



Grupo de Estudo de Planejamento de Sistemas Elétricos-GPL

SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA PLANEJAMENTO, LEILÕES E CONSTRUÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO, CONSIDERANDO ASPECTOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E FUNDIÁRIOS

AFONSO HENRIQUES MOREIRA SANTOS(1); RODOLFO MENDES DE LIMA(1); CAMILO RAIMUNDO SILVA PEREIRA(1); RICARDO ALEXANDRE PASSOS DA CRUZ(1); REINIS OSIS (1); ARTHUR ROHR PASCHOAL CORRÊA CARDOSO (1); GIULIA OLIVEIRA SANTOS MEDEIROS (2); ANDERSON RODRIGO DE QUEIROZ (3) LUIZ CZANK JUNIOR (4); RENATO ANTONIO DOS SANTOS (4); EDEN LUIZ CARVALHO JUNIOR (4)

**ix Estudos e Projetos Ltda. – EPP, Itajubá – MG, Brasil (1);
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá – MG, Brasil (2);
School of Business at North Carolina Central University, Durham 27707 USA. (3)
Transmissoras Brasileiras de Energia (TBE), São Paulo – SP, Brasil (4)**

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para estudo de traçados de linhas de transmissão para suporte a tomada de decisão em leilões. Essa metodologia tem como base a utilização de ferramentas de otimização de traçado baseada em mapas raster, onde é possível a integração de múltiplos critérios geográficos. A metodologia desenvolvida apresentou resultados satisfatórios, o que é demonstrado pelo estudo de caso para a LT 230 kV Lages – Rio do Sul. Os traçados modelados pela metodologia apresentaram coerência técnica com o traçado real da LT. A rota modelada considerando todos os custos de implantação (traçado econômico) apresentou menor comprimento e menor custo de implantação que o traçado real.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de Transmissão, Otimização de Traçado, Leilões de Transmissão

1.0 - INTRODUÇÃO

A necessidade de sustentação dos investimentos em transmissão, tanto nas instalações dedicadas às interligações regionais quanto naquelas necessárias à integração de fontes renováveis de energia elétrica mostra que o planejamento é um fator importante para garantir que esses investimentos sejam feitos de maneira oportuna e sustentável. Neste contexto, diversos trabalhos destacam o potencial de metodologias baseadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no auxílio a tomada de decisão, promovendo um planejamento claro, sustentável e eficiente.

Nos estudos de planejamento que subsidiam o processo licitatório de novas linhas de transmissão, é apresentada uma diretriz preferencial para o traçado. Para isso, no Relatório R1 (Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Socioambiental) são desenvolvidos estudos em escala regional onde são identificadas as principais restrições a implantação de uma linha de transmissão, conduzindo ao corredor de estudo que será objeto de análise do Relatório R3, no qual é definida a diretriz do traçado das linhas para suporte à fase de leilão. Entretanto, estes estudos ainda são preliminares em relação ao traçado final que será definido após o leilão, durante a elaboração do projeto básico, demandando a identificação de aspectos que possibilitem uma avaliação mais apurada de especificidades do empreendimento que permitam reduzir o nível de incerteza do agente no processo de tomada de decisão no leilão. Junto a essas incertezas quanto a definição do traçado e estimativas de custos para definição do valor do lance pelo agente, soma-se o aumento da concorrência nos leilões recentes, traduzido pelo aumento do nível de deságio observado e redução de lotes vazios.

(*) Rua Cel. Joaquim Francisco, n° 341, sala 2, CEP 37.501-052. Itajubá, MG – Brasil
Tel: (+55 35) -3622-3114 – E-mail: afonso@ixconsult.com.br / rodolfo.lima@ixconsult.com.br

(*) Rua Cel. Joaquim Francisco, n° 341, sala 2, CEP 37.501-052. Itajubá, MG – Brasil
Tel: (+55 35) -3622-3114 – E-mail: afonso@ixconsult.com.br / rodolfo.lima@ixconsult.com.br

Os desafios destacados mostram a necessidade do desenvolvimento de novas ferramentas e metodologias para auxiliar o planejamento e licitação de novas linhas de transmissão, em que aspectos ambientais e fundiários possam ser incluídos na análise de uma forma qualitativa e quantitativa.

Considerando o exposto, este trabalho propõe uma metodologia para otimização de traçados de linhas de transmissão com base em ferramentas SIG onde múltiplos critérios são considerados na otimização. Esta metodologia é baseada na representação dos critérios como arquivos raster, em que cada pixel deste arquivo possui um valor associado a dificuldade de travessia deste pixel, que pode expressar um custo de implantação, impacto ambiental, ou outro critério estabelecido de acordo com o objetivo do estudo.

