

AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA FLORÍSTICA ASSOCIADAS AOS RISCOS DE DESLIGAMENTOS AO LONGO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, LOCALIZADA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL¹

EVALUATION OF THE FLORISTIC STRUCTURE ASSOCIATED WITH THE RISKS OF POWER SHUTDOWNS ALONG A TRANSMISSION LINE, IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

**Samara Welter Duarte², Leandro Blunk², João Paulo Maçaneiro³,
Tatiele Anete Bergamo Fenilli⁴, Julio Cesar Refosco⁵,
Moacir Marcolin⁵, Diogo Soliman Medeiros⁶**

RESUMO

As Linhas de Transmissão de Energia Elétrica (LTEE) abrangem grandes extensões territoriais, além de cobrir diferentes formações florestais. O contato da vegetação arbórea nos cabos elétricos é responsável pela ocorrência de desligamentos de energia, portanto, conhecer a vegetação presente em LTEE se torna importante para prever e realizar manutenções adequadas. O presente estudo teve por objetivo determinar os riscos causados pela vegetação arbórea em faixas de servidão localizadas em uma LTEE no estado do Rio Grande do Sul. A vegetação foi amostrada em 25 parcelas de 300 m² ao longo de 65 km da LTEE. Além disso, determinou-se classes de risco de desligamento em função dos parâmetros declividade, cobertura do solo e distância entre torres. Constatou-se que ao longo da LTEE a vegetação arbórea apresenta composição e estrutura semelhantes, portanto, a intensidade de manutenções a ser realizada ao longo da LTEE deve ser igual. Entretanto, o que deve ser observado na intensidade das manutenções são os atributos utilizados para determinar as classes de riscos, principalmente declividade, pois à medida que o risco de desligamento aumenta consequentemente a vegetação se encontra mais próximas aos cabos de tensão.

Palavras-chave: variações estruturais, manutenção da vegetação, cobertura do solo.

ABSTRACT

The Power Transmission Lines (LTEE) cover large territorial extensions and also distinct forest formations. The contact of arboreal vegetation to the electrical cables are responsible for the occurrence of power outages, therefore, knowing the the type of the vegetation present in LTEE becomes essential to predict and carry out appropriate maintenance. The present study aimed at evaluating the risks caused by arboreal vegetation in LTEE. The vegetation was sampled in 25 plots of 300 m² over 65 km of LTEE. In addition, classes of risk of power shutdowns were determined according to the parameters: declivity, land cover and distance from the towers. The results indicate that along the LTEE, the arboreal vegetation presents a similar composition and structure, therefore, the intensity of maintenance to be performed along the LTEE must be the same. However, what has

¹ Estudo desenvolvido no Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal

² Mestre em Engenharia Florestal. E-mail: swduarte0@gmail.com

³ Doutor em Engenharia Florestal - Universidade Federal do Paraná.

⁴ Orientador - Universidade Regional de Blumenau (FURB). E-mail: tfenilli@furb.br

⁵ Professores colaboradores do curso de Engenharia Florestal - Universidade Regional de Blumenau (FURB).

⁶ Coordenador do Projeto - Companhia Estadual de Energia Elétrica - Rio Grande do Sul (CEEE-GT).

to be observed in the intensity of the maintenance are the attributes used to determine the risk classes, mainly declivity, as the risk of power shutdown increases, consequently, the vegetation is closer to the electrical cables.

Keywords: *structural variation, maintenance of vegetation, land cover.*

INTRODUÇÃO

O sistema elétrico de potência brasileiro é responsável pelos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, a fim de suprir a demanda de energia em todo o território nacional (LOPES, 2013). As linhas de transmissão fazem parte do sistema nacional de potência e são responsáveis por conduzir energia elétrica de uma fonte geradora para os centros consumidores, sendo compostas por faixas de servidão, segurança e zona livre (PORTELA, 2013). As faixas de servidão apresentam largura variada e são de uso restritivo podendo ou não apresentar vegetação, enquanto que as faixas de segurança estão situadas ao longo do eixo da linha e geralmente apresentam instalações de terceiros (PORTELA, 2013). A zona livre é representada pela porção localizada no entorno da Linha de Transmissão de Energia Elétrica (LTEE), não apresentando restrições de uso. No Sul do Brasil, as LTEE abrangem grandes extensões territoriais e estão inseridas em diferentes formações florestais que, por sua vez, são influenciadas pela heterogeneidade ambiental dos ecossistemas (por exemplo, umidade relativa, temperatura, elevação, geomorfologia e solos) (GASPER *et al.*, 2015; OLIVEIRA-FILHO *et al.*, 2015).

De modo geral, a vegetação existente ao longo das LTEE apresenta composição e estrutura distintas, sendo influenciada diretamente por fatores ambientais (ROSA, 2014). Geralmente as falhas na transmissão de energia elétrica estão associadas ao tipo de vegetação, tornando-se fundamental a realização de manutenções periódicas para minimizar conflitos e prevenir a interrupção de energia elétrica (LOPES, 2013). Apesar de o conhecimento sobre o tipo de vegetação existente ao longo das LTEE ser importante, poucos estudos sobre vegetação, manutenção e prevenção de riscos foram desenvolvidos (SILVA *et al.*, 2003; WAGNER *et al.*, 2014). Visto a influência entre os tipos de vegetação e LTEE, entender os impactos gerados pela vegetação sobre as linhas de transmissão é imprescindível para reduzir os riscos de desligamentos (WARDMAN *et al.*, 2012).

