significância, vamos utilizá-la para os dados disponíveis das velocidades médias pentadais do vento em Pelotas de modo a obter-se estimativas das vazões possíveis de serem atingidas, com cataventos de mesmas características, para alguns níveis de probabilidade⁵.

Resultados e discussão

O coeficiente de correlação linear dos valores de X e Y apresentou um valor de $r=0,93$, positivo, e significativo a 1% ($t=8,0$).

[†]Pentada é um conjunto de cinco dias consecutivos. A primeira pentada do ano compreende o período de 1 a 5 de janeiro, a segunda de 6 a 10 de janeiro, ..., até a última de 27 a 31 de dezembro. A última pentada de fevereiro representa os cinco dias de 25 de fevereiro a 1° de março nos anos comuns e cinco dias médios do mesmo período nos anos bissextos (5/6 do total dos seis dias).

⁵A conversão dos valores das tabelas de probabilidades estimadas a 7 metros de altura do solo para 9 metros, representam aumentos insignificantes de apenas 4%, que foram desconsiderados.

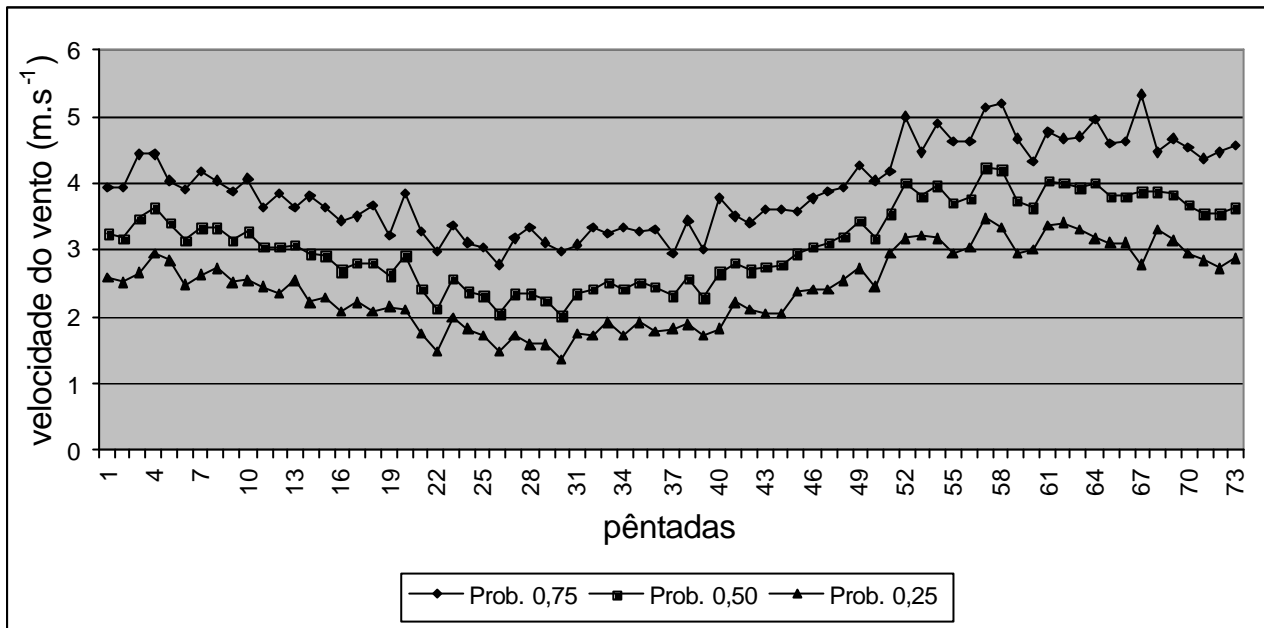


Figura 1. Estimativas da velocidade média do vento (m.s^{-1}), a 7 metros do solo, para os níveis de probabilidade de 25, 50 e 75%, nas 73 pênadas do ano, na Estação Agroclimatológica de Pelotas, RS.

O teste F da análise da variação indicou uma alta significância do efeito linear do volume d'água bombeado ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$) com a velocidade média do vento (m.s^{-1}). A equação linear estabelecida pela análise de regressão apresentou um coeficiente de determinação, $r^2=0,87$, indicando um ajuste adequado aos dados observados. A equação ajustada é a seguinte: $\hat{Y} = -9,04 + 4,95 X$, $X \in \{2,8; 4,9\}$ (m.s^{-1}), por meio da qual pretende obter-se estimativas do volume de água bombeada (Y_i), por um equipamento com as mesmas características, nas condições de ventos (X_i) de Pelotas (Campus da UFPel).