2.0 - OTIMIZAÇÃO APLICADA A DEFINIÇÃO DE TRAÇADOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

O processo de definição de traçado de uma linha de transmissão pode ser definido como um problema de otimização onde o objetivo principal é a redução de custos de implantação e operação, influenciados por aspectos técnicos e geográficos como acessos, áreas de preservação ambiental, complexidade do terreno (declividade e relevo), características geotécnicas do solo, uso do solo, infraestrutura existente, dentre outros (1, 2). Técnicas para otimização de traçado de linhas de transmissão e outras infraestruturas lineares evoluíram nos últimos anos, e atualmente abordagens baseadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem uma fácil e rápida identificação de traçados. De acordo com (3) o setor elétrico dos Estados Unidos tem mostrado diversas iniciativas para otimizar o processo de planejamento da transmissão, incluindo sistemas baseados em SIG, que é uma das mais poderosas ferramentas para solução de problemas de engenharia relacionados a otimização de traçados e localização otimizada (4).

A maioria das ferramentas de softwares SIG voltadas a otimização de traçado são baseadas em mapas raster para representação do espaço de busca. Esta abordagem, referida na literatura como *raster-based least-cost path analysis*, é bastante eficiente para solução de problemas de roteamento e amplamente empregada em diversas áreas como: identificação de rotas dispersão de animais selvagens (5), estudos sobre dispersão de ancestrais humanos (6), determinação de traçados de estradas (7), estudos para definição de traçado de linhas de transmissão (1; 8), dentre outras.

As restrições são representadas por mapas raster, que são ponderados e integrados em um único mapa raster denominado "superfície de custo". Os valores associados a cada pixel dessa superfície podem ser interpretados como a dificuldade de travessia do pixel (9) e podem representar os custos de implantação da linha de transmissão (1; 8), impacto ambiental (10), ou outro aspecto determinado de acordo com o objetivo do estudo. A atribuição dos pesos aos critérios pode ser feita pela utilização de métodos de avaliação multicritério, como o método *Analytic Hierarch Process* – AHP (4; 11), ou mesmo pela atribuição de valores de custo diretamente como em (8).

A partir da superfície de custo, o próximo passo da metodologia baseada em mapas raster é a confecção de uma superfície de custo acumulado. Cada pixel dessa superfície representa o custo acumulado do caminho de menor custo até o ponto inicial que foi definido no processo de criação dessa superfície (12). A construção da superfície de custo acumulado é feita com base em algoritmos *shortest path*, como o algoritmo de Dijkstra (13), que é o algoritmo mais utilizado para este propósito. O algoritmo de Dijkstra foi originalmente desenvolvido para solução do problema do caminho de menor custo modelado como um grafo. Dessa forma, as ferramentas SIG baseadas em raster modelam um grafo virtual considerando o centro de cada pixel como nós e as conexões entre os pixels como ramos do grafo (14). Por razões de eficiência, a maioria dos algoritmos considera conexões aos 8 pixels vizinhos, em que o peso de cada ramo corresponde à média dos valores dos dois pixels vizinhos multiplicado pela distância do ramo. A distância do ramo, por sua vez pode ter valor unitário, quando a vizinhança dos pixels se dá na transversal ou valor de raiz de 2 quando a vizinhança se dá na diagonal (8). Outras configurações de vizinhança também podem ser utilizadas, como a opção de utilização de 16 pixels vizinhos na ferramenta *r.cost* do GRAS GIS (15), chamada na ferramenta de *knight's move*, que reduz as distorções no traçado resultante. O último passo da metodologia *least cost path* é a determinação do traçado de menor custo a partir da superfície de custo acumulado. A partir de um ponto de destino definido, a rota de menor custo é traçada buscando os pixels vizinhos com valor decrescente até o ponto de origem que possui valor zero, definido na construção da superfície de custo acumulado.

3.0 - METODOLOGIA

A metodologia proposta para seleção de traçado é consiste na utilização de ferramentas de otimização de traçado baseadas em mapas raster (Figura 1), que pode ser dividida basicamente em duas etapas: (i) confecção de uma superfície de custo, que modela a distribuição geográfica dos custos de implantação da LT sobre a área de estudo; (ii) aplicação de ferramentas *least cost-path* do QGIS para determinação da diretriz preferencial. Uma vez que a metodologia proposta é direcionada a tomada de decisão em leilões de transmissão, em que o objetivo é selecionar a alternativa de menor custo, o critério de otimização utilizado foi o custo de implantação da LT.