Atualmente, apenas as estruturas que compõem as LTEE são monitoradas pelas companhias de energia elétrica, no entanto, a avaliação das taxas de crescimento da vegetação ao longo do tempo não é controlada. Desse modo, não existe técnica de monitoramento recomendada (MILLS *et al.*, 2010). Frequentemente a predição da manutenção da vegetação é realizada de forma subjetiva ou por meio de levantamentos aéreos de reconhecimento (MATIKAINEN *et al.*, 2016). Além de ser responsável por grande parte dos riscos de desligamentos, a poda e o corte da vegetação correspondem a uma parte significativa dos custos das manutenções realizadas pelas concessionárias de energia elétrica, indicando a necessidade de técnicas de manejo confiáveis e precisas para redução de custos (JWA; SOHN, 2012).

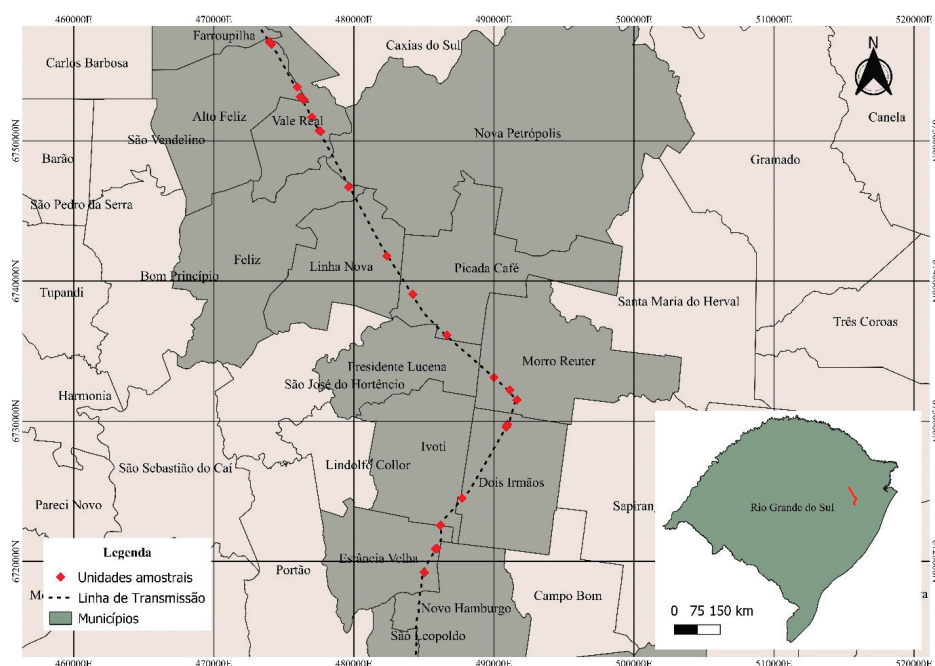
Dessa forma, o risco de desligamento deve ser quantificado para que ocorra a eficiência da manutenção das linhas de transmissão (HEMMATI *et al.*, 2016). De acordo com Lopes (2013), o risco é caracterizado como a probabilidade de um acontecimento diminuir a confiabilidade do sistema perturbando o seu bom funcionamento, tal como sobrecargas nas linhas e instabilidade nos níveis de tensão. Portanto, analisar as áreas de risco de desligamento associado com o tipo de vegetação existente sob as LTEE possibilita um melhor planejamento da manutenção da vegetação, gerando menor custo, além de evitar a fragmentação florestal através de podas e corte de vegetação desnecessárias (CAMARGO *et al.*, 2004).

Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi determinar os riscos causados pela vegetação arbórea em faixas de servidão localizadas em uma Linha de Transmissão de Energia Elétrica (LTEE) no estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é representada por remanescente florestais localizados em faixas de servidão ao longo de uma linha de transmissão de energia elétrica. Nessas áreas, a empresa responsável pela linha de transmissão realiza manutenções regularmente na vegetação. Em geral, são realizadas podas e remoção de árvores ou galhos que possam causar queda de energia, considerando a altura máxima da vegetação de 7 metros. A linha de transmissão tem 65 km de extensão e abrange 14 municípios do estado do Rio Grande do Sul. A região faz parte da bacia do rio Guaíba e apresenta uma variação altitudinal de 90 e 600 m.s.n.m (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo e unidades amostrais ao longo de uma linha de transmissão de energia elétrica, estado do Rio Grande do Sul.



O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo subtropical úmido - Cfa, sem estação seca e com verão quente. A temperatura média anual varia entre 9 °C e 26 °C, precipitação média anual de 1.600 a 2.200 mm e umidade relativa entre 60 e 85% (ALVARES *et al.*, 2013).

A geologia da região é formada pela Formação Botucatu e Serra Geral, apresentando arenitos e basaltos, respectivamente. Os solos predominantes são Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos (SANTOS *et al.*, 2018), e em geral apresentam alta fertilidade ($V\% > 70\%$).

O tipo de floresta predominante é a floresta estacional decidual em diferentes estágios sucessionais. A estrutura da vegetação que representa essa formação está ligada às variações altitudinais e climáticas, a qual segundo Scipioni *et al.* (2013) garantem heterogeneidade de espécies em diferentes formações florestais brasileiras. Entre as espécies mais representativas estão *Apuleia leiocarpa* (Vogel) JF Macbr., *Trichilia claussenii* C. DC., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W C Burger *et al.*, e *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.

