



HAL
open science

Roteamento de Linhas de Transmissão na Amazônia Utilizando Análise Multicritério e SIG

Rodolfo Mendes de Lima, Reinis Osis, Maira Dzejdzzej, Afonso Henriques
Moreira Santos, Luiz Czank Jr., Eden Luiz Carvalho Jr.

► **To cite this version:**

Rodolfo Mendes de Lima, Reinis Osis, Maira Dzejdzzej, Afonso Henriques Moreira Santos, Luiz Czank Jr., et al.. Roteamento de Linhas de Transmissão na Amazônia Utilizando Análise Multicritério e SIG. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Aug 2014, Florianopolis, Brazil. hal-02270349

HAL Id: hal-02270349

<https://hal.science/hal-02270349>

Submitted on 24 Aug 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**Políticas Energéticas para a Sustentabilidade
25 a 27 de agosto de 2014
Florianópolis – SC**

ROTEAMENTO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO NA AMAZÔNIA UTILIZANDO ANÁLISE MULTICRITÉRIO E SIG.

Rodolfo Mendes de Lima^{1,3}

Reinis Osis^{1,3}

Maíra Dzedzej^{1,3}

Afonso H.M. Santos^{1,3}

Luiz Czank Junior^{1,2}

Eden Luiz Carvalho Junior^{1,2}

RESUMO

O presente trabalho refere-se a um estudo de roteamento da linha de transmissão Vila do Conde – Castanhal (230 kV, 125 km, 2004), situada no estado do Pará, Brasil, considerando uso do solo, unidades de conservação, aeroportos, áreas alagadas, largura de rios, rios navegáveis, áreas de preservação permanente e linhas já existentes do Sistema Interligado Nacional. Duas abordagens para avaliação multicriterial foram adotadas, uma delas a partir da metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*), esta, gerando duas rotas: uma visando minimizar os riscos e outra com foco econômico. A segunda abordagem foi a utilização de valores monetários reais para cada uma das variáveis avaliadas. Os resultados obtidos permitiram a avaliação do custo total e comprimento das rotas geradas e a LT instalada. A rota obtida a partir de valores monetários, as rotas AHP

¹ Desenvolvimento de Software para Otimização de Traçado de Linhas de Transmissão por Meio de Análise de Riscos Ambientais e Avaliação Geotécnica Aprimorada; proponente EATE; cooperadas ERTE, ETEP, Lumitrans, STC; executora iX Estudos e Projetos, 2013 com recursos previstos no programa de P&D ANEEL 2012/2014

² TBE – Transmissoras Brasileiras de Energia (lcjunior@tbe.com.br e ejunior@tbe.com.br).

³ iX Estudos e Projetos Ltda (rodolfo.lima@ixconsult.com.br; reinis.osis@ixconsult.com.br; maira@ixconsult.com.br; afonso@ixconsult.com.br).

econômico e risco e a LT instalada apresentaram custo total de 36,6; 38,2; 50,2 e 42,0 milhões de reais respectivamente, o comprimento foi de 119,2; 128,6; 167,4 e 137,8 km, respectivamente.

Palavras-chave: Linhas de transmissão, Sistemas de Informações Geográfica, roteamento, avaliação multicritério.

ABSTRACT

A routing study was developed along the Vila do Conde–Castanhal transmission line (230 kV, 125 km, 2004), located in the state of Pará, Brazil. The study considered the criteria land use, protected areas, airports, wetlands, width of rivers, navigable rivers, permanent preservation areas and existing lines of the National Interconnected System. Two approaches of multi-criteria evaluation were adopted, one from AHP (Analytic Hierarchy Process), generating two routes: of them focusing on minimizing risks and the other one, focusing on economic issues. The second approach was the use of real monetary values for each variable assessed. The results allowed the evaluation of the total cost and length of the routes generated and of the LT installed. The obtained route regarding monetary values, the AHP economic and risk routes and the LT installed, presented total costs of 36.6; 38.2; 50.2 and 42.0 million dollars respectively, and the corresponding length were 119,2; 128.6; 167.4 and 137.8 km, respectively.