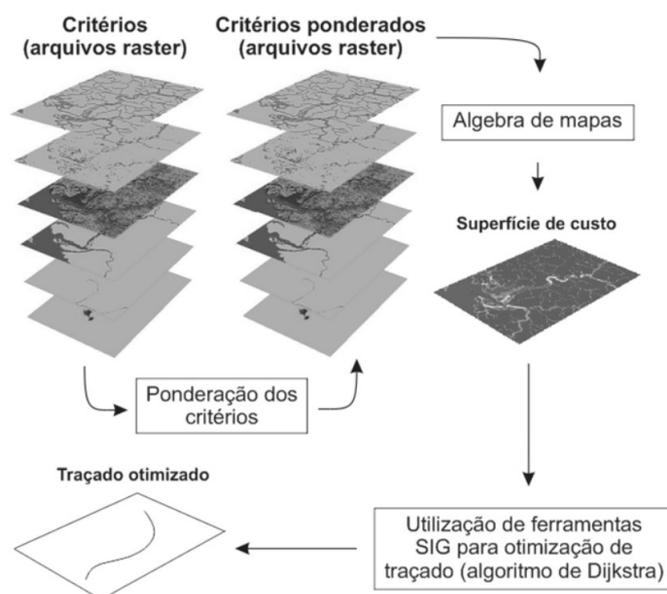


Figura 1 - Fluxograma da metodologia de otimização de traçado aplicada na determinação da diretriz preferencial.

3.1 Estrutura da superfície de custo

A superfície de custo modela a distribuição geográfica dos custos de implantação da LT sobre a área de estudo, expressos em R\$/km. Essa superfície deve incluir todos os critérios relacionados a implantação, selecionados de acordo com aspectos técnicos da LT e das características geográficas da área de estudo. Considerando a estrutura da planilha de orçamentos de transmissão da ANEEL (16), que é utilizada para o cálculo da Receita Anual Permitida (RAP) nos leilões de transmissão, os critérios que integram a superfície de custo foram divididos em 3 grupos: (i) Custo Base – CB, Custos Estruturais – CE, (ii) Custos de Servidão – CS e (iii) Impeditivos – IMP. Este último grupo representa locais da área de estudo onde não deve ser permitida a passagem de uma LT como áreas urbanas, áreas montanhosas, rios ou lagos de grande extensão que podem resultar em dificuldades técnicas para transposição. Na Tabela 1 é apresentada uma estrutura geral para a superfície de custos, listando os principais componentes e critérios geográficos que os representam. Destaca-se que outros componentes, não considerados nessa estrutura apresentada, podem ser incluídos de acordo com os objetivos do estudo, características da LT em estudo e do local de implantação.

Tabela 1 - Estrutura Básica da Superfície de Custo – Componentes de Custo e Critérios Geográficos.

| Grupo de Custo | Componentes de Custo | Critério Geográfico |
|-------------------------------|--|--|
| Custo Base | n.a. | n.a. |
| Custos Estruturais Adicionais | Custo Adicional para Solos de Baixa Resistência | Solos de Baixa Resistência |
| | Custo Adicional para Áreas de Preservação | Áreas de Preservação (APPs e UCs) |
| | Custo Adicional para Áreas susceptíveis a erosão | Áreas Susceptíveis a Erosão |
| | Custo Adicional para Travessia de Rios e Corpos d'água | Hidrografia e Corpos d'água |
| Custos de Servidão e Acessos | Custos de Indenização, Limpeza e Recomposição | Uso e Ocupação do Solo |
| | Custos para Construção de Acessos | Qualidade da Infraestrutura de Transportes (Estradas e Rodovias) |
| Impeditivos | - | Áreas montanhosas, Áreas urbanas... |

O grupo CB representa os custos de implantação de uma LT (condutores, torres, fundações, topografia, sondagens e aterramento) considerando condições ideais, ou seja, uma LT atravessando uma área sem nenhuma restrição, com relevo suave e vegetação rasteira. Esse grupo de custo não possui dependência geográfica, ou seja, pode ser representado por um mapa raster em que todos os pixels possuem o mesmo valor.

O valor do custo base é calculado considerando uma estimativa prévia para vão médio, altura das torres e proporção de torres (ancoragens, estaiadas e autoportantes).

O grupo CEA representa os custos adicionais em relação ao CB, relacionados a restrições e condições geográficas específicas presentes na área de estudo, o que exige arranjos e tipos específicos para estruturas, fundações e condutores. Por exemplo, os solos de baixa resistência exigem a aplicação de fundações especiais em estaca; áreas de susceptíveis a erosão podem exigir métodos construtivos específicos; áreas de preservação podem exigir aplicação de estruturas mais altas para reduzir a faixa de desmatamento; rios navegáveis devem respeitar a exigências legais para altura de segurança exigindo torres mais altas.

O grupo CS agrega os custos associados a faixa de servidão e a construção de acessos para implantação da LT. Os custos associados a faixa de servidão estão diretamente relacionados ao uso e ocupação do solo na área de estudo, e compreendem essencialmente os custos de indenização, limpeza de faixa e recomposição de vegetação associada ao desmatamento na faixa de servidão. Já os custos de acesso estão relacionados as condições de acesso pré-existentes na área de estudo, sendo que quanto mais isolado o local para implantação da LT mais alto será o custo para abertura de novos acessos.