Para a coleta dos dados foram instaladas parcelas fixas de 300 m² (10 m × 30 m) demarcadas paralelamente ao vão principal da LTEE. No total, foram distribuídas 25 parcelas de forma aleatória, totalizando 7.500 m² de área amostral. Em cada parcela foram registrados os indivíduos vivos do estrato arbóreo com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 5 cm e altura total. O material botânico não identificado em campo foi coletado para herborização e posteriormente identificado pela comparação com exsicatas existentes no Herbário Dr. Roberto Miguel Klein, da Universidade Regional de Blumenau (FURB) e mediante consulta a especialistas da FURB.

A fim de determinar a intensidade da manutenção da vegetação em função aos riscos de desligamentos ao longo da LTEE utilizou-se como base a metodologia sugerida por Cucco e Oliveira (2011), levando em consideração três variáveis: cobertura do solo, classes de declividade e vão entre as torres. Dessa forma, possibilitou a detecção de cinco classes de risco de conflitos: classe 1 = baixo risco de desligamento; classe 2 = baixo/médio risco de desligamento; classe 3 = médio risco de desligamento; classe 4 = médio/alto risco de desligamento; classe 5 = alto risco de desligamento. Além disso, para cada variável definiu-se a participação no cruzamento dos dados a partir de consulta a especialistas da concessionária CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica - Rio Grande do Sul (modelo *ad hoc*), sendo 50% para declividade, 25% para cobertura do solo e 25% para a distância entre torres (Tabela 1).

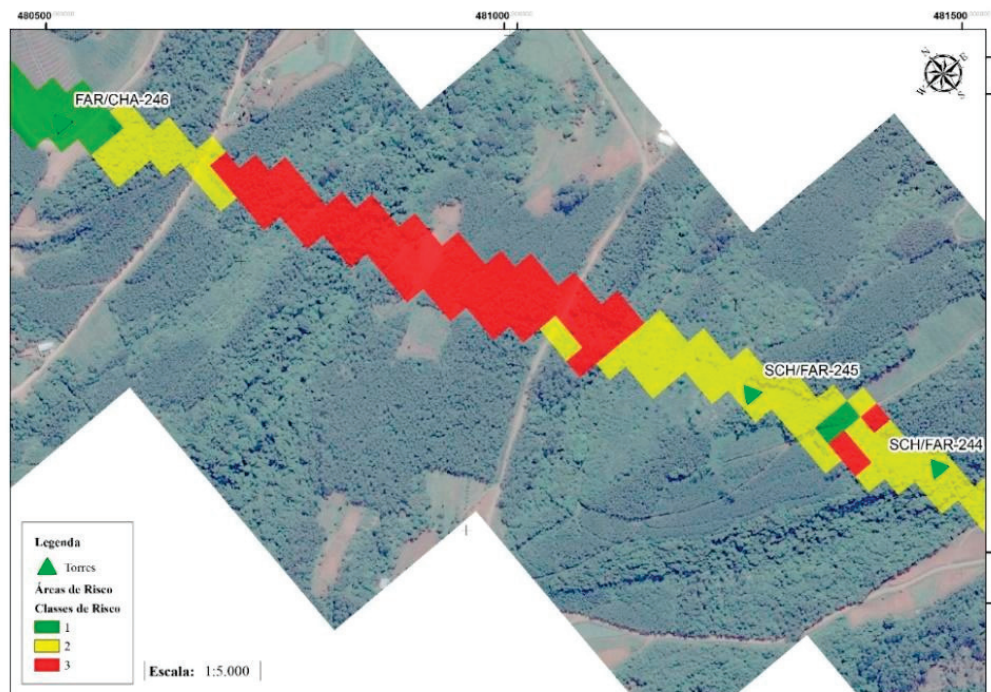
Tabela 1 - Classes de risco em função das variáveis declividade do terreno, distanciamento das torres e cobertura do solo em linhas de transmissão de energia elétrica, estado do Rio Grande do Sul.

Variável	Classes	Risco de conflito com a LTEE	Raster Calculator
Declividade do Terreno	0 a 3% Plano	1	50% de importância
	3 a 8% Suave ondulado	2	
	8 a 20% Ondulado	3	
	20 a 45% Fortemente ondulado	4	
	>45% Montanhoso	5	
Distância entre Torres	0 a 110 m	1	25% de importância
	110 a 220 m	2	
	220 a 330 m	3	
	330 a 440 m	4	
	440 a 550 m	5	
Cobertura do solo	Agricultura, subestação, vias, lagos/lagoas, hidrografia, pastagens	1	25% de importância
	Antropizado, industrial	2	
	Floresta (estágio inicial)	3	
	Floresta (estágio médio)	4	
	Floresta (estágio avançado) e Povoamentos florestais	5	

As informações de relevo foram elaboradas a partir de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), gerando o modelo digital de elevação (MDE) no ArcGIS 10.4. Os dados vetoriais das torres foram obtidos com a concessionária CEEE. Para as torres determinou-se a distância entre si, permitindo identificar as áreas com maior propensão a riscos. Para o mapeamento da cobertura do solo as imagens foram georreferenciadas pelo Google Earth® e definidas de acordo com IBGE (2013). O mapa de cobertura do solo final foi confeccionado com imagens Landsat 8 através do Google Earth®. A área da linha de transmissão foi determinada pela vetorização da faixa de servidão e uma faixa de 100 m de largura (50 m em cada lado, partindo do centro da linha).

