



XXIII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

FI/GLT/12
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO- GLT

INFLUÊNCIA DO DESMATAMENTO SOBRE A VELOCIDADE DO VENTO E NA QUEDA DE TORRES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

João A. Vasconcelos (*)
UFMG

Ramón M. Valle
UFMG

Rubens S. Tostes
UFMG

Johnnattann P. Guedes
Eletrobrás Eletronorte

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar os efeitos do desmatamento sobre a velocidade do vento em topografias reais, com coberturas topográficas variadas. Para isto, um trabalho de sensoriamento remoto é realizado para uma região do estado de Mato Grosso (Brasil), para se obter a real cobertura do solo da região de interesse e sua interferência na velocidade do vento a baixas alturas. Esta região de interesse está localizada em torno de uma linha aérea de transmissão de energia elétrica que passa por diferentes tipos de vegetação. O modelo numérico é implementado no software comercial Ansys CFX 12.1.

PALAVRAS-CHAVE

Camada Limite Atmosférica, Modelo Numérico, Linha aérea de transmissão, Desmatamento do solo.

1.0 INTRODUÇÃO

O estudo da Camada Limite Atmosférica (CLA) buscando a compreensão dos processos de transporte nas proximidades do limite inferior do domínio atmosférico é de suma importância para vários campos do conhecimento como a engenharia, a meteorologia e o ambiental. A velocidade do vento depende de vários fatores dentre os quais do relevo e da rugosidade do solo. Este trabalho estuda como o desmatamento da cobertura vegetal influencia a velocidade do vento em uma região. Este estudo possibilita as empresas de energia elétrica a analisar, por exemplo, de quanto será o aumento da velocidade do vento ao longo de uma linha de transmissão caso ocorra o desmatamento da vegetação presente na região e se este aumento da velocidade poderá ocasionar algum dano às estruturas das torres.

Para avaliar a influência da variação da rugosidade do terreno nas características do escoamento em uma CLA, foi desenvolvido um procedimento baseado em sensoriamento remoto para extrair os dados de uma superfície e implementar estes parâmetros em simulações numéricas de regiões reais. Este estudo foi baseado em um modelo numérico hidrodinâmico já validado, desenvolvido no Laboratório de Termofluidodinâmica Computacional do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG (1) e (2) e aplicado em estudos de camada limite no setor elétrico pelo Laboratório de Computação Evolucionária da UFMG (3).

Em Mecânica dos Fluidos, a rugosidade de uma superfície é compreendida como a caracterização de uma escala de comprimento, K , que descreve a irregularidade de uma determinada superfície e a sua respectiva influência no escoamento. Um dos primeiros trabalhos sobre a influência da rugosidade no atrito em escoamentos turbulentos foi apresentado por Nikuradse (4), definindo na ocasião a "rugosidade de grão de areia" K_s , como sendo a rugosidade equivalente de uma determinada superfície capaz de reproduzir, em termos médios, os mesmos efeitos de uma superfície coberta por grãos de areia de uma determinada magnitude. Neste trabalho, a rugosidade do terreno é tratada apenas como um fator que altera o perfil de velocidades na região ao longo de uma linha de transmissão. O software utilizado (Ansys-CFX 12.1) possui modelos matemáticos para o devido tratamento, sendo necessário apenas indicar o parâmetro de rugosidade absoluta (ϵ) de cada tipo de superfície (rios, árvores, grama, etc.) que caracterizam a região onde ocorre o escoamento. A metodologia utilizada para avaliação da rugosidade utiliza fotos recentes de satélite, onde são consideradas todas as diferentes coberturas de vegetação na região analisada. Geralmente, uma região de desmatamento representa uma cobertura homogênea de grama baixa ou uma cobertura baixa de vegetação enquanto que uma região não desmatada representa uma cobertura de floresta

(*)Laboratório de Computação Evolucionária - Departamento de Engenharia Elétrica - UFMG
Av. Pres. Antônio Carlos, nº 6627 - sala 2108 - Bloco 2 - CEP 31.270-010 - Belo Horizonte, MG, Brasil
Tel.: (+5531) 3409-4826 - E-mail: jvasconcelos@ufmg.br

fechada, que caracteriza a vegetação nativa da região.