O grupo IMP não possui nenhum valor de custo associado, e representa áreas que devem ser evitadas como aglomerados urbanos, montanhas, lagos ou rios de determinada extensão, áreas de indígenas, comunidades quilombolas, etc. Esses impeditivos são indicados por valores nulos no mapa raster que os representa, que são interpretados como “vazios” pelo algoritmo de otimização de traçado.

Os custos de cada um dos componentes de custo devem ser calculados ou estimados e para esse artigo essa estimativa de custos foi feita com base na planilha de orçamento de transmissão da ANEEL (16). A partir dos mapas raster de cada um dos critérios com os devidos custos atribuídos, a superfície de custo pode ser obtida com uso da calculadora raster, em que os mapas são somados. Nesta soma, que é uma operação cartográfica (17), cada pixel da soma representa a soma dos valores dos pixels com mesma referência espacial dos mapas raster a serem somados. Os mapas que representam os impeditivos, que possuem valor nulo para suas feições, tem prevalência nas operações geográficas, ou seja, se uma das camadas raster possuir valor nulo para um determinado pixel, o pixel correspondente da camada resultante também deverá ter valor nulo, independentemente da operação geográfica realizada (multiplicação, soma, subtração...).

3.2 Otimização de traçado

Esta etapa da metodologia é executada basicamente pela aplicação de dois algoritmos do software QGIS: *r.cost* e *r.drain*. O primeiro deles, juntamente com a superfície de custos e o ponto inicial da rota como dados de entrada, é utilizado para gerar uma superfície de custo acumulado. Cada pixel dessa superfície possui um valor que representa um “mínimo custo acumulado” de transposição do pixel em questão até o pixel referente ao ponto final da rota. Esta superfície é então utilizada, juntamente com o ponto final da rota, como dados de entrada para a segunda ferramenta, *r.drain*, que gera como produto um arquivo no formato raster e outro no formato vetorial do traçado de menor custo.

4.0 - ESTUDO DE CASO

Para ilustrar a aplicação da metodologia proposta a LT 230 kV Lages – Rio do Sul foi selecionada como estudo de caso. Essa LT, com 100 km de extensão, está localizada no estado de Santa Catarina e iniciou sua operação em outubro de 2007. Na Tabela 2 são listados os componentes utilizados para compor a superfície de custo (Figura 2), assim como a descrição e os valores de custo atribuídos para cada um deles.

Tabela 2 - Custos Estruturais calculados para a LT 230 kV Lages – Rio do Sul.

| Grupo de Custo | Componentes de Custo | Critério Geográfico | Classe | Custo [R\$/km] |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|---------------|-------------------|
| Custo Base | Custo Base | n.a. | n.a. | 345.206 |
| | Custo Estrutural Básico (CEB) | - | - | 300.471 |
| Custos Estruturais | Custo Adicional para Solos de Baixa Resistência | Solos de Baixa Resistência | - | 292.876 |
| | Custo Adicional para Áreas de Preservação | Áreas de Preservação (APPs e UCs) | - | 119.102 |
| | Custo Adicional para Áreas susceptíveis a erosão | Áreas Susceptíveis a Erosão | - | 8.212 |
| Custos de Servidão de Acessos | Custos de Indenização, limpeza e recomposição de vegetação. | Uso e Ocupação do Solo | Água | 129.517 |
| | | | Agricultura | 43.728 |
| | | | Áreas Urbanas | Impeditivo |
| | | | Floresta | 129.517 |
| | | | Pastagem | 32.397 |

| | | | |
|---------------------------------|----------------------|--------------|---------|
| | | Solo Exposto | 32.728 |
| | | Silvicultura | 120.831 |
| | | Média | 8.893 |
| Custos para abertura de acessos | Densidade de acessos | Baixa | 11.117 |
| | | Muito Baixa | 13.340 |