A partir dos arquivos *raster* de cada variável e configurado as classes de peso e equivalência no tamanho dos pixels (30 m), foi cruzado as variáveis, através da sobreposição das informações contida em cada pixel de cada variável. Os valores de participação foram incluídos na fórmula dos pesos de cada classe. Após a geração das áreas de risco, onde são apresentadas cinco classes, o arquivo *raster* foi reclassificado para três classes de risco, utilizando a ferramenta *Spatial Analyst Tools > Reclassify* do *software* ArcGIS 10.4, sendo: classe 1 = baixo risco de desligamento; classe 2 = médio risco de desligamento; e classe 3 = alto risco de desligamento. Posteriormente, foi realizado a sobreposição das parcelas para cada classe de risco. De posse dos valores atribuídos para cada variável foi confeccionado o mapa síntese no formato *raster* permitindo identificar as possíveis áreas de riscos na linha de transmissão de energia elétrica. Para cada parcela amostrada foram definidas duas classes de risco, as quais somaram 64% (médio risco) e 36% (alto risco) do percentual total (Figura 2).

Figura 2 - Trecho com as áreas de médio e alto risco de desligamento em função do modelo digital do terreno, estado do Rio Grande do Sul (FAR/CHA- 246 = Torre número 246 Farroupilha/Scharlau; SCH/FAR - 245 = Torre número 245 Farroupilha/Scharlau; SCH/FAR - 244 = Torre número 244 Farroupilha/Scharlau).



Fonte: Autor (2020)

Para avaliar as variações florísticas e estruturais entre as áreas de riscos, foram utilizadas duas matrizes: de composição e abundância de espécies. Para verificar como as amostras se comportam em relação às classes de risco foi realizado o Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS). Foi utilizado a distância de Sørensen para a matriz de composição de espécies e a distância de Bray-Curtis' para a matriz de abundância de espécies (LEGENDRE; LEGENDRE, 2012). Para verificar a veracidade do NMDS calculou-se uma medida de *stress*, a qual indica a proporção da variância não explicada pelo modelo (HAIR *et al.*, 2009). A significância estatística do *stress* foi calculada pelo teste de Monte Carlo com 999 permutações e foi confirmado a estabilidade do *stress* na porção final das interações para se obter uma análise confiável. A significância estatística dos grupos formados pelo conjunto de parcelas e das classes de risco foi testada por meio da Análise de Similaridade - ANOSIM (CLARKE, 1993).

A fim de comparar a riqueza de espécies nos grupos de risco formados foi realizado curvas de rarefação pelo método Bernoulli. Nesta análise, a curva foi realizada a partir dos números de indivíduos observados (COLWELL *et al.*, 2012). Para descrever a estrutura da vegetação foram calculados os parâmetros fitossociológicos para cada classe de risco (densidade, dominância, frequência e porcentagem de importância para cada espécie). A estrutura da vegetação foi comparada utilizando os atributos

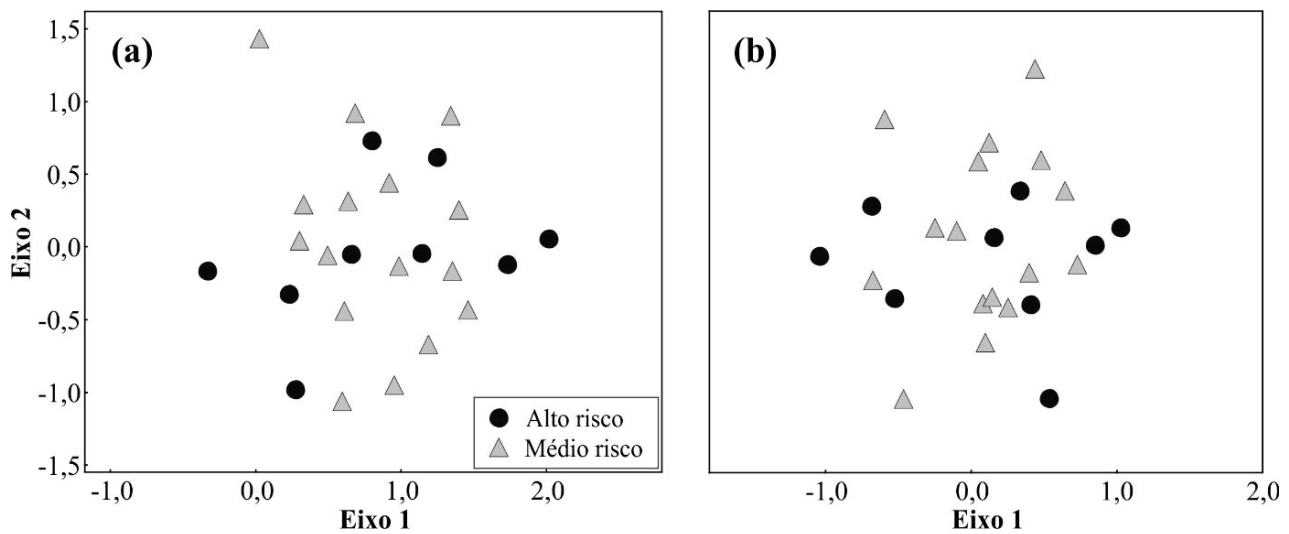
dendrométricos médios das parcelas: DAP (mínimo, médio, máximo e variância); altura total (mínimo, médio, máximo e variância); área basal total; densidade de indivíduos e densidade de fustes. A comparação entre estas variáveis foi realizada através do teste *t*, utilizando nível de significância $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na ordenação produzida pelo Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS), a composição e a abundância das espécies em relação às classes de risco não diferiram entre si (Figura 3). Os dois primeiros eixos de ordenação das matrizes de composição e abundância de espécies produziram 64,1% e 49,3%, respectivamente, de correlação entre as distâncias de ordenação e o espaço *n*-dimensional original. O *stress* médio obtido para os dados reais (eixo 1 composição = 35,6%; eixo 1 abundância = 22,1%; eixo 2 composição = 22,1%; eixo 2 abundância = 21,7%) dos dois primeiros eixos de ordenação do NMDS se mantiveram estáveis na porção final das interações, e apresentaram significância estatística pelo teste de Monte Carlo ($p < 0,01$). Além disso, os dois grupos de parcelas formados pelas classes de risco apresentaram semelhanças significativas entre si no que diz respeito às matrizes de composição e abundância de espécies (ANOSIM, $p < 0,01$).