Keywords: Transmission lines, Geographic Information Systems, Routing Generation, Multicriteria evaluation.

1. INTRODUÇÃO

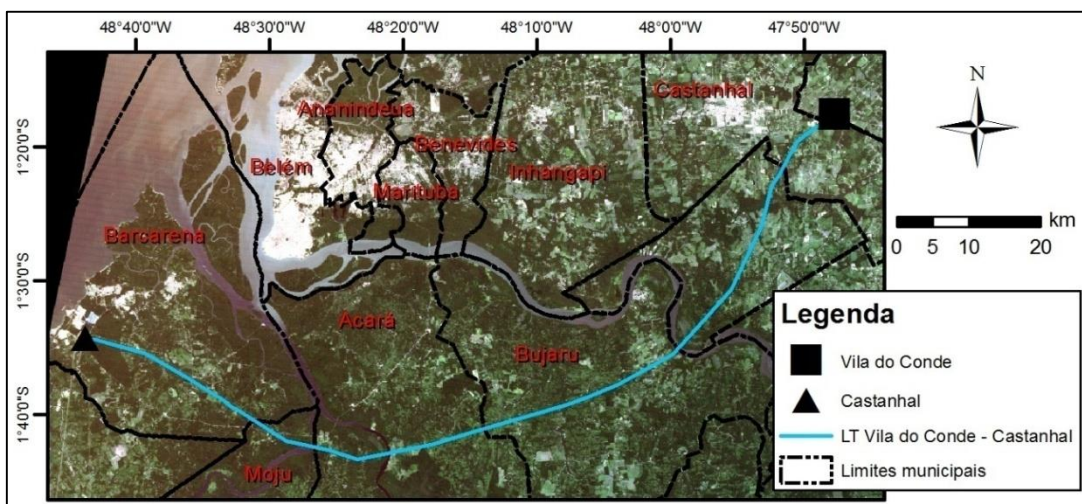
A implantação de uma LT envolve impactos nos meios físico, biótico e social e o planejamento de um traçado deve ser feito com base em aspectos técnicos e também aos relativos a particularidades e riscos locais. Os custos relativos a medidas mitigadoras ambientais estão na faixa de 2,5% do custo direto total de uma linha de transmissão (Frontin, 2010), e, a definição prévia de traçado permite a avaliação integrada de aspectos ambientais, sociais, geográficos e técnicos com vistas à redução de custos de implantação. Apenas no ano de 2014, 1.254,5 quilômetros de linhas de transmissão entraram em operação e a previsão para a ano todo é de 9.025,0 quilômetros e mais 7.813 e 10.713 para os anos de 2015 e 2016 respectivamente (SOARES *et al.*, 2014). Dessa forma, a utilização

de algoritmos para definição de rotas de menor custo e avaliação multicriterial torna possível a avaliação integrada de diversas feições geográficas associadas a aspectos econômicos, ambientais e sociais, no planejamento do traçado de uma linha de transmissão. A determinação de rotas de menor custo é uma aplicação comumente utilizada em sistemas de informações geográficas (SIG) e há aplicações em diversas áreas como ecologia na identificação de corredores de migração e dispersão (Hailong Li *et al.*, 2010; La Rue e Nielsen, 2008); roteamento de linhas de transmissão (Monteiro *et al.*, 2005; Schmidt, 2009) com vistas à redução de impactos ambientais (Bagliet *et al.*, 2011); determinação de traçados de estradas (Atkinson *et al.*, 2005), dentre outras aplicações. Diante do exposto, um estudo de roteamento foi realizado junto à linha de transmissão Vila do Conde-Castanhal, situada no estado do Pará, Brasil, de modo a comparar metodologias de roteamento e avaliação multicriterial para roteamento de linhas de transmissão.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A metodologia proposta neste trabalho foi aplicada em uma área piloto no estado do Pará, Brasil, entre os limites 1°10' - 1°45' S e 47°40' - 48°50' O (Figura 1). No local há uma linha de 230kV implantada entre as subestações de Vila-do-Conde e Castanhal (ERTE, 2003). Isso permitiu a comparação dos resultados com uma LT já implantada e avaliação da eficácia dos métodos tradicionais de definição de traçado, sem a utilização de ferramentas SIG elaboradas para planejamento.