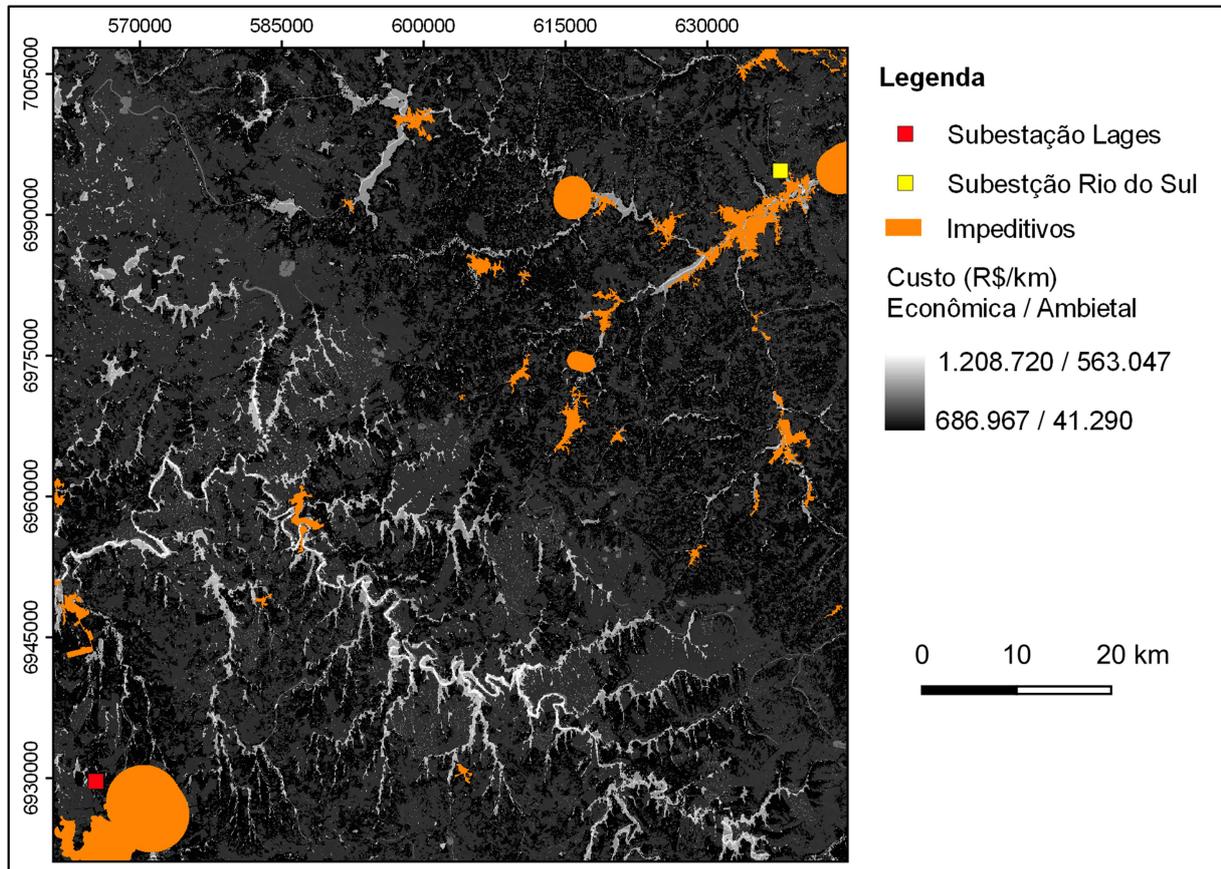


Figura 2: Superfícies de custo para a LT 230 kV Lages – Rio do Sul.

Com base nos componentes de custo listados na Tabela 2, foram construídas duas superfícies de custo, denominadas superfície “econômica”, integrando todos os componentes, e uma superfície “ambiental”, que não considera o Custo Base, que possui apenas viés econômico (sem dependência geográfica). Esta área de estudo não apresenta grande complexidade geográfica para escolha do traçado, com presença de aeroportos e pequenas machas urbanas como impeditivos. Essa característica resultou em diretrizes similares ao traçado real da LT, em que o traçado os traçados modelados se desviaram um pouco a noroeste em um máximo de 10 km no trecho intermediário do eixo das diretrizes em estudo (Figura 3). A diretriz econômica apresentou comprimento e custo praticamente iguais ao traçado real da LT. Por outro lado, a diretriz ambiental teve comprimento apresentou comprimento cerca de 12 km maior e custo cerca de 4 milhões maior que o traçado real da LT (Tabela 3).