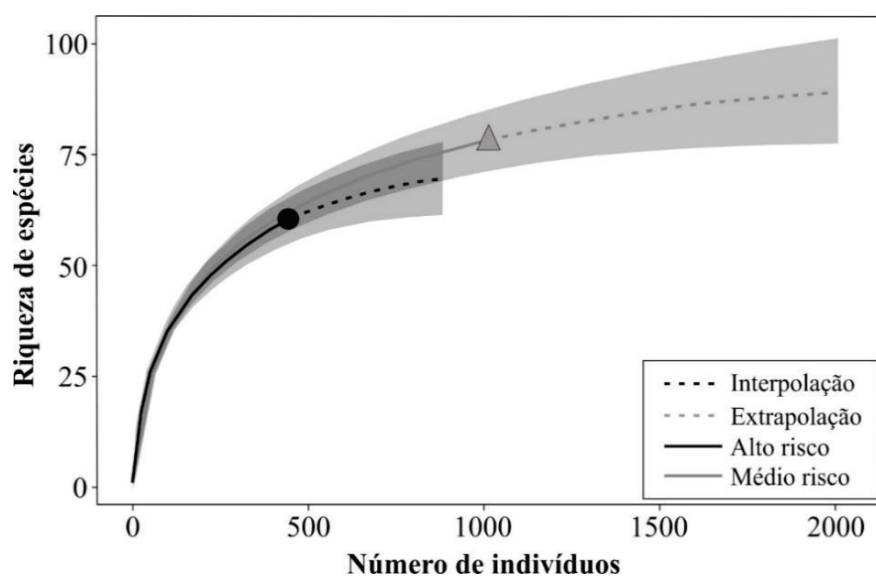
Neste sentido, este estudo revelou que a distribuição das classes de risco em função de variáveis do terreno (declividade, distanciamento entre torres e cobertura do solo) varia ao longo da LTEE. Considerando que as classes de médio e alto risco compreendem manchas de floresta em estágio médio/avançado de regeneração associadas a mosaicos com plantios florestais, pode-se sugerir que a cobertura do solo apresentou influência na identificação das classes de risco em função do porte da vegetação e altura dos plantios florestais. Além da cobertura do solo, a declividade tem papel relevante na determinação das classes de risco. A utilização de variações na declividade e elevação auxiliam na tomada de decisões de práticas de manejo na vegetação ao longo de linhas de transmissão (SILVA *et al.*, 2003; SOUZA *et al.*, 2015). Por exemplo, Silva *et al.* (2003) afirmam que áreas com declives maiores que 45°, a manutenção deve ser priorizada quando a vegetação se encontra acima dos fios de transmissão. Não somente as variações na declividade e a cobertura do solo apresentam relevância na determinação de áreas de risco, mas também o distanciamento entre as torres. Dessa forma há relação direta entre essas três variáveis. Por exemplo, quanto maior a distância entre as torres maior será o balanço e dilatação dos cabos. Consequentemente, em uma área com maior declividade, estágio médio/avançado de vegetação arbórea e maior distanciamento de torres, a propensão de desligamentos de energia elétrica será maior. Dessa forma, no presente estudo o modelo de áreas de risco gerou um indicativo quantitativo e espacial de áreas propensas a riscos de interferência da vegetação e possíveis áreas para a ocorrência de desligamentos de energia elétrica.

Figura 3 - Diagramas de ordenação das parcelas produzidos pelo Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS), com base na composição (a) e abundância (b) de espécies em 25 parcelas da vegetação arbórea em duas classes de risco sob linhas de transmissão de energia elétrica entre os municípios de Farroupilha e Scharlau, estado do Rio Grande do Sul (coletas realizadas em 2018).