Embora nos dados coletados experimentalmente as velocidades médias sejam relativamente baixas para a região em análise, há a necessidade de analisar velocidades mais altas do vento, responsáveis pela ruptura de cabos e quedas de torres das linhas de transmissão. Estas velocidades altas, geralmente, ocorrem por instantes pequenos de tempo, mas podem ser responsáveis pela queda de torres e problemas sérios no balanço das cadeias de isoladores, prejudicando a transmissão de energia. Pelo fato destas velocidades altas dos ventos ocorrerem por pequenos instantes, estas não são representativas nos dados coletados, mas, como dito anteriormente, podem ser as responsáveis por graves danos nas linhas de transmissão. Quando as torres são projetadas, são considerados no projeto os esforços mecânicos que elas deveriam suportar de acordo com a NBR5422 (5). Por outro lado, é importante também analisar a influência da rugosidade do solo, de forma a obter relações desta variável para várias intensidades do vento. Deste modo, o presente trabalho tem o objetivo de analisar o comportamento do vento na região para vários regimes de velocidade, incluindo valores acima das médias experimentais obtidas com as estações climatológicas instaladas na região.

Com esta finalidade são usadas no programa condições de entrada de vento acima das médias experimentais e analisados os campos de velocidade na região em função da rugosidade do solo.

2.0 METODOLOGIA

Foram analisados ventos de entrada de 6,4 m/s, 10 m/s, 14 m/s e 20 m/s, e observadas as relações das velocidades com a rugosidade do solo para estas condições de contorno. A análise da velocidade do vento na região de interesse, utilizando o modelo de Camada Limite Atmosférica, foi realizada para quatro condições diferentes de cobertura do solo:

- 1) Considerando toda a região com a cobertura vegetal de grama baixa, correspondendo a uma situação hipotética em que toda a região foi desmatada (rugosidade constante);
- 2) Considerando toda a região com a cobertura vegetal de mata fechada, correspondendo a uma situação hipotética em que não houve nenhum desmatamento (rugosidade constante);
- 3) Considerando as coberturas vegetais obtidas de fotos de satélites do ano de 2001, período em que a linha de transmissão de energia foi construída.
- 4) Considerando as coberturas vegetais obtidas de fotos de satélites de 2013, considerando o desmatamento real acontecido. Neste caso, a cobertura vegetal envolve grandes regiões de desmatamento com pequenas áreas não desmatadas que correspondem a florestas isoladas.

2.1 Rugosidade constante

Foram simulados dois casos considerando a rugosidade constante. Um destes considerando toda a região composta de grama baixa e outro considerando toda a região composta por floresta fechada. O primeiro caso representa uma condição de maior aceleração do escoamento da massa de ar perto do solo, devido à menor influência da rugosidade do terreno. Já no segundo caso, devido à maior rugosidade do terreno, espera-se haver uma diminuição no módulo da velocidade incidente sobre as torres de transmissão.

2.2 Mapa de Rugosidade

Nos casos em que é considerada a cobertura vegetal real do terreno, é implementado o tipo de vegetação de acordo com a imagem de satélite, gerando um mapa de rugosidade da região representando de forma fiel a vegetação existente. Essa análise foi dividida em duas partes. A primeira é baseada na imagem do satélite ResourceSat-1 do ano de 2013, que representa a imagem mais recente da vegetação. A segunda imagem é referente ao ano de 2001 e representa a vegetação existente quando foi construída a linha de transmissão na região. Esta imagem foi obtida pelo satélite Landsat 7. Desse modo, procura-se representar a vegetação atual e a encontrada antes do acentuado desmatamento na região. O procedimento realizado de seleção e importação das imagens de satélite, bem como o processo de tratamento das imagens, até a obtenção do mapa de rugosidade encontra-se detalhadamente na dissertação de Moreira (6).

O georreferenciamento se inicia com a obtenção de imagens de satélite da região em estudo, por meio do endereço eletrônico do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Posteriormente as imagens são trabalhadas no SPRING, um software livre de georreferenciamento disponibilizado pelo próprio instituto. O INPE também disponibiliza um manual do SPRING (7).

As imagens provenientes dos satélites são escolhidas com base em sua qualidade visual e critérios, tais como a baixa cobertura de nuvens em um período de estação seca, o que possibilita uma maior precisão na identificação das características geográficas. Logo, para cada período haverá um satélite mais adequado para que essas imagens sejam trabalhadas.

A Figura 1 mostra a imagem da região de interesse, com os diferentes tipos de vegetação do solo. No centro da imagem é possível verificar a estrela azul, onde, depois de clicada, fornece as opções de extração de imagens com as respectivas datas de fotografia por meio do satélite. O ícone poderá variar dependendo do satélite escolhido.