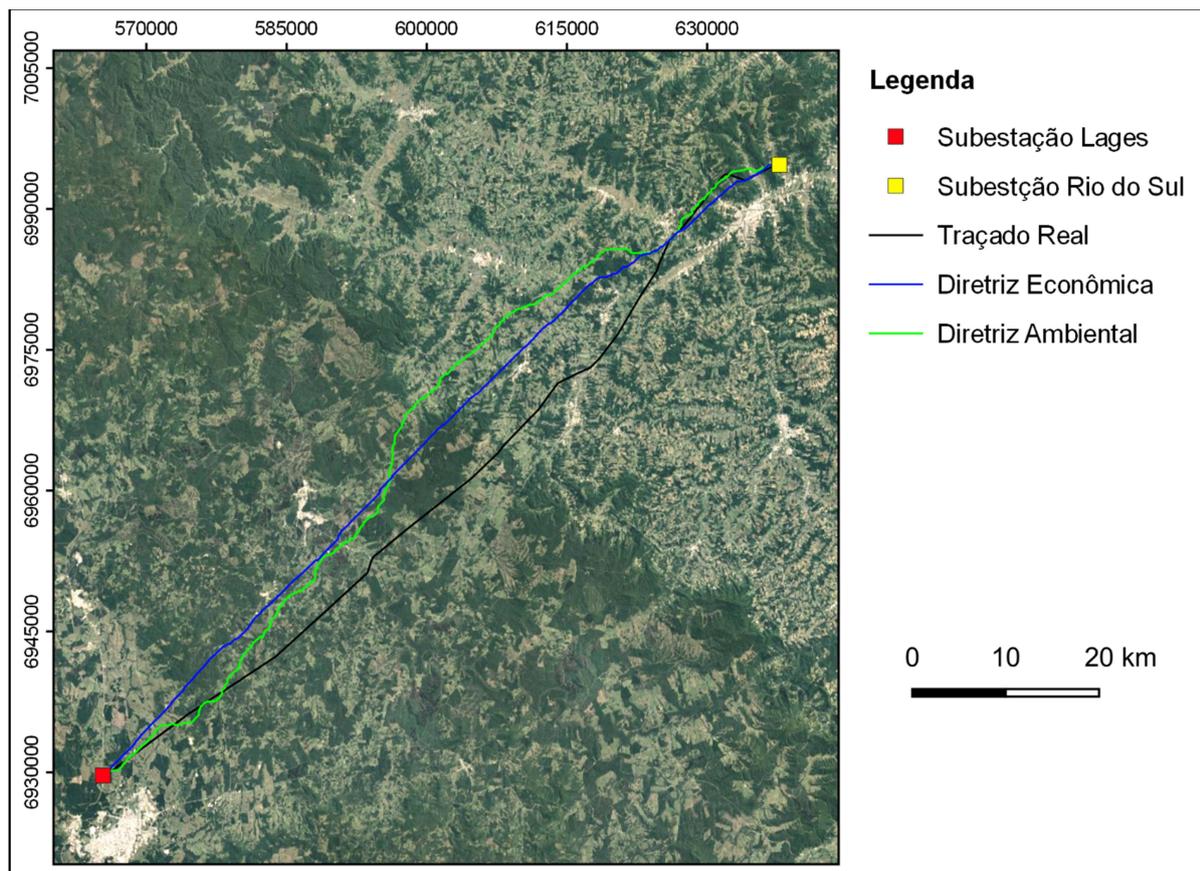


Figura 3: Resultados da otimização de traçado para a LT 230 kV Lages – Rio do Sul.

Tabela 3: Custo de Implantação para os traçados modelados e para o traçado real da LT 230 kV Lages – Rio do Sul, estimados com base na superfície de custo.

| Comprimento e Custos | | Ambiental | | Econômico | | Real | |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| Comprimento (m) | | 112.083 | | 100.889 | | 100.209 | |
| Custo Base (R\$) | | 38.691.740 | 48,56% | 34.827.608 | 46,60% | 34.592.834 | 45,80% |
| Custos Estruturais (R\$) | Estrutural Básico | 33.677.778 | 42,27% | 30.314.389 | 40,56% | 30.110.038 | 39,86% |
| | Solos Baixa Resistência | 265.145 | 0,33% | 795.801 | 1,06% | 2.351.838 | 3,11% |
| | Preservação | 127.488 | 0,16% | 347.381 | 0,46% | 418.635 | 0,55% |
| | Erosão | 34.393 | 0,04% | 61.843 | 0,08% | 63.886 | 0,08% |
| Custos de Servidão e Acessos (R\$) | Indenização, limpeza e recomposição | 5.874.324 | 7,37% | 7.495.516 | 10,03% | 7.065.199 | 9,35% |
| | Acessos | 1.005.721 | 1,26% | 898.120 | 1,20% | 929.516 | 1,23% |
| Custo Total (R\$) | | 79.676.591 | 100% | 74.740.657 | 100% | 75.531.195 | 100% |

5.0 - CONCLUSÃO

Esse trabalho apresenta uma metodologia de otimização de traçados de linhas de transmissão, com aplicação voltada principalmente a tomada de decisão em leilões de transmissão. Essa metodologia tem como base a

utilização de ferramentas SIG baseadas em mapas raster para otimização de traçado, onde é possível integrar múltiplos critérios geográficos no estudo de traçado.

A metodologia desenvolvida apresentou resultados satisfatórios, o que é demonstrado pelo estudo de caso para a LT 230 kV Lages – Rio do Sul. Os traçados modelados pela metodologia apresentaram coerência técnica com o traçado real da LT. A rota modelada considerando todos os custos de implantação (traçado econômico) apresentou menor comprimento e menor custo de implantação que o traçado real. Por outro lado, a rota avaliada segundo o critério que confere maior peso aos aspectos ambientais apresentou comprimento e custo superiores ao traçado real, entretanto, observa-se que essa alternativa resultou em uma maior aproximação ao traçado real nos trechos próximos às extremidades da LT.