A riqueza de espécies entre as duas classes de risco se mostrou semelhante. Considerando a padronização de 441 indivíduos amostrados, estimou-se uma riqueza de 61 espécies na classe de alto risco e 62 espécies na classe de médio risco, respectivamente (Figura 4). Além disso, verificou-se que a composição e estrutura da vegetação arbórea existente ao longo da LTEE é estatisticamente semelhante, além de ser caracterizada por poucas espécies arbóreas (por exemplo, *Cupania vernalis*, *Luehea divaricata*, *Nectandra megapotamica* e *Myrsine umbellata*). Frequentemente a heterogeneidade das florestas subtropicais está relacionada ao histórico de uso, geomorfologia ou as propriedades químicas e físicas dos solos (FÁVERO *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2015). Por exemplo, alguns estudos apontam que florestas com histórico de perturbações tendem a ser constituídas por comunidades com estrutura e florística distintas (CALLEGARO *et al.*, 2017). No presente estudo, as perturbações anteriores decorrentes do processo de manutenção da vegetação na LTEE possivelmente favoreceram maior homogeneidade florística e estrutural da vegetação. Dessa forma, o tipo da vegetação não influencia necessariamente a prática de manutenção, pois a homogeneidade florística garante a mesma intensidade de podas e corte das espécies ao longo da LTEE.

Figura 4 - Curvas de rarefação construídas pelo método Bernoulli, utilizando dados de abundância de espécies para a vegetação arbórea em duas classes de risco sob linhas de transmissão de energia elétrica entre os municípios de Farroupilha e Scharlau, estado do Rio Grande do Sul (coletas realizadas em 2018).



Fonte: Autor (2020)

Durante a implantação de uma LTEE busca-se minimizar a fragmentação dos ecossistemas e perturbações a fauna, além de diminuir os custos para a concessionária (CAMARGO *et al.*, 2004). Dessa forma, objetiva-se encontrar o melhor traçado para ligar uma subestação a outra com o menor impacto ambiental possível (BAGLI *et al.*, 2011), ou seja, evitando áreas de preservação permanente, relevos íngremes e plantios florestais, entre outros. De forma indireta, o projeto de instalação da LTEE visa áreas homogêneas. Neste estudo, os resultados indicam que a vegetação é homogênea, conseqüentemente as áreas de riscos não estão associadas ao tipo de vegetação presente e sim as variáveis associadas a classificação (declividade, cobertura do solo e distância entre torres).

A declividade auxilia na definição de áreas propensas a maiores riscos de desligamento, pois diretamente influenciam a estrutura e composição da vegetação. As diferenças entre composição da vegetação estão geralmente relacionadas às variações na elevação e declividade (IRL *et al.*, 2015; MAÇANEIRO *et al.*, 2016). A preferência de algumas espécies para as áreas de maiores elevações é explicada parcialmente pelas exigências ecológicas ou associadas a nicho ecológicos (SOUZA *et al.*, 2015), ou pelas perturbações ambientais e fatores bióticos (FÁVERO *et al.*, 2015). Enquanto que a declividade apresenta diferentes variações ambientais ao longo das transições de inclinação (e.g., distribuição de luz, aumento de copa, transporte de partículas do solo, entre outros), influenciando a distribuição e composição das espécies (MARTINS *et al.*, 2003).

A realização de intensas manutenções evita, em parte, os desligamentos das LTEE, mas aumenta os custos e a perda de biodiversidade, justificando a similaridade florística entre a vegetação na área de estudo. O número de espécies diminui de acordo com a classe de risco, ou seja, quanto menor o risco de desligamento maior será a riqueza de espécie devido à baixa intensidade de manutenção

ao longo da LTEE. De acordo com Cohn *et al.* (2015), a diversidade de espécies aumenta de acordo com o aumento da heterogeneidade ambiental, complexidade dos fatores ambientais e nível de perturbações. Sendo assim, observa-se que existe um padrão de manutenções ao longo da LTEE devido a homogeneidade representada pela composição florística.

Neste estudo também foi observado que na área de médio risco a ocorrência de 1.003 indivíduos e 78 espécies (Tabela 2). A densidade de árvores somou 2.090 ind.ha⁻¹ e a área basal 27,05 m².ha⁻¹. A vegetação foi composta predominantemente por *Cupania vernalis*, *Sambucus australis*, *Myrsine umbellata*, *Trema micrantha*, *Nectandra megapotamica* e *Allophylus edulis*, correspondendo a 38,4% da porcentagem de importância. Enquanto que, a área de alto risco foi representada por 441 indivíduos, distribuídos em 61 espécies e apresentando densidade de 1.633 ind.ha⁻¹ e área basal de 29,92 m².ha⁻¹. Neste grupo as espécies predominantes foram *Luehea divaricata*, *Nectandra megapotamica*, *Cupania vernalis*, *Persea americana*, *Allophylus edulis* e *Parapiptadenia rigida*, correspondendo a 34,9% da porcentagem de importância.

Tabela 2 - Parâmetros fitossociológicos calculados para a vegetação arbórea em duas classes de risco sob linhas de transmissão de energia elétrica no estado do Rio Grande do Sul.