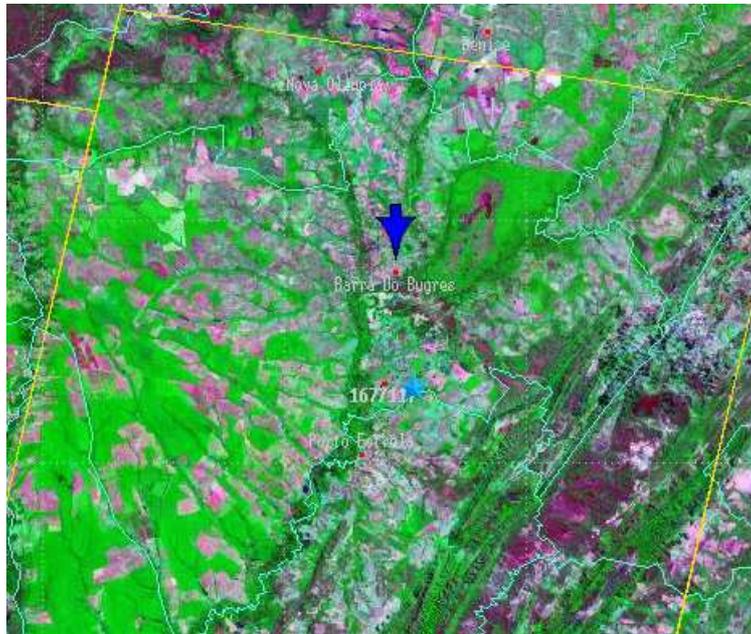


Figura 1 – Imagem apresentando a região de interesse.

As imagens de satélite são compostas pela superposição de imagens correspondentes a diversas bandas do espectro de frequência, caracterizadas pelos seus respectivos nomes e comprimentos de onda. Alguns comprimentos de onda estão associados às cores do espectro visível, o que possibilita a visualização dessas bandas em particular no software SPRING.

Basicamente, após a seleção das imagens de satélite, a metodologia utilizada é constituída pelas etapas descritas a seguir.

2.2.1 União das bandas das imagens

Nessa etapa as bandas de imagens referidas anteriormente são unidas por meio do SPRING em uma única imagem de formato *.tiff* e são delimitadas utilizando o IMPIMA, que é um módulo do programa.

2.2.2 Registro de imagens

Nessa etapa a imagem adquire coordenadas cartesianas. Essas coordenadas são inseridas na imagem com auxílio do software "Google Earth", por onde se adquirem os pontos de controle, que serão inseridos na imagem de satélite, com suas respectivas coordenadas. Essa etapa de registro é realizada para todas as imagens que irão compor a região de interesse.

2.2.3 Mosaico de imagens

Nessa etapa, as imagens já registradas irão ser unidas de modo a compor a região de interesse. Essa etapa também é realizada no SPRING e a imagem resultante já permite visualizar com nitidez as regiões de interesse.

2.2.4 Classificação das imagens

Essa é a última etapa da metodologia realizada no SPRING para obtenção do mapa de rugosidades. Nesta etapa classifica-se a região conforme os tipos de ocupação do solo. Esse passo foi realizado para ambas as imagens de 2013 e de 2001 e os resultados obtidos são exibidos na Figura 2 e na Figura 3.

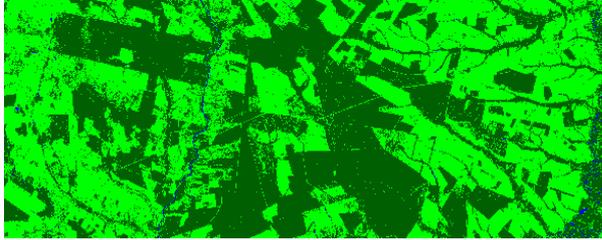


Figura 2 – Imagem classificada do mapa de 2013.

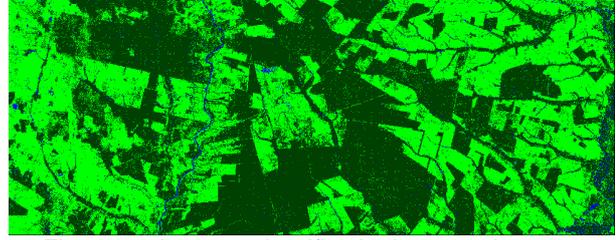


Figura 3 – Imagem classificada do mapa de 2001.

Ao final dessa etapa foi obtida uma imagem com coordenadas geográficas de latitude e longitude, além de uma terceira coordenada atribuída ao tipo de ocupação. A terceira coordenada é utilizada para informação do tipo de rugosidade, substituindo seu valor original por um valor característico da rugosidade daquele dado ponto. Cada cor representa um tipo de cobertura do solo, isto é:

- Região de mata fechada - (verde escuro)
- Região de rios e lagos - (azul)
- Região de grama baixa - (verde claro)

2.2.5 Elevação da topografia em regiões de floresta

A elevação da topografia do terreno em regiões de floresta é necessária por que a rugosidade considera somente as irregularidades no topo das árvores. No caso em estudo, foi considerado uma altura média de 30 m nas regiões de mata densa. Essa altura foi adotada por ser aproximadamente a altura média das árvores locais, que constituem a massa densa da floresta.