Diante do exposto, verifica-se que a possibilidade de testar diferentes combinações de critérios, gerando diferentes rotas, é uma grande vantagem da metodologia proposta, a qual permite que diferentes cenários sejam avaliados durante a tomada de decisão. A metodologia permite ainda que outros métodos, diferentes da atribuição direta de custos, sejam utilizados para a ponderação dos critérios. Como exemplo, pode-se citar o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), que se baseia em comparações pareadas para mensurar a preferência ou dominância de elementos em relação ao um objetivo geral. Isso permite que diferentes alternativas de traçado sejam avaliadas quanto a diferentes aspectos como impacto ambiental e risco. Por fim, a metodologia proposta pode levar mais realismo ao planejamento de novas linhas de transmissão, criando uma ferramenta eficiente para a tomada de decisão. A mesma ferramenta pode suportar a fase construtiva da linha, buscando novos encaminhamentos para trechos que separam com problemas ambientais, fundiários ou outros, de forma a reduzir ou eliminar o atraso do cronograma proposto.

6.0 - AGRADECIMENTOS

Este trabalho integra as atividades do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D ANEEL) intitulado “Desenvolvimento de Metodologia de Otimização de Traçado e Projeto de Linhas de Transmissão Empregando Técnicas Quantitativas em Sistema de Informações Geográficas” (PD- 2651-0012/2016), contratado pelas empresas EATE, EBTE, ECTE, ENTE, ERTE, ESDE, ETEP, ETSE e LUMITRANS, gerenciado pela TBE e executado pela iX Estudos e Projetos Ltda. – EPP.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MONTEIRO, C.; RAMÍREZ-ROSADO, I.; MIRANDA, V.; et al.: ‘GIS Spatial Analysis Applied to Electric Line Routing Optimization’. IEEE Transactions on Power Delivery, 20, (2), pp. 934-942, 2005.
- (2) KIESSLING, F.; NEFZGER, P.; NOLASCO, J. F.; KAINZYK, U. Overhead Power Lines: Planning, Design, Construction. Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2003.
- (3) HUSAIN, F., SULAIMAN, N.A., HASHIM, K.A., et al.: ‘Multi-criteria selection for TNB transmission line route using AHP and GIS’. 2012 Int. Conf. on System Engineering and Technology, Bandung, Indonesia, 2012.
- (4) EROGLU, H. & AYDIN, M. Optimization of electrical power transmission lines’ routing using AHP, fuzzy AHP, and GIS. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 23:1418-1430, doi: 10.3906, 2015.
- (5) RECIO, M. R.; SEDDON, P. J.; MOORE, A. B. Niche and movement models identify corridors of introduced feral cats infringing ecologically sensitive areas in New Zealand. Biological Conservation, 192, pp. 48-56, 2015.
- (6) CAROTENUTO, F.; TSIKARIDZE, N.; ROOK, L.; LORDKIPANIDZE, D.; LONGO, L.; CONDEMI, S.; RAIA, P. Venturing on safely: The biogeography of Homo erectus dispersal out of Africa. Journal of Human Evolution, 95, pp. 1-12, 2016.
- (7) EFFAT, H. A. & HASSAN, O. A. Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least-cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 16, pp.141-151, 2013.
- (8) LIMA, R. M.; OSIS, R.; QUEIROZ, A. R.; SANTOS, A. H. M. Least-cost path analysis and multi-criteria assessment for routing electricity transmission lines. IET Generation, Transmission & Distribution. ISSN 1751-8687. doi: 10.1049/iet-gtd.2016.1119. 2016.
- (9) COLLISCHONN, W. & PILAR, J. V. A direction dependent least-cost-path algorithm for roads and canals. International Journal of Geographical Information Science, 14 (4), pp. 397-406, 2000.
- (10) BAGLI, S.; GENELETTI, D.; ORSI, F. Routing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimize environmental impacts. Environmental Impact Assessment Review, 31, pp. 234-239, 2011.