Os valores estimados, para os três níveis de probabilidade estudados (Figura 3), mostraram-se satisfatórios, o que significa uma disponibilidade de água suficiente para diversas atividades nas pequenas propriedades rurais da região, com volumes superiores a cinco mil litros diários, em média, para a maioria das pênadas. Nos níveis de probabilidade de 50 e 75%, os valores variaram ao longo do ano, de 1,08 a 11,96 m^3 e de 4,60 a 17,29 m^3 , respectivamente. Entretanto, no intervalo compreendido entre as pênadas 22 e 40, com nível de probabilidade de 25%, os valores estiveram muito próximos de zero. Pode

observar-se também que o período em que ocorrem os maiores valores de vazão d'água é o da primavera/verão, na qual se verificam as maiores exigências no consumo d'água, tanto doméstico como agrícola. Pode considerar-se que neste período, em 50% dos anos (entre os níveis de probabilidade de 25 e 75%), o volume de água bombeado ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$) encontra-se compreendido entre os valores de 8,16 $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$ (pênada 16) a 17,29 $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$ (pênada 67).

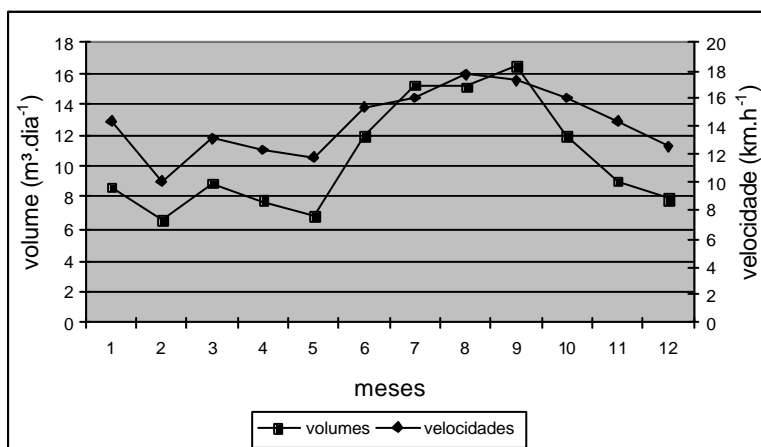


Figura 2. Dados de volumes bombeados em função da velocidade do vento, fornecidos pela CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais, 1988.

O custo da água servida fornecida pelo SANEP – Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas - autarquia da Prefeitura Municipal de

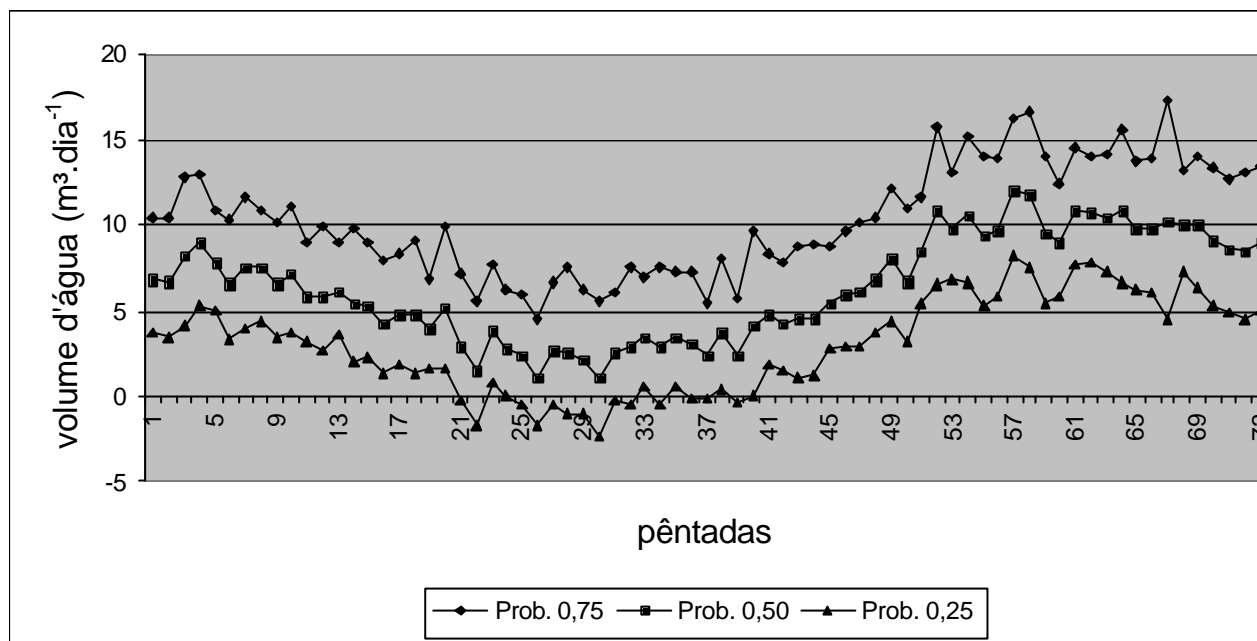


Figura 3. Volumes de água bombeados ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$) estimados em função dos valores da velocidade média pentadal do vento ($\text{m}.\text{s}^{-1}$), em Pelotas, RS.

Pelotas, responsável pelo abastecimento da cidade e zonas rurais do município é de R\$ 1,16 por metro cúbico, para um consumo de até $20 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$. Acima deste limite os valores são bastante acrescidos. Considerando-se que esta água pudesse ser substituída por água subterrânea ou de superfície, sem grandes perdas na qualidade, poder-se-ia, em tal situação, usar um catavento. O custo de um equipamento como aquele utilizado no experimento referido no trabalho, é de aproximadamente R\$ 3.960,00. Mesmo numa estimativa mais conservadora de ocorrência de ventos (probabilidade de 25%), obter-se-ia, em um ano, uma economia de aproximadamente R\$ 1.368,00, usando um catavento, comparativamente ao custo d'água fornecido pela autarquia municipal. Tendo-se em conta que o cálculo foi feito para R\$ 1,16 por metro cúbico de água (preço para um consumo de até $20 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$), a economia estimada seria muito superior à indicada, pois consumos acima de 20 m^3 têm seu preço aumentado. Acrescente-se ao acima exposto o fato de que inúmeras propriedades rurais encontram-se localizadas muito distantes das redes de abastecimento d'água do SANEP. Estas informações, ainda que estimadas, são um bom indicador das possibilidades, reais e viáveis, da utilização racional dos recursos naturais renováveis, no caso, a energia eólica, nas pequenas propriedades rurais da região.

Conclusões

O modelo de ajuste linear $Y_i = -9,04 + 4,95X_i$ ($r^2 = 0,87$) estabelecido a partir dos dados de volume de água bombeada (Y_i) e da velocidade média dos ventos (X_i) registrados na Fazenda Energética de Uberaba, MG, para um catavento Kenya do tipo multipás, foi estatisticamente significativo.

As estimativas dos volumes de água bombeados mostraram-se bastante promissoras para o uso da água em pequenas propriedades rurais na região, acima de cinco mil litros diários, em média, principalmente nos períodos de mais alto consumo.

Os custos com a aquisição de um catavento seriam ressarcidos em, no máximo três anos de uso, comparativamente aos custos d'água servida pela autarquia municipal, representando uma alternativa economicamente viável.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Eng. Agrônomo João Carlos Coutinho, da Fazenda Energética da CEMIG, pela gentileza em disponibilizar os dados do experimento sobre bombeamento d'água.

Referências bibliográficas

BAPTISTA DA SILVA, J., LARROZA, E.G. Probabilidades de ocorrência de diferentes velocidades dos ventos em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 91-99, 1999.

BAPTISTA DA SILVA, J., LARROZA, E.G. **Velocidade dos ventos em Pelotas, RS: médias pentadais e máximas pentadais. Tabelas de probabilidades**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas. Instituto de Física e Matemática, 2001. 26 p. (Boletim Técnico, n. 3).

CBEE – **Centro Brasileiro de Energia Eólica**. Disponível em : <<http://www.eolica.com.br>>, Acesso em: 20/12/2001.

PARK, L.G. *et al.* **Planning manual for utility application of wecs**. Michigan: U.S. Department of Energy. Division of Distributed Solar Technology, 1979. 243 p.

SAAD, J. C.C., SCALOPPI, E.J. Análise dos principais métodos climatológicos para a estimativa da evapotranspiração. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: ABID, 1988. v. 2, p. 1037-1052.

VIEIRA, A.R.R., MARQUES JUNIOR, S., SILVA, L.Z. Proposição da estimativa do potencial eólico de uma região. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10. 1998, Brasília, DF. **Anais...**, Brasília: SBMET, 1998. AG – 98046 (CD Room).