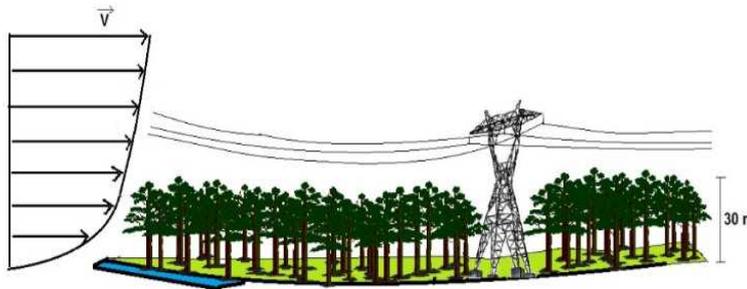


Figura 4 -Desenho esquemático ilustrando a influência das árvores sobre o perfil de vento que incide sobre a torre, atuando como uma barreira.

A elevação em 30 metros da topografia em regiões de mata densa permite captar melhor os efeitos do vento sobre as torres e melhor avaliar seus efeitos sobre regiões onde há desmatamento (Figura 4). Mesmo que haja espaços vazios embaixo da copa das árvores, na prática, a floresta é fechada, não permitindo o escoamento de ar entre as árvores. Desta forma, a rugosidade de 0,3 m a que o modelo de rugosidade se refere acontece sobre as árvores, isto é, o escoamento da massa de ar (vento) ocorre por cima das árvores (Figura 5).

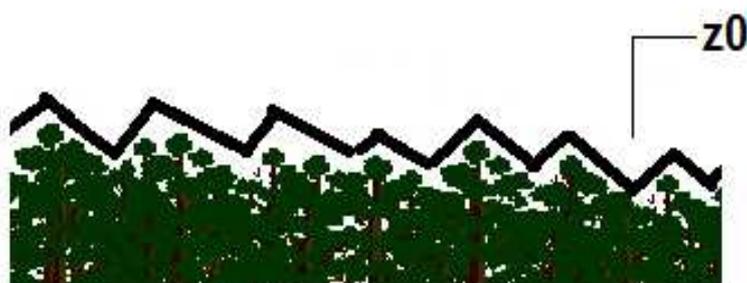


Figura 5 -Perfil de rugosidade (z_0) típico de uma região de floresta fechada.

2.2.6 Domínio de Solução e Teste de Malha

O trecho de linha em estudo pertence à linha Jauru/Coxipó e é compreendido entre as torres 467 e 611, como mostrado na Figura 6. A região de análise é a constituída por um retângulo de 62 km de comprimento e 25 km de largura. Pode ser notado pela figura que a área envolve zonas totalmente desmatadas e pequenas regiões com mata fechada.

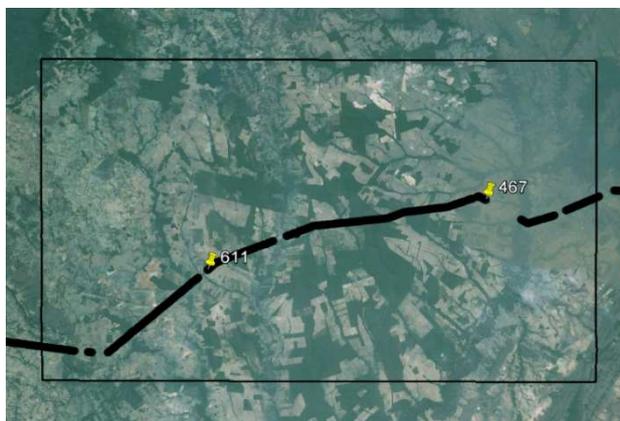


Figura 6 – Domínio físico a ser analisado e posição da linha de transmissão a ser analisada.

Foram geradas várias malhas com refinamentos diferentes e então realizadas simulações com as mesmas condições de contorno em cada uma delas, com o propósito de compará-las e escolher a mais adequada. Os parâmetros das malhas geradas estão evidenciados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de definição no teste das malhas.