- (11) SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process – What it is and how it is used. *Mathl Modelling*, Vol. 9, n°3-5, pp. 161-176, 1987.
- (12) GOLÇALVES, A.B. An extension of GIS-based least-cost path modelling to the location of wide paths. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 24, No. 7, July 2010, 983–996.
- (13) DIJKSTRA, E. W. A note on two problems in connection with graphs. *Numerische Mathematik*. 1, 269 -271, 1959.
- (14) ETHERINGTON, T. R. Least-cost modeling on irregular landscape graphs. *Landscape Ecology*, 27, pp. 957-968, 2012.
- (15) AWAIDA, A.; WESTERVELT, J.; MOUVEAUX, P. r.cost - Creates a raster map showing the cumulative cost of moving between different geographic locations on an input raster map whose cell category values represent cost. Acesso em: <https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.cost.html>.
- (16) ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Base de Preços de Referência ANEEL – Ref. 06/2017. Orçamentos de Linha de Transmissão.
- (17) TOMLIN, C.D. Cartographic modeling, em *Geographic information systems* (Wiley Press, 1991, 1st edn.), pp. 361–374. Disponível em: http://www.wiley.com/legacy/wileychi/gis/Volume1/BB1v1_ch23.pdf. Acesso em 18 de Novembro de 2017.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Afonso Henriques Moreira Santos possui graduação em Engenharia Elétrica (1978), mestrado em Engenharia Elétrica (1981), ambos pela Universidade Federal de Itajubá. Possui doutorado em Engenharia Elétrica (Planejamento de Sistemas Energéticos) pela Universidade Estadual de Campinas (1987) e pós-doutorado pelo Centro International de la Recherchesur l Environnement et le Développement - CIRED, da Ecole de Hautes Etudesen Sciences Sociales - EHESS, Paris, França (1990- 91). Atualmente é Livre Docente na Universidade de São Paulo – USP e Universidade Federal de Itajubá.

Rodolfo Mendes de Lima possui graduação em Engenharia Ambiental (2012) e Mestrado em Engenharia de Energia (2015) pela Universidade Federal de Itajubá. Atualmente é Engenheiro Ambiental pela iX Estudos e Projetos atuando em P&Ds e consultorias nas áreas de energia (geração, transmissão e distribuição), geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica.

Camilo Raimundo Silva Pereira possui graduação em Engenharia Elétrica (2010) pela Universidade Federal de Itajubá. Atualmente é Engenheiro Eletricista pela iX Estudos e Projetos Ltda. - EPP onde desenvolve projetos, P&Ds e consultorias nas áreas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia.

Ricardo Alexandre Passos da Cruz é Engenheiro Eletricista (2003) com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Itajubá, tendo obtido o título de Mestre em Engenharia da Energia (2009) também pela Universidade Federal de Itajubá. Foi pesquisador do Centro de Excelência em Eficiência Energética (EXCEN) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) (2004/2008). Atualmente, é Diretor Geral da iX Estudos e Projetos Ltda.

Reinis Osis possui graduação em Geografia (2008) pela Fundação de Ensino e Pesquisa de Itajubá e Mestrado em Geografia Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é geógrafo na iX Estudos e Projetos Ltda. - EPP e doutorando no laboratório ESO Espaces et Sociétés na Le Mans Université, França. Tem experiência na área de geografia física, geomorfologia, geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica.

Arthur Rohr Paschoal Corrêa Cardoso possui graduação em Engenharia Hídrica (2018) pela Universidade Federal de Itajubá. Atualmente é Engenheiro Hídrico na iX Estudos e Projetos Ltda. – EPP atuando

principalmente no processamento e análise de dados geográficos e Sistemas de Informação Geográfica em projetos e P&Ds na área de energia.

Giulia Oliveira Santos Medeiros possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência (2015), mestrado em Engenharia Elétrica com ênfase em Distribuição de Energia (2018) e atualmente se encontra no programa de doutorado em Engenharia Elétrica, todos na Universidade Federal de Itajubá. Possui experiência como pesquisadora, atuando em projetos de pesquisa e desenvolvimento na área de otimização aplicada ao planejamento da transmissão de energia elétrica e na área de análise de eficiência, regulação e pesquisa operacional no setor de distribuição de energia elétrica.

Anderson Rodrigo de Queiroz possui graduação em Engenharia Elétrica (2005), mestrado em Engenharia Elétrica e Eletrônica (2007) pela Universidade Federal de Itajubá. Possui doutorado (2011) pela University of Texas at Austin, Estados Unidos. Seus interesses em pesquisa são nos temas formação de preços de energia elétrica, regulação na transmissão e distribuição, coordenação hidro-térmica e pesquisa operacional com foco em técnicas de otimização.

Luiz Czank Junior possui graduação em Engenharia Florestal (2006) pela Universidade Federal de Lavras e pós-graduação em Gestão Florestal pela Universidade Federal do Paraná (2008). Atualmente atua como Engenheiro Florestal na TBE – Transmissoras Brasileiras de Energia. Renato Antonio dos Santos possui graduação em Engenharia Civil (2001) pela Universidade de Alfenas (Unifenas). Atualmente está cursando pós-graduação em Estratégia Empresarial pela Saint Paul – Escola de Negócios e atua como Gerente de Engenharia na TBE – Transmissoras Brasileiras de Energia.

Eden Luiz Carvalho Junior possui graduação em Engenharia Elétrica (2007) pela Universidade Norte do Paraná e especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho (2009) pela Oswaldo Cruz. Atualmente é Coordenador de Projetos de P&D na TBE – Transmissoras Brasileiras de Energia.