Classe de risco/Espécies	GE	n	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	PI
Médio risco									
<i>Cupania vernalis</i>	CL	157	327	16	4	14	88	6	12
<i>Myrsine umbellata</i>	CL	63	131	6	2	9	63	4	6
<i>Nectandra megapotamica</i>	CL	57	119	6	2	7	81	6	6
<i>Sambucus australis</i>	P	79	165	8	1	4	50	3	5
<i>Trema micrantha</i>	P	58	121	6	1	4	50	3	4
<i>Allophylus edulis</i>	CL	54	113	5	1	3	63	4	4
<i>Luehea divaricata</i>	CL	33	69	3	1	5	50	3	4
<i>Escallonia bifida</i>	P	49	102	5	1	2	13	1	3
<i>Alchornea triplinervia</i>	CL	30	63	3	1	2	31	2	3
<i>Psychotria suterella</i>	CS	30	63	3	1	2	6	0	2
Outras espécies		393	819	39	13	47	956	66	51
Total		1.003	2.090	100	27	100	1.450	100	100
Alto risco									
<i>Luehea divaricata</i>	CL	40	148	9	4	12	56	4	9
<i>Nectandra megapotamica</i>	CL	33	122	7	3	11	89	7	8
<i>Cupania vernalis</i>	CL	29	107	7	1	5	78	6	6
<i>Persea americana</i>	EX	25	93	6	2	8	11	1	5
<i>Allophylus edulis</i>	CL	19	70	4	1	2	67	5	4
<i>Parapiptadenia rigida</i>	CL	14	52	3	1	4	56	4	4
<i>Trichilia clauseni</i>	CS	26	96	6	1	2	33	3	3
<i>Machaerium stipitatum</i>	CL	20	74	5	1	2	44	3	3
<i>Trichilia elegans</i>	CS	18	67	4	1	3	22	2	3
<i>Trema micrantha</i>	P	16	59	4	0	1	44	3	3
Outras espécies		201	744	46	15	50	833	62	53
Total		441	1.633	100	30	100	1.333	100	100

GE = grupo ecológico; N = número de indivíduos amostrados; DA = densidade absoluta (ind.ha⁻¹); DR = densidade relativa (%); DoA = dominância absoluta (m².ha⁻¹); DoR = dominância relativa (%); FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa (%) e PI = porcentagem de importância (%).

Quando analisado os parâmetros estruturais da vegetação, quase todas as variáveis dendrométricas apresentaram semelhanças significativas entre si (Tabela 3). No entanto, o DAP médio e a altura média apresentaram diferenças significativas (e.g., $p \leq 0,05$). Neste sentido, a estrutura diamétrica da floresta foi caracterizada por muitas árvores de pequeno porte, justificado pela alta capacidade de regeneração das espécies (SANTOS *et al.*, 2016), ou seja, a manutenção da vegetação influencia diretamente no recrutamento de novos indivíduos e possivelmente mortalidade de outras. As variações de diâmetros influenciam diretamente na estrutura da floresta e permitem caracterizar a tipologia florestal. De acordo com Machado *et al.* (2009), a partir das informações diamétricas é possível planejar o manejo da vegetação, enquanto que as variações altimétricas estão associadas a variações climáticas e topográficas (SÍMOVÁ *et al.*, 2015). Além disso, fatores ecológicos e ambientais também influenciam diretamente na altura e diâmetro das árvores (SANTOS *et al.*, 2016; MAÇANEIRO *et al.*, 2019).

Tabela 3 - Parâmetros estruturais da vegetação arbórea em duas classes de risco sob linhas de transmissão de energia elétrica no estado do Rio Grande do Sul. Valores em negrito representam diferenças significativas entre as classes de risco pelo teste t ($\alpha = 5\%$).

Parâmetro	Alto risco (n = 9)	Médio risco (n = 16)	T	p
DAP mínimo (cm)	5,03	4,9	1,44	0,16
DAP médio (cm)	13,26	11,05	2,97	<0,01
DAP máximo (cm)	39,03	34,35	0,94	0,36
DAP variância	61,3	45,9	1,05	0,30
Altura mínima (m)	3,7	3,5	0,33	0,74
Altura média (m)	10,3	8,9	2,38	<0,03
Altura máxima (m)	17,2	16,8	0,29	0,77
Altura variância	13,1	11,8	0,46	0,65
Área basal (m ² .ha ⁻¹)	29,92	27,05	0,66	0,51
Densidade de árvores (ind.ha ⁻¹)	1.633	2.090	1,99	0,06
Densidade de fustes (ind.ha ⁻¹)	49	60	1,74	0,09

CONCLUSÃO

Os resultados indicam que a vegetação inserida em áreas de diferentes riscos de desligamentos apresenta composição e estrutura semelhantes. Atributos relacionados ao risco de desligamento (por exemplo, declividade e cobertura do solo) são importantes para determinar se padrões florísticos e estruturais influenciam na prática e intensidade de manutenções em linhas de transmissão de energia elétrica no estado do Rio Grande do Sul. Sendo assim, a intensidade de manutenções, quando considerado apenas as variações florísticas, a ser empregada ao longo da LTEE deve ser semelhante, pois não há variações consistentes entre a vegetação. Enquanto avaliando os atributos de classes de riscos a manutenção deve levar em considerações áreas de alto/médio risco de desligamento e realizar monitoramentos periódicos.

Este estudo fornece um indicativo quantitativo e espacial de áreas propensas a risco relacionado às variações estruturais e composição da vegetação, sendo um passo importante para o aprimoramento de práticas de manutenções em LTEE.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado e a Companhia Estadual de Energia Elétrica - Rio Grande do Sul (CEEE-GT) pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BAGLI, S.; GENELETTI, D.; ORSI, F. Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 31, p. 234-239, 2011.

CALLEGARO, R. M. *et al.* Fitossociologia e fatores ecológicos condicionantes da vegetação em uma floresta estacional na região central do Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 72, n. 1, p. 33-43, 2017.