Nome da malha		malha1	malha2	malha3	malha4	malha5
n° de nós		521168	1703271	4290301	2079716	3822658
Face spacing	Constant edge lenght	250	150	100	125	112
Default face spacing	Minimum Edge Lenght	250	200	200	200	250
	Maximum Edge Length	1000	300	300	300	320
Default body spacing	Maximum Spacing	1000	300	250	275	265
Inflation	n° layers	15	15	15	15	15
	First prism	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	Expansion factor	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

Nome da malha		malha6	malha7	malha8	malha9	malha10
n° de nós		2604083	1871098	1084713	1163714	1296610
Face spacing	Constant edge lenght	117	137	220	200	180
Default face spacing	Minimum Edge Lenght	270	200	260	230	200
	Maximum Edge Length	370	300	500	460	400
Default body spacing	Maximum Spacing	270	288	600	500	400
Inflation	n° layers	15	15	15	15	15
	First prism	2.5	2.5	2.5	2	2
	Expansion factor	1.2	1.2	1.2	1.15	1.15

A malha adotada nas simulações foi a de menores números de nós e elementos, e que apresentou erros inferiores a 5% em relação ao melhor resultado obtido com a malha mais refinada. A escolha da malha adequada deve ser feita analisando-se o *trade-off*, isto é, o ganho que se tem na precisão dos resultados em termos do aumento no tempo de processamento. A partir desse teste de malha é possível saber até que ponto o refino da malha afeta o resultado obtido e assim saber qual malha é melhor para se efetuarem as diversas simulações previstas no estudo.

Outra forma de comparar os resultados numéricos obtidos com diferentes malhas foi através da obtenção dos perfis de velocidade sobre três linhas verticais ortogonais ao plano xy, traçadas a partir do solo até o limite superior do domínio. As linhas foram traçadas a partir do solo em um ponto de maior elevação, menor elevação, e elevação intermediária.

Após a análise dos diferentes resultados, a malha escolhida como a mais adequada foi a "malha9" da Tabela 1. Uma ilustração dessa malha é apresentada na Figura 7.

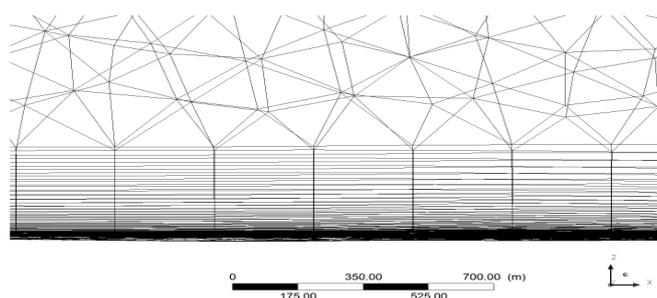


Figura 7 – Detalhes da malha adotada, ilustrando a transição entre elementos prismáticos e tetraédricos.

3.0 RESULTADOS E ANÁLISE

A partir da metodologia apresentada, foi possível obter resultados para cada uma das quatro situações descritas na metodologia: (i) região totalmente desmatada; (ii) região coberta por mata fechada; (iii) região com vegetação de 2013; (iv) região com vegetação de 2001. Para cada situação, foram traçados gráficos da resultante da velocidade no topo de cada torre de transmissão da linha na região de estudo. Para todas as vegetações estudadas (rugosidades), foram feitas simulações com velocidades iguais 6,4; 10; 14 e 20 m/s incidindo na fronteira do domínio de simulação. Para cada caso, foram traçados gráficos da resultante da velocidade do vento no topo das torres, para cada uma das condições de fronteira.

A diferença entre as velocidades no topo de uma torre, para uma mesma condição de fronteira e diferentes rugosidades, é informação importante a ser observada, pois se há um aumento significativo atribuído ao desmatamento, este aumento pode provocar um carregamento na torre superior ao que ela pode suportar.

Comparações da resultante da velocidade considerando a região totalmente coberta de vegetação alta e totalmente desmatada são apresentadas da Figura 8 à Figura 10, respectivamente para as condições de fronteira de 10, 14 e 20 m/s.

Analisando estes resultados, constata-se que aumentos de velocidade de até 40% são alcançados devido ao desmatamento. Esta percentagem máxima de aumento na velocidade se mantém praticamente a mesma para velocidades de 10 até 20 m/s, como mostram as respectivas figuras. Em todos os casos as velocidades máximas acontecem entre as torres 507 a 602 e em outros pontos isolados entre as torres 567 a 572 e 502 a 512.