2.2 Modelo de simulação de rotas de menor custo

No modelo de simulação de rotas de menor custo aplicado neste trabalho o procedimento para roteamento é dividido em três etapas:

1. Confeção de uma superfície de rugosidade que é uma matriz cujos valores associados a cada célula são utilizados como pesos para cálculo do caminho de menor custo. Esses representam a resistência, fricção ou dificuldade para travessia das células e podem expressar custo monetário, tempo, distância, risco ou outros aspectos (COLLISCHONN e PILAR, 2000). A superfície de rugosidade pode incluir diversos critérios, em que diversas superfícies preliminares são integradas em uma única superfície por meio da utilização de álgebra de mapas.
2. A segunda etapa foi gerar uma superfície de rugosidade acumulada, em que célula desta matriz armazena um valor relativo ao menor valor possível para transposição até o ponto de destino estabelecido. Este processo consiste em uma função de propagação que procura por uma célula adjacente as células de destino determinadas, e, após a seleção das células com menor valor, o procedimento continua pela procura das próximas células vizinhas com menor valor (LEE e STUCKY, 1998) sempre determinando o custo acumulado, ou seja, a soma do custo das células anteriores até a célula de destino. Juntamente a superfície de custo acumulado é gerada uma superfície de direção de menor custo ao ponto de destino.
3. Finalmente, na terceira etapa, as matrizes de custo acumulado e direção de menor custo são utilizadas para traçado da rota de menor custo, com base nos pontos de início e destino pré-estabelecidos.

2.2.1 Superfícies de rugosidade

Neste trabalho, foram geradas três superfícies de rugosidade para posterior comparação dos resultados de roteamento. Uma delas foi denominada superfície de custo monetário, que representa o custo “monetário” ou “real” de implantação de uma linha de transmissão associado a cada um dos critérios considerados. A determinação da superfície de custo real foi idealizada considerando dois principais aspectos, o primeiro deles relativo aos custos estruturais básicos (ANEEL, 2013), ou seja, o custo material de implantação da linha de transmissão considerando condições normais. O segundo aspecto

compreende os custos adicionais em função de cada uma das variáveis consideradas no estudo, que é a essência para superfície de custo real, já que este irá determinar as divergências de custo no espaço bidimensional de busca do algoritmo de traçado do caminho de menor custo.

Para as duas superfícies restantes, denominadas AHP econômico e AHP risco, os valores de rugosidade de cada uma das variáveis avaliadas foram ponderados por meio da utilização do método de avaliação multicriterial AHP (*Analytic Hierarchy Process*), proposto por Saaty (1987), uma com prioridade econômica e outra com foco no potencial de risco a linha de transmissão. Este método de avaliação multicriterial consiste basicamente na avaliação da importância relativa dos elementos em uma comparação pareada, em relação a um objetivo, em que cada aspecto é comparado em relação a todos os outros em uma escala de importância (Tabela 1).

Tabela 1: Escala de importância relativa.