CAMARGO, A. S. G.; UGAYA, C. M. L.; AGUDELO, L. P. P. Proposta de definição de indicadores de sustentabilidade para geração de energia elétrica. **Revista Educação e Tecnologia**, v. 8, p. 1-21, 2004.

CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. **Austral Ecology**, v. 18, n. 1, p. 117-143, 1993.

COHN, J. S. *et al.* How do heterogeneity in vegetation types and post-fire age-classes contribute to plant diversity at the landscape scale? **Forest Ecology and Management**, v. 346, p. 22-30, 2015.

COLWELL, R. K. *et al.* Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. **Plant Ecology**, v. 5, n. 1, p. 3-21, 2012.

CUCCO, J.; OLIVEIRA, F. H. Modelo de propensão a ocupações irregulares em linhas de transmissão de energia elétrica. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 30, p. 107-120, 2011.

FÁVERO, A. A. *et al.* Distribuição de abundância de espécies da comunidade arbórea do topo de um morro na floresta estacional subtropical. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5 p. 806-813, 2015.

GASPER, A. L. *et al.* Variação da estrutura da floresta Estacional Decidual no estado de Santa Catarina e sua relação com a altitude e clima. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 77-89, 2015.

HAIR, J.F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HEMMATI, R.; SABOORI, H.; SABOORI, S. Stochastic risk-averse coordinated scheduling of grid integrated energy storage units in transmission constrained wind-thermal systems within a conditional value-at-risk framework. **Energy**, v. 133, p. 762-775, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IRL, S. D. H. *et al.* Climate vs. topography - spatial patterns of plant species diversity and endemism on a high-elevation island. **Journal of Ecology**, v. 103, n. 6, p. 1621-1633, 2015.

JWA, Y.; SOHN, G. A Piecewise Catenary Curve Model Growing for 3D Power Line Reconstruction. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 78, n. 12, p. 1227-1240, 2012.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology**. Amsterdam: Elsevier, 2012.

LOPES, R da F. **Otimização do Processo de Manutenção de Faixas de Serviço de Linhas de Média e Alta Tensão**. 2013. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.

MACHADO, S. A. *et al.* Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Em um fragmento de floresta ombrófila mista. **Scientia agraria**, v. 10, n. 2, p. 103-110, 2009.

MAÇANEIRO, J. P. *et al.* More than environmental control at local scales: do spatial processes play an important role on floristic variations in Subtropical Forests?. **Acta Botânica Brasilica**, v. 30, n. 2, p. 183-192, 2016.

MAÇANEIRO, J. P. *et al.* A. Structural and floristic variations in an Atlantic Subtropical Rainforest in Southern Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2019.

MARTINS, S. V. *et al.* Distribuição de espécies arbóreas em um gradiente topográfico de floresta estacional semidecidual em Viçosa, MG. **Scientia forestalis**, n. 64, p. 172-181, 2003.

MATIKAINEN, L. *et al.* Remote sensing methods for power line corridor surveys. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 119, p. 10-31, 2016.

MILLS, S. J. *et al.* Evaluation of Aerial Remote Sensing Techniques for Vegetation Management in Power-Line Corridors. **IEEE Transactions on geoscience and Remote sensing**, v. 48, n. 9, p. 3379-3390, 2010.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. *et al.* Delving into the variations in tree species composition and richness across South American Subtropical Atlantic and Pampean forests. **Plant Ecology**, v. 8, p. 242-260, 2015.

PORTELA, F. C. Faixas de servidão de linhas de transmissão de energia elétrica e os lucros cessantes na cajucultura: métodos e valoração da limitação do uso do solo em territórios produtivos. **Revista Espaço e Geografia**, v. 16, n. 1, p. 67-95, 2013.

ROSA, D. M. **Sistema LiDAR portátil terrestre: Estudos e aplicações Florestais**. 2014. 31p. Monografia (Especialização em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5 ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

SANTOS, R. O. *et al.* Distribuição diamétrica de uma comunidade arbórea na Floresta Estadual do Amapá, Brasil. **Biota Amazônica**, v. 6, n. 2, p. 24-31, 2016.

SCIPIONI, M. C.; GALVÃO, F.; LONGHI, S. J. Composição florística e estratégias de dispersão e regeneração de grupos florísticos em florestas estacionais deciduais no Rio Grande do Sul. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 241-254, 2013.

SILVA, E. F. *et al.* Manejo Sustentável da Vegetação de Mata Atlântica sob Linhas de Transmissão de Energia Elétrica. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 2003, Salvador. **Anais...** Bahia: 2003. p. 640-644.

SÍMÓVA, I. *et al.* Shifts in trait means and variances in North American tree assemblages: species richness patterns are loosely related to the functional space. **Ecography**, v. 38, p. 649-658, 2015.

SOUZA, K *et al.* Estrutura e estratégias de dispersão do componente arbóreo de uma floresta subtropical ao longo de uma topossequência no Alto-Uruguaí. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 321-332, 2015.

WAGNER, D. L. *et al.* Vegetation composition along a New England transmission line corridor and its implications for other trophic levels. **Forest ecology and management**, v. 324, p. 231-239, 2014.

WARDMAN, J. B. *et al.* Potential impacts from tephra fall to electric power systems: a review and mitigation strategies. **Bulletin of Volcanology**, v. 74, n. 10, p. 2221-2241, 2012.