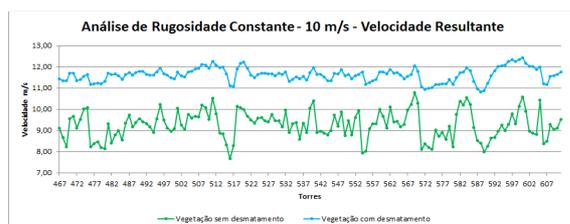


Figura 8 – Comparação da resultante das velocidades considerando a região totalmente desmatada (grama baixa) e sem desmatamento (vegetação alta) para a

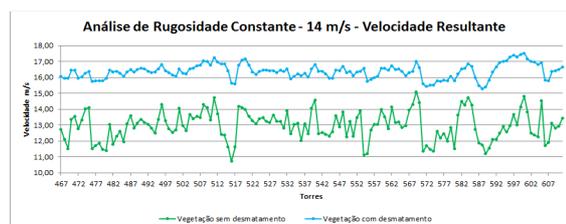


Figura 9 – Comparação da resultante das velocidades considerando a região totalmente desmatada (grama baixa) e sem desmatamento (vegetação alta) para a condição de contorno de 14

condição de contorno de 10 m/s.

m/s.

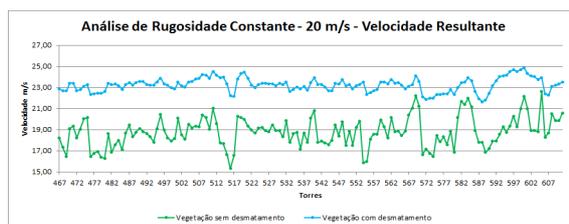


Figura 10 – Comparação da resultante das velocidades considerando a região totalmente desmatada (grama baixa) e sem desmatamento (vegetação alta) para a condição de contorno de 20 m/s.

Uma análise do efeito do desmatamento na velocidade do vento também é realizada comparando-se a vegetação que existia em 2001- quando a linha de transmissão foi construída - e a vegetação existente em 2013. Os resultados foram obtidos para as condições de fronteira de 6,4; 10; 14 e 20 m/s. Da Figura 11 à Figura 13 são apresentados os resultados para as condições de contorno citadas. Pode-se observar que não há grandes alterações na velocidade dos ventos no topo das torres entre 2001 e 2013. Isto se deve ao fato de que a vegetação presente na região nos anos de 2001 e 2013 não é muito diferente. Porém, em alguns trechos específicos houve alterações significativa na vegetação e, conseqüentemente, estas alterações influenciam na velocidade do vento, conforme pode ser observado na Tabela 2. Por exemplo, na torre 586 foi encontrado um aumento de mais de 22% na velocidade do vento de 2001 para 2013, aumento causado provavelmente pelo desmatamento da vegetação presente na região em que se encontra a torre. Resultados para outras torres com diferenças significativas nos valores da velocidade são apresentados.

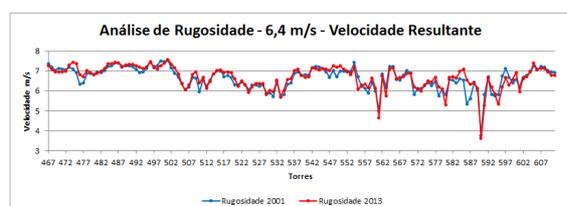


Figura 11 - Comparação da velocidade resultante considerando a região com vegetação de 2001 e de 2013 para a condição de contorno de 6,4 m/s.

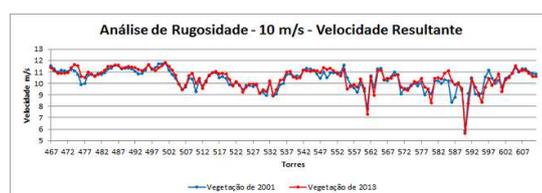


Figura 12 - Comparação da velocidade resultante considerando a região com vegetação de 2001 e de 2013 para a condição de contorno de 10 m/s.

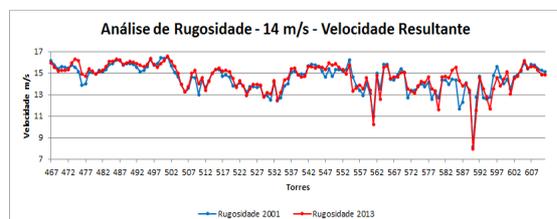


Figura 13 – Comparação da velocidade resultante considerando a região com vegetação de 2001 e de 2013 para a condição de contorno de 14 m/s.

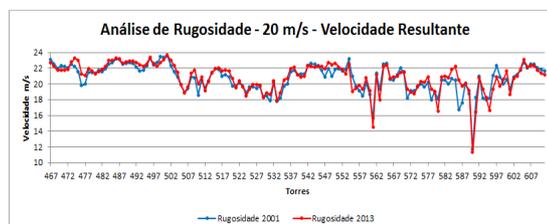


Figura 14 – Comparação da velocidade resultante considerando a região com vegetação de 2001 e de 2013 para a condição de contorno de 20 m/s.

Tabela 2 - Comparação da diferença percentual da velocidade para diferentes torres.

Torre	Velocidade Incidente na Fronteira do Domínio	6,4 m/s	10 m/s	14 m/s	20 m/s
T475	V_{2001} (m/s)	6,91	10,80	15,11	21,59
	V_{2013} (m/s)	7,37	11,51	16,12	23,03
	$(V_{2013}/V_{2001} - 1) \%$	6,66	6,57	6,68	6,67
T549	V_{2001} (m/s)	6,70	10,48	14,67	20,95
	V_{2013} (m/s)	7,18	11,22	15,71	22,45
	$(V_{2013}/V_{2001} - 1) \%$	7,16	7,06	7,09	7,16
T586	V_{2001} (m/s)	5,33	8,34	11,67	16,68
	V_{2013} (m/s)	6,55	10,23	14,32	20,45
	$(V_{2013}/V_{2001} - 1) \%$	22,89	22,66	22,71	22,60
T587	V_{2001} (m/s)	5,62	8,79	12,30	17,58
	V_{2013} (m/s)	6,32	9,88	13,83	19,76

	$(V_{2013}/V_{2001}-1)\%$	12,46	12,40	12,44	12,40
T595	V_{2001} (m/s)	5,82	9,10	12,74	18,20
	V_{2013} (m/s)	5,33	8,33	11,66	16,66
	$(V_{2013}/V_{2001}-1)\%$	-8,42	-8,46	-8,48	-8,46

Os resultados da Tabela 2 mostram que a variação percentual no valor das velocidades para os anos de 2001 e 2013 é praticamente a mesma para as velocidades de 6,4; 10; 14 e 20 m/s. Além disto, é possível verificar que calculando-se o fator de multiplicação para cada velocidade à direita de 6,4, em relação à 6,4, e multiplicando-se as velocidades obtidas na coluna de 6,4, os resultados são praticamente os mesmos da Tabela 2. Isto significa que as velocidades nestas torres têm um comportamento quase linear em termos da variação da velocidade do vento utilizada nas condições de fronteira. Assim, pode-se extrapolar estes dados e estimar qual seria a velocidade do vento nestas torres, caso a velocidade do vento incidindo na fronteira do domínio fosse maior do que 20 m/s. A Tabela 3 mostra estes cálculos para velocidade incidente no domínio até 100 m/s (360 km/h). Esta magnitude é típica de furacões, e não se tem registro de ocorrência no território brasileiro. Observe que os valores obtidos para as velocidades de 10, 14 e 20 m/s são muito próximos daqueles mostrados na Tabela 2.

Tabela 3 – Valores estimados a partir dos resultados da coluna de velocidade de 6,4 m/s da Tabela 2.

Velocidade (Vj) de Cond. de Front. (m/s)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	
	10	14	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Fator de multiplicação: $V_j/V_{6,4}$	1,5625	2,1875	3,125	4,6875	6,2500	7,8125	9,3750	10,9375	12,5000	14,0625	15,6250	
Torre	Ano	Velocidade estimada nas torres nos anos de 2001 e 2013 (m/s)										
T475	2001	10,80	15,12	21,59	32,39	43,19	53,98	64,82	75,58	86,38	97,17	107,97
	2013	11,52	16,12	23,03	34,55	46,06	57,58	69,13	80,61	92,13	103,64	115,16
T549	2001	10,47	14,66	20,94	31,41	41,88	52,34	62,85	73,28	83,75	94,22	104,69
	2013	11,22	15,71	22,44	33,66	44,88	56,09	67,35	78,53	89,75	100,97	112,19
T586	2001	8,33	11,66	16,66	24,98	33,31	41,64	50,00	58,30	66,63	74,95	83,28
	2013	10,23	14,33	20,47	30,70	40,94	51,17	61,44	71,64	81,88	92,11	102,34
T587	2001	8,78	12,29	17,56	26,34	35,13	43,91	52,72	61,47	70,25	79,03	87,81
	2013	9,88	13,83	19,75	29,63	39,50	49,38	59,28	69,13	79,00	88,88	98,75
T595	2001	9,09	12,73	18,19	27,28	36,38	45,47	54,59	63,66	72,75	81,84	90,94
	2013	8,33	11,66	16,66	24,98	33,31	41,64	50,00	58,30	66,63	74,95	83,28

4.0 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados mostram que o modelo de Camada Limite Atmosférica desenvolvido consegue captar a influência da rugosidade do terreno sobre a velocidade do vento e, conseqüentemente, pode ser utilizado para a análise da influência do desmatamento no comportamento regional do vento.