Grau de Importância	Definição e Explicação
1	Igual importância
3	Importância moderada de um fator em relação ao outro
5	Importância forte de um fator em relação ao outro
7	Importância muito forte de um fator em relação ao outro
9	Importância extrema de um fator em relação ao outro.
2,4,6,8	Valores intermediários

Nove critérios foram utilizados para compor as superfícies de rugosidade:

1. AERO: Aeroportos, representados por faixa de pista e área de aproximação, informações adaptadas de PNLT(2010).
2. ALAG: Áreas alagadas, delimitadas a partir de modelo de elevação de terreno (Miranda et al., 2014) e imagens de satélite landsat (LANDSAT 5 TM, 2008).
3. LARG: Hidrografia dividida por faixas de largura (até 500m, 500-600, 600-700, 700-800, 800-900, 900-1000, 1000-1100, 1100-1200, 1200-1300, 1300-1400, 1500-1600, 1600-1700, 1700-1800, 1800-1900, maior que 1900) dados obtidos por classificação das imagens de satélite (LANDSAT 5 TM)
4. NAVEG: Rios navegáveis adaptados de PNLT (2010) e fotointerpretação de imagens de satélite landsat (LANDSAT 5 TM).
5. SIN: Traçado do sistema interligado nacional, adaptado de PNLT (2010).
6. UC: Unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável (BRASIL, 2014).

7. APP: Áreas de preservação permanente relativas a rede hidrográfica, traçadas com base em Brasil (2012).
8. USO: Uso do solo, dividido em vegetação rasteira, vegetação arbórea, solo exposto e áreas urbanas, delimitadas por meio de algoritmo de classificação de máxima verossimilhança a imagens de satélite landsat (LANDSAT 5 TM, 2008).
9. ESTR: Este critério é representado espacialmente por uma superfície de valor constante relativo aos custos básicos de uma linha de transmissão de 230kV, nos moldes da L.T. Vila do Conde – Castanhal (ERTE, 2003; ANEEL, 2013), para uma suposta área sem nenhum impeditivo ou restrição. Destaca-se que esta superfície é utilizada apenas para as superfícies de custo monetário e AHP econômico, pois é uma variável intrínseca a custos de implantação. Em comparação com as outras variáveis, que são associadas aos custos incrementais de travessia considerando cada uma das particularidades do espaço geográfico, esta superfície faz com que o algoritmo busque rotas mais curtas, para feições onde este custo básico de implantação é significativo em relação aos custos incrementais.

Cada um dos critérios são representados espacialmente por arquivos no formato *shape* (*.shp), um tipo de arquivo vetorial. Todos os arquivos foram padronizados para um mesmo sistema de referência espacial, neste caso projeção UTM, zona 23S e datum WGS84. Este formato de arquivo permite armazenar diferentes valores para cada uma das classes, ou feições geográficas, em uma tabela de atributos, em que cada coluna representa um conjunto de valores associados as feições geográficas do arquivo. Dessa forma, esses arquivos armazenam os valores de peso e custos monetários, referentes às três superfícies de rugosidade (Tabela 2). Posteriormente os arquivos *shape* são convertidos em formato matricial (*.tif), que são então somados para compor as superfícies de rugosidade.

Tabela 2: Resultados da aplicação do AHP para determinação dos pesos das variáveis que compõe as superfícies de custo.

Variável	Classes	Custo monetário	AHP - Econômico				AHP - Risco			
		Custo [R\$]	Peso da variável (PV)	Peso da classe	Peso da classe (PC) ¹ 0-100	PESO FINAL (PV*PC)	Peso da variável (PV)- AHP	Peso da classe - AHP	Peso da classe (PC) ¹ 0-100	PESO FINAL (PV*PC)
AERO	FAIXA DE PISTA	1.969.908,42	13,8	80,00	100	1.380,00	4,1	80	100	410,00
	ÁREA DE APROXIMAÇÃO	214.045,59		20,00	25	345,00		20	25	102,50
	AUSÊNCIA	0,00		0,00	0	0,00		0	0	0,00
ALAG	AUSÊNCIA	0,00	13	0,00	0	0,00	14,1	0	0	0,00
	PRESENÇA	60.777,68		100,00	100	1.300,00		100	100	1410,00
LARG	ATÉ 500 METROS	17.328,63 ²	39,4	-	-	265,95 ²	38	-	-	256,5 ²
	LARGURA DE 500-600 METROS	17.328,63		1,70	6,75	265,95		1,7	6,75	256,50
	LARGURA DE 600-700 METROS	17.524,79		2,00	7,94	312,84		2	7,94	301,72
	LARGURA DE 700-800 METROS	20.469,45		2,50	9,92	390,85		2,5	9,92	376,96
	LARGURA DE 800-900 METROS	25.634,93		3,10	12,30	484,62		3,1	12,30	467,40
	LARGURA DE 900-1000 METROS	718.008,34		4,40	17,46	687,92		4,4	17,46	663,48
	LARGURA DE 1000-1200 METROS	763.828,63		10,30	40,87	1.610,28		10,3	40,87	1553,06
	LARGURA DE 1200-1400 METROS	810.524,79		12,00	47,62	1.876,23		12	47,62	1809,56
	LARGURA DE 1400-1600 METROS	813.469,45		16,90	67,06	2.642,16		16,9	67,06	2548,28
	LARGURA DE 1600-1800 METROS	818.634,93		21,90	86,90	3.423,86		21,9	86,90	3302,20
LARGURA maior que 1800	IMPEDITIVO	25,20	100,00	3.940,00	25,2	100,00	3800,00			
NAVEG	AUSÊNCIA	0,00	7,2	0,00	0	0,00	21,9	0	0	0,00
	PRESENÇA	26.717,71		100,00	100	720,00		100	100	2190,00
SIN	AUSÊNCIA	0,00	2,8	0,00	0	0,00	2,2	0	0	0,00
	PRESENÇA	-6.876,00		100,00	100	280,00		100	100	220,00
UC	AUSÊNCIA	0,00	12,1	0,00	0	0,00	2,5	0	0	0,00
	PRESENÇA	28.141,55		100,00	100	1.210,00		100	100	250,00
APP	AUSÊNCIA	0,00	4,4	0,00	0	0,00	11,3	0	0	0,00
	APP COM FRAGMENTOS FLORESTAIS	10.254,08		80,00	100	440,00		80	100	1130,00
	APP COM VEGETAÇÃO RASTEIRA	15.381,12		20,00	25	110,00		20	25	282,50
USO	VEGETAÇÃO RASTEIRA	13.752,00	3,2	5,30	8,32	26,62	6	5,3	8,32	49,92
	FRAGMENTOS FLORESTAIS	25.256,08		25,60	40,19	128,61		63,7	100,00	600,00
	SOLO EXPOSTO	3.252,00		5,30	8,32	26,62		5,3	8,32	49,92
	ÁREAS URBANAS	3.881.481,50		63,70	100,00	320,00		25,9	40,19	241,14
ESTR	ESTRUTURA PADRÃO	281.415,50	4	100	100	400,00	-	-	-	

¹ Peso da classe em escala de 0-100. Procedimento importante, pois o número de classes é variável para os critérios, isso evita que os pesos finais sejam subestimados para critérios com grande número de classes.

²Para classe hidrografia com largura menor que 500 metros foi atribuído mesmo valor da classe de largura 500-600 metros. Isso porque não há diferenciação estrutural para travessia de rios com estas larguras, pois o valor de vão médio é 500m, mas esta classe não poderia receber valor nulo, o que geraria um caminho preferencial para o algoritmo, já que esta feição geográfica não possui valor de custo para nenhum dos outros critérios.

2.3 Aplicação do algoritmo de roteamento

Para cada uma das superfícies de rugosidade (Monetária, AHP Econômico, AHP Risco), são geradas uma superfície de rugosidade acumulada e uma superfície de direções preferenciais. A partir desses arquivos, é então feito o roteamento, para cada uma das superfícies de