

Análise de textura em produtos de sensoriamento remoto aplicada a energia eólica

Vanessa Cristina Oliveira de Souza^{1,2}
Arcilan Trevenzoli Assireu¹
Sergio Henrique Franchito²

¹ Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI/Itajubá
Caixa Postal 50 - 37500 903- Itajubá - MG, Brasil
{vanessa.vcos, assireu}@gmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
sergio.franchito@cptec.inpe.br

Abstract. Renewable energy sources have been the subject of many studies, due to the increasing world interest in clean energy. The installation of a wind farm depends on several studies related to intensity and direction of the winds and morphometric aspects of land cover. One of the factors considered in wind power assessment is wind speed profile. Frictional forces, related to roughness of the surface layer, play an important role when dealing with wind speed profile. In this paper is proposed the application of the Haralick Method (HM) of texture classification to characterize the roughness over complex surface land cover. The HM was applied to digital elevation model relative to 3 different regions from São Paulo State where anemometric towers were installed. Results show that the HM is able to detect geomorphologic features related to local wind direction prevalence and that these regions have smoother textures.

Palavras-chave: texture, roughness, haralick, textura, rugosidade, ASTER GDEM.

1. Introdução

A busca por fontes renováveis para geração de energia elétrica tem aumentado nos últimos anos, incentivada especialmente por preocupações com o meio ambiente, com os altos preços de combustíveis fósseis e com o aumento de consumo em regiões industriais e residenciais. Países do mundo inteiro têm incentivado e implementado soluções alternativas para geração de energia.

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio de aerogeradores, nas quais a força do vento é captada por hélices ligadas a uma turbina que aciona um gerador elétrico. A quantidade de energia transferida é função da densidade do ar, da área coberta pela rotação das pás (hélices) e da velocidade do vento (Manwell *et al.*, 2002).

O Brasil possui um alto potencial eólico ainda pouco explorado, exceto por algumas iniciativas isoladas. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), apenas 1,47% (cerca de 1.7⁻⁶ GW) da potência gerada atualmente no país advém da energia eólica (ANEEL, 2012). No entanto, o *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*, elaborado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), mostra um potencial bruto de 143,5 GW, o que torna a energia eólica uma alternativa complementar importante à fonte hidrelétrica, predominante no sistema brasileiro.

A instalação de um parque eólico não é tarefa simples. As características operativas da usina eólica são fortemente dependentes do regime local dos ventos e podem variar muito de uma estação do ano para outra em um mesmo local, e seu uso fica limitado a lugares de ventos fortes e relativamente constantes (Leite *et al.*, 2006). A variação da velocidade do vento pode acontecer ainda em função do horário do dia, do relevo e das características do solo.

Segundo Holmes (2001), o regime de ventos em determinado local é o resultado da interação entre processos atmosféricos de grande escala e efeitos locais associados,

principalmente, a aspectos fisiográficos tais como: proximidade de montanhas, grandes lagos e oceano. Nestas áreas, desenvolvem-se sistemas de ventos locais que em grande parte determinam as características do regime de ventos influenciando aspectos de interesse para a geração eólica de energia elétrica.

Os modelos de vento simulam o comportamento do vento acima da camada limite atmosférica, determinada pela faixa de ar próxima ao solo que sofre influência da viscosidade do ar em contato com o terreno. Os modelos geram então um perfil do vento que varia à medida que se aumenta a altura em relação ao solo, podendo ser modelada pela seguinte equação (Justos e Mikhail, 1976):

$$V(z) = V(z_r) \left(\frac{z}{z_r} \right)^n \quad (1)$$

Onde,

$V(z)$ = velocidade na altura z

z = altura acima do solo

z_r = altura de referência

n = coeficiente de extrapolação

O valor do coeficiente n varia conforme rugosidade do terreno. Para calcular o valor de n para uma determinada região é preciso ter a velocidade do vento medida em duas alturas diferentes.

Este trabalho faz um estudo preliminar sobre o uso de outras metodologias para determinar n a partir da rugosidade do terreno. A hipótese testada é que é possível conhecer a rugosidade por meio de descritores de textura aplicados a modelos digitais de elevação. O objetivo foi aplicar descritores baseados em matrizes de co-ocorrência sobre o modelo digital de elevação do ASTER GDEM.

1.1. Descritores Texturais

Textura é um conceito intuitivo que descreve suavidade, rugosidade e regularidade da região (Haralick *et al.*, 1973). É uma das características mais importantes para classificar e reconhecer objetos, e pode ser caracterizada por variações locais em valores de pixels (níveis de cinza) que se repetem de maneira regular ou aleatória ao longo do objeto ou imagens. Pode ser definida ainda, como efeito visual que é produzido pela distribuição espacial de variações de tonalidade (Fernandes, 2005).

Para medir as características texturais de um objeto, Haralick *et al.* (1973) propuseram a matriz de co-ocorrência dos níveis de cinza, a qual é uma tabulação de diferentes combinações de valores de intensidade dos pixels que ocorrem em uma imagem. A matriz de co-ocorrência é uma matriz quadrada que tem como tamanho a quantidade de níveis de cinza da imagem a ser analisada. As combinações de ocorrência entre os níveis de cinza são calculadas nos ângulos 0, 45, 90 e 135°. Cada par i, j da matriz de co-ocorrência apresenta a quantidade de vezes em que o tom de cinza i apareceu na direção θ , a uma distância d , do tom de cinza j .

Haralick *et al.* (1973) definiram ainda 14 medidas texturais que derivam da matriz de co-ocorrência. Segundo Baraldi e Parmiggiani (1995), dentre as 14 medidas estatísticas propostas originalmente, as de maior relevância são: o segundo momento angular (2), o contraste (3), a correlação (4), a entropia (5), a variância (6) e a homogeneidade (7).

$$sma = \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=2}^{Ng} (p(i, j))^2 \quad (2)$$

$$contraste = \sum_{n=0}^{Ng-1} n^2 \left\{ \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} p(i,j) \right\} \quad (3)$$

$$correlação = \frac{\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=2}^{Ng} (ij)p(i,j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (4)$$

$$entropia = - \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=2}^{Ng} p(i,j) \log(p(i,j)) \quad (5)$$

$$variância = \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=2}^{Ng} (i - \mu)^2 p(i,j) \quad (6)$$

$$homogeneidade = \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=2}^{Ng} \frac{p(i,j)}{1 + (i - j)^2} \quad (7)$$

1.2. Modelo Digital de Elevação

Um modelo digital de elevação (MDE) é uma representação matemática contínua da distribuição espacial das variações de altitude numa área. Atualmente, com a popularização dos produtos de sensoriamento remoto, é cada vez mais comum os modelos digitais de elevação orbitais.

Os produtos ASTER GDEM¹ são modelos digitais de elevação construídos a partir de pares estereoscópicos de imagens oriundas da plataforma EOS AM-1 com o instrumento ASTER, sensor VNIR. Para obtenção dos dados de elevação da superfície o sensor opera no modo estereoscópico com as bandas 3N (nadir) e 3B (*backward*) correspondentes a faixa do infravermelho próximo (0,78 – 0,86 μm). Este produto apresenta uma resolução espacial de 30m, recobre todo globo terrestre e é disponibilizado gratuitamente (Rodrigues *et al.*, 2010).

2. Metodologia de Trabalho

O trabalho seguiu os passos definidos no fluxograma da figura 1 e detalhados nas próximas sessões.

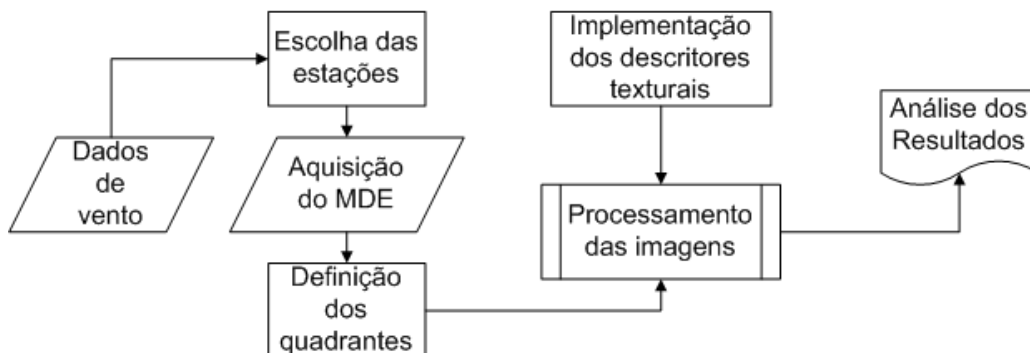


Figura 1 : Fluxograma de atividades.

Séries temporais de vento entre os anos de 2009 e 2012, de 13 estações do estado de São Paulo foram analisadas por meio de suas respectivas rosa dos ventos e visualização das séries para verificar anomalias. O *software* WRPlot foi utilizado para gerar a rosa dos ventos e a série temporal foi plotada no *software* MatLab®. Dessa primeira análise, duas estações foram descartadas. Das 11 estações restantes, foram escolhidas 3 : Andradina, Rio Claro e Três

¹ <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/> - acesso em 15/11/2012

Lagoas, escolhidas sob os critérios de que duas delas possuem aspectos morfométricos parecidos (Andradina e Três Lagoas) enquanto Rio Claro é muito diferente das duas.

Para as estações de Três Lagoas e Andradina, a cena do ASTEM GDEM foi a de número S21W052, já para a estação de Rio Claro, a cena foi a de número S23W048.

2.1. Áreas de Estudo

A estação de Andradina está localizada em 20°46'1" S e 51°15'31" O, numa altitude de 400m. O vento na região é predominante na direção sudeste, com intensidade média de 5.2m/s, com rajadas que chegam a 100m/s (figura 2). A estação de Rio Claro está localizada no ponto 22°24'1" S e 47°42'38" O, numa altitude de aproximadamente 600m. O vento na região é predominantemente de norte, com intensidade média de 1.27m/s, com rajadas que chegam a 100m/s (figura 3). Já a estação de Três Lagoas está localizada nas coordenadas 20°47'7" S e 51°39'57" O, numa altitude de aproximadamente 320m. O vento na região é predominantemente de leste, com intensidade média de 6.48m/s, com rajadas que chegam a 100m/s (figura 4). A estação de Três Lagoas fica entre a cidade e uma represa.

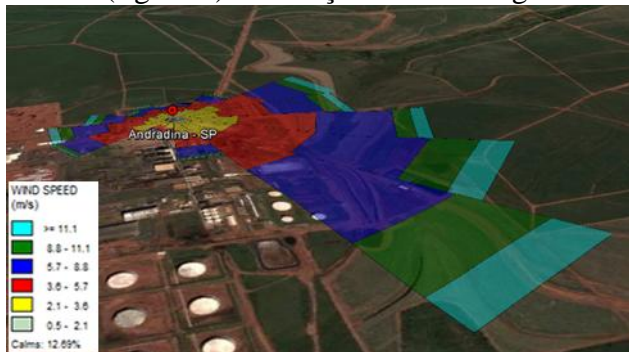


Figura 2 : Localização e rosa dos ventos da estação de Andradina/SP.

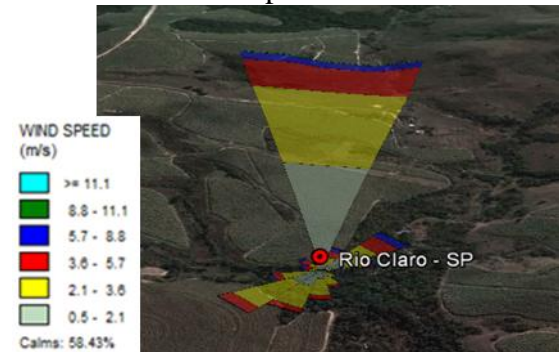


Figura 3 :Localização e rosa dos ventos da estação de Rio Claro/SP.

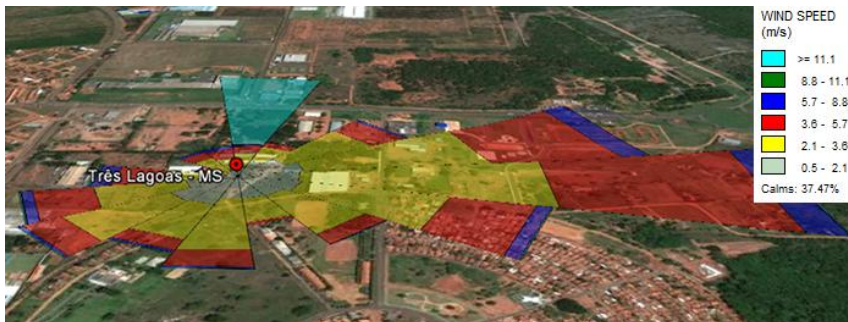


Figura 4 :Localização e rosa dos ventos da estação de Três Lagoas/SP.

2.2. Definição dos quadrantes para avaliação

Em torno de cada estação, traçou-se quatro quadrantes, com duas áreas distintas, uma de 3x3 quilômetros e outra de 10x10 quilômetros. Além dos quadrantes convencionais, traçou-se também um quadrante triangular na direção predominante do vento, seguindo a metodologia descrita por Assireu *et al.* (2011). Esses triângulos foram traçados dentro da área de 3x3 e de 10x10 km e faziam um ângulo de 90° com a estação. A figura 5 ilustra esse procedimento para a estação de Três Lagoas. O *software* utilizado foi o GlobalMapper®, versão 8.0.

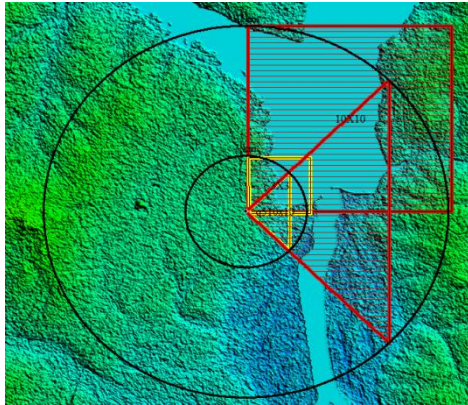


Figura 5: Definição dos quadrantes norte/nordeste e de direção predominante do vento para avaliação dos descritores de textura. As figuras em vermelho são para a avaliação do terreno a 10km de distância da estação. As figuras em amarelo avaliam o relevo em até 3km da estação. A área do quadrado vermelho é de 100km^2 e a do amarelo, de 9km^2 . A área do triângulo vermelho é de 50km^2 e a do amarelo, de 4.52km^2 .

2.3. Implementação dos descritores texturais

A matriz de co-ocorrência e os descritores segundo momento angular, contraste, correlação, entropia, variância e homogeneidade foram implementados na linguagem de programação C, utilizando o ambiente de desenvolvimento do NetBeans 6.9.1. A implementação seguiu o algoritmo tradicional de matriz de co-ocorrência. A única diferença é que a matriz gerada não possuía tamanho 255×255 , como nas imagens espectrais convencionais. A matriz gerada possui número de linhas e colunas iguais ao número de diferentes altitudes encontradas em cada quadrante estudado. Para tanto, apenas a parte inteira da cota de altitude foi levada em consideração para montar a matriz de co-ocorrência.

As seis medidas acima citadas foram implementadas também levando em consideração que os índices i, j da matriz são, na verdade, cotas de altitude e não intensidade de nível de cinza.

Gerou-se uma matriz para cada direção $\theta : 0, 45, 90$ e 135° e os descritores são avaliados em cada uma delas.

2.4. Processamento das imagens

Os cinco quadrantes gerados foram recortados e exportados em formato ASC. O programa implementado lê o arquivo de dados que contém, além dos valores de cotas de altitude, o número de linhas e colunas da imagem. Os quadrantes de 3×3 km continham 106 colunas e 98 linhas. Já as imagens da área de 10×10 km continham 350 colunas e 325 linhas. Os quadrantes triangulares da área de 3×3 km possuíam 150 colunas e 70 linhas e o de 10×10 km possuía 496 colunas e 231 linhas.

Cada imagem foi processada para cada direção e também com janelas de vizinhanças de 1 pixel e de 3 pixels. O programa grava os resultados em um arquivo texto explorado posteriormente.

3. Resultados e Discussão

Os resultados dos descritores texturais foram planilhados. As medidas de contraste, correlação e variância deram valores muito altos e foram normalizados para facilitar a visualização dos resultados. Para cada descritor calculou-se a média obtida nas quatro direções, para cada tamanho de área (3 ou 10 km^2) e janela de vizinhança (1 ou 3 pixels).

Na estação de Andradina, onde o vento é predominante na direção sudeste e, portanto, no quadrante 2 e no quadrante triangular, chamado Q5, três descritores foram capazes de diferenciar a região predominante do vento : segundo momento angular (SMA), também chamado de energia, contraste e homogeneidade, todos com resultados melhores na área de 3×3 km (figuras 6, 7 e 8).

Para a estação de Rio Claro, onde o vento é predominante de norte, o melhor quadrante para se avaliar seria o quadrante triangular Q5. Para essa estação, apenas o descritor

homogeneidade, com área 3x3 e janela de 3 pixels foi capaz de diferenciar bem o quadrante em questão (figura 9).

Para a estação de Três Lagoas, onde o vento é predominante de leste, o melhor quadrante para se avaliar também seria o quadrante triangular 5. Os quadrantes 1 e 2 também merecem atenção nesse caso, visto que o vento não é muito concentrado em uma única direção. Para essa estação o SMA e a homogeneidade deram bons resultados. No entanto, essa estação tem um particular, por estar muito próxima a uma represa. O quadrante 1, tanto a 3 quanto a 10km, cobre parte da represa, o que influencia os resultados. Como visto nas figuras 10 e 11, o quadrante 1 aparece bem ressaltado nessas medidas, especialmente devido a baixa rugosidade que um corpo d'água apresenta.

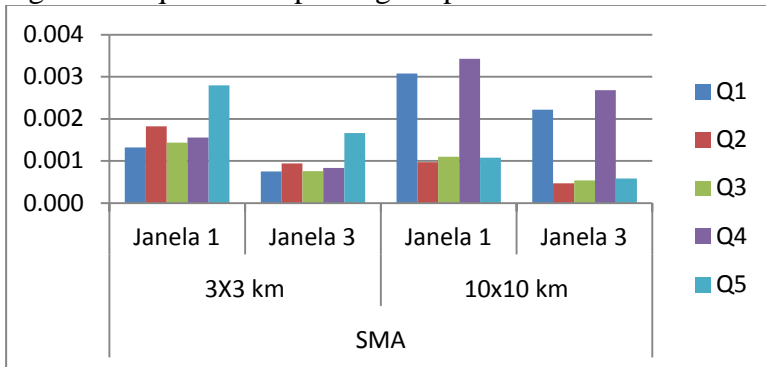


Figura 6 : Médias encontradas para o descritor segundo momento angular para a estação de Andradina. Verifica-se que o quadrante 5 aparece ressaltado na área de 3x3km, tanto com vizinhança de 1pixel, como na de 3 pixels.

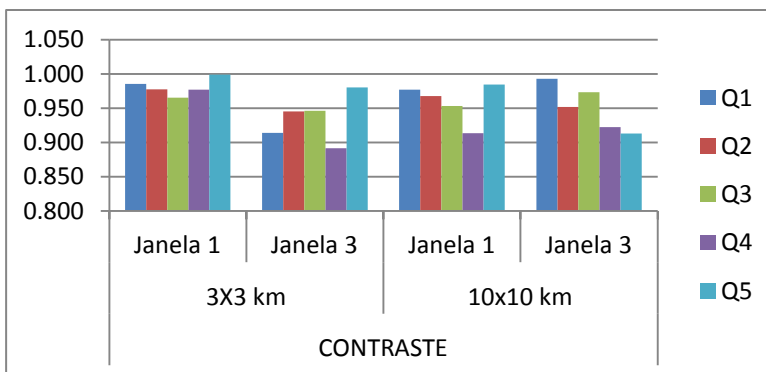


Figura 7 : Médias encontradas para o descritor contraste para a estação de Andradina. Verifica-se que o quadrante 5 aparece ressaltado na área de 3x3km, especialmente com vizinhança de 3 pixels.

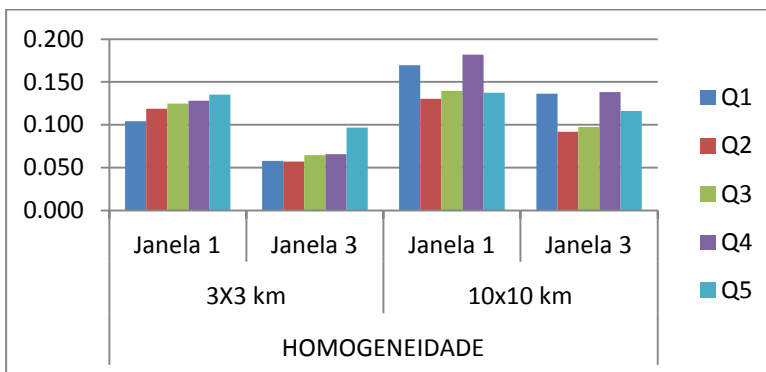


Figura 8 : Médias encontradas para o descritor homogeneidade para a estação de Andradina. Verifica-se que o quadrante 5 aparece ressaltado na área de 3x3km, especialmente com vizinhança de 3 pixels.

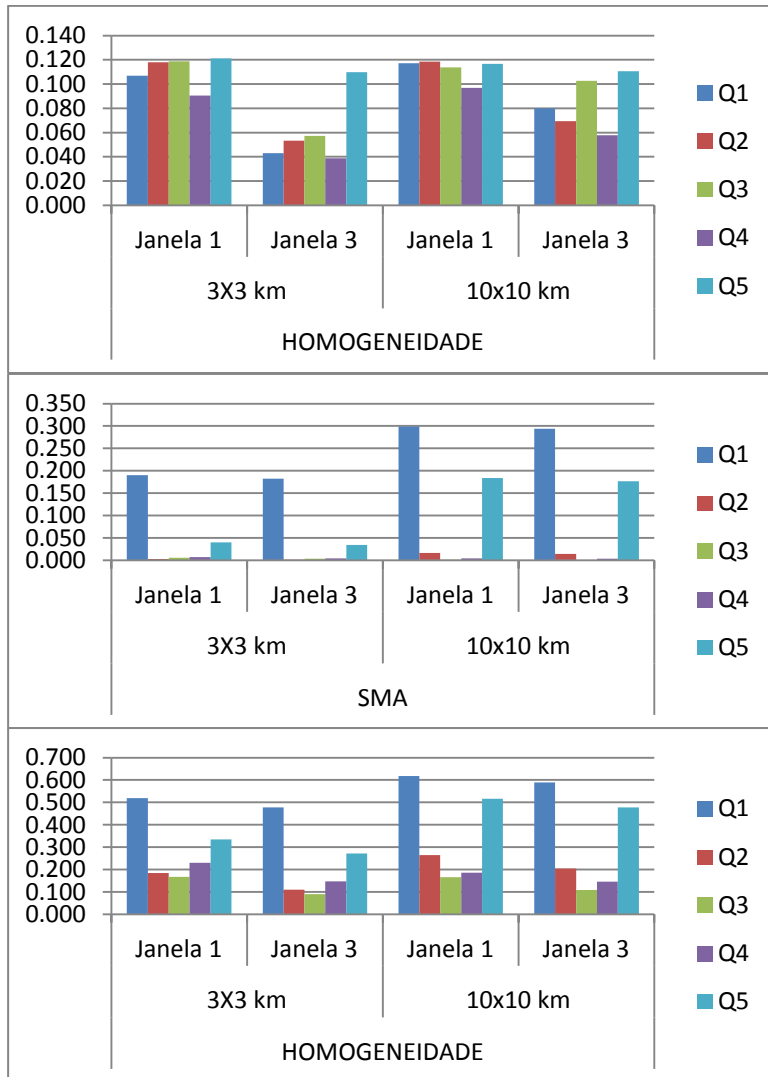


Figura 9 : Médias encontradas para o descritor homogeneidade para a estação de Rio Claro. Verifica-se que o quadrante 5 aparece ressaltado na área de 3x3km, com vizinhança de 3 pixels.

Figura 10 : Médias encontradas para o descritor segundo momento angular para a estação de Três Lagoas. Verifica-se que os quadrantes 1 e 5 aparecem ressaltados em todas as combinações de área e vizinhança.

Figura 11 : Médias encontradas para o descritor homogeneidade para a estação de Três Lagoas. Verifica-se que os quadrantes 1 e 5 aparecem ressaltados em todas as combinações de área e vizinhança.

Sendo assim, os descritores Homogeneidade, SMA e Contraste foram os que obtiveram melhores resultados para diferenciar os quadrantes de direção predominante do vento. O descritor Homogeneidade foi o que obteve melhores resultados nas três áreas de estudo. A área de 3x3 km, com vizinhança de 3 pixels foi também a combinação que obteve os melhores resultados.

O segundo momento angular mede a uniformidade da textura, ou seja, a quantidade de repetições de pares de pixels. Essa medida terá valores altos quando os valores da matriz de co-ocorrência estiverem concentrados. O contraste corresponde à diferença entre os valores mais altos e mais baixos de um conjunto de pixels contíguos. Uma imagem com valor baixo nesse parâmetro não é necessariamente caracterizada por uma distribuição de tons de cinza estreita, mas sim por uma baixa frequência espacial, possuindo valores da matriz de co-ocorrência concentrados próximos à diagonal principal. Já para a homogeneidade, valores elevados correspondem a pequenas diferenças tonais entre os pixels vizinhos. Essa medida é sensível a valores próximos à diagonal da matriz de co-ocorrência e, portanto, ao baixo contraste da textura (Francisco *et al.*, 2012; Ito *et al.*, 2012).

Os resultados indicaram que o terreno nas direções predominantes do vento apresentam texturas mais finas, o que equivale a dizer que a rugosidade nestes setores é menor.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho evidenciou que técnicas de extração de textura podem ser utilizadas para caracterizar a rugosidade do terreno em modelos de vento. Outros descritores texturais propostos por Connors *et al.* (1984) também serão testados, assim como outras formas de obter a matriz de co-ocorrência, como proposto por Ito *et al.* (2012).

Estudos estão em andamento para correlacionar os valores numéricos encontrados com a rugosidade nesses modelos e serão comunicados em breve. Essa correlação é importante porque permitirá extrapolar os modelos de vento mais facilmente e em maiores escalas.

Referências Bibliográficas

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. BIG – Banco de Informações de Geração. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>>. Acesso em: 16 de novembro de 2012.

Assireu, A., Pimenta, F., Souza, V.C.O.; **Assessment of the Wind Power Potential of Hydroelectric Reservoirs**. In: Enner Herenio de Alcantara. (Org.). Energy Resources: Development, Distribution and Exploitation. Energy Resources: Development, Distribution and Exploitation. : Nova Science Publishers, 2011.

Baraldi, A.; Parmiggiani, F. An Investigation of the Textural Characteristics Associated with Gray Level Co-occurrence Matrix Statistical Parameters. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p.293-304, 1995.

Connors, R. W., Trivedi, M. M. e Harlow, C. A. Segmentation of a high-resolution urban scene using texture operators. **Computer vision, graphics and image processing**, v.25, p.273-310, 1984.

Fernandes, S. C. **Avaliação de imagens de satélite de alta e muito alta resolução espacial para a discriminação de classes de uso e ocupação do solo : aplicação ao caso da sub-bacia do córrego Capão Comprido no Distrito Federal**. 2005. 106p p. (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília.2005.

Francisco, C. N.; Almeida, C. M.; Avaliação de desempenho de atributos estatísticos e texturais em uma classificação de cobertura da terra baseada em objeto. **Bol. Ciênc. Geod.**, Curitiba, v. 18, n. 2, June 2012 .Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-21702012000200008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 16 de novembro de 2012.

Haralick, R. M.; Shanmugam, K.; Dinstein, I. Textural Features for Image Classification. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 3, p. 610-620, 1973.

Holmes, J.D.; **Wind loading of structures**. Londres:Spon Press, 2003.

Ito, R. H.; Kim, H. Y.; Salcedo, W. J. *Classificação de Texturas Invariante a Rotação Usando Matriz de Co-ocorrência*. Disponível em: <http://www.lps.usp.br/~hae/Ito-Kim-Salcedo-Textura.pdf>. Acesso em 16 de novembro de 2012.

Justos, C.G., Mikhail, A.; Height variation of wind speed and wind distribution statistics. **Geophys. Res. Lett.**, 3, 261-264. 1976.

Leite, A. P.; Falcao, D. M.; Borges, Carmen L.T.. Modelagem de usinas eólicas para estudos de confiabilidade. **Sba Controle & Automação**, Campinas, v. 17, n. 2, jun. 2006 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592006000200006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 16 de novembro de 2012.

Manwell, J.F.; McGowan, J.G., Rogers, A.L. **Wind Energy – Theory, Design and Application**. Ed. John Wiley & Sons, LTD. 2002.

Rodrigues, T.L., Debiasi, P., Souza, R.F.; Avaliação da adequação dos produtos ASTER GDEM no auxílio ao mapeamento sistemático brasileiro. IN: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3, 2010, Recife/PE, **Anais...**