Comparando-se as velocidades resultantes, para as diferentes condições de fronteira, observa-se que dentro do domínio estudado não foram localizados pontos ou regiões com valores de velocidade muito acima do valor da velocidade da condição de fronteira utilizada na simulação. Isto indica que não existem canais preferenciais de vento na região que provoquem grandes alterações nos valores da velocidade do vento. A explicação para este comportamento está na topografia do terreno da região simulada ser praticamente plano, sem elevações significativas.

Os resultados da Tabela 2 mostram que a variação percentual no valor das velocidades para os anos de 2001 e 2013 é praticamente a mesma para as velocidades de 6,4; 10; 14 e 20. Isto significa que as velocidades nestas torres têm um comportamento quase linear em termos da intensidade do vento utilizada nas condições de fronteira. Assim, pode-se extrapolar estes dados e estimar qual seria a velocidade do vento nestas torres, caso a velocidade do vento incidindo na fronteira do domínio fosse maior do que 20. Este resultado é muito interessante, pois ele permite inferior valores de velocidade do vento para cada cobertura vegetal de forma eficiente.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Moreira, Gilberto Augusto Amado. "Contribuição aos modelos de camada limite atmosférica aplicado a microrregiões." Tese (Doutorado) - 2012 - Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica.

- (2) Valle, R. M.; Nascimento, C. A. M.; Martins, M. A.; Abreu, J. A.; Moreira, G. A. A. (2005). "Numerical Model Validation of a Atmospheric Boundary Layer Over Complex Terrain." In: 18th International Congress of Mechanical Engineering, 2005, Ouro Preto, MG. Proceedings of the 18th International Congress of Mechanical Engineering. v. 1.
- (3) Nascimento, C.A.M. - Cálculo da Ampacidade de Linhas Aéreas de Energia Considerando a Influência da Camada Limite da Atmosfera – PPGEE/UFMG/2009. Tese de Doutorado desenvolvida no Laboratório de Computação Evolucionária da UFMG sob orientação do Prof. João Antônio de Vasconcelos.
- (4) Nikuradse J. - Stromungsgesetze in rauhen Rohren. Verein deutscher Ingenieure Forschungscheft No. 361, Berlin. (English translation in National Advisory Committee for Aeronautics Technical Manual 1292 (1950), 62pp, (1933). Acessado 26/02/2015 em <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:yygoLHKVnq0J:www.hach.ulg.ac.be/cms/system/file/s/Nikuardse%2520trad%2520NASA.pdf+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>
- (5) NBR-5422- Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica - Procedimento -1985.
- (6) Moreira, G. A. A. "Modelagem numérica da camada limite atmosférica com validação experimental." Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica – 2007
- (7) SPRING BÁSICO (2008) - Tutorial 10 aulas – Spring 5.0 – INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

6.0 DADOS BIOGRÁFICOS

João Antônio de Vasconcelos: Natural de Monte Carmelo – MG (1958), Doutor pela École Centrale de Lyon - França (1994), Mestre pela UFPb (1985) e Engenheiro Eletricista pela UFMG (1982). É Professor Titular do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG. É pesquisador nível 1B do CNPq. É membro fundador de duas sociedades científicas ICS (Intern. Compumag Society) e SBMAG (Soc. Bras. de Eletromagnetismo Aplicado). Possui mais de 220 trabalhos publicados entre periódicos, congressos e capítulos de livros nacionais e internacionais. Dentre estas publicações se destacam as contribuições na área da otimização mono e multiobjetivo, aplicadas a problemas modelados com e sem incertezas paramétricas. Orientou mais de 30 alunos de pós-graduação em nível de doutorado e mestrado e mais de uma centena de alunos de graduação. É o responsável pela criação do Lab. de Computação Evolucionária da UFMG, onde chefia a equipe de pesquisadores em níveis de pós-doutorado, doutorado, mestrado e graduação desde sua criação. Coordenou dezenas de projetos de pesquisa nacionais (CNPq, P&D ANEEL, FAPEMIG) e internacionais (CAPES-COFECUB, Lab. Int. Associado James Clerk Maxweel), e projetos de P&D com o setor elétrico.

Johnnattann Pimenta Guedes: Natural de Santa Vitória – MG (1983), Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU (2007). É Engenheiro de Operação da Eletrobras Eletronorte desde 2007. Publicou trabalhos nos principais congressos nacionais na área de operação do Setor Elétrico Brasileiro, como SENOP e EDAO. Atualmente cursa mestrado em Engenharia de Produção e Qualidade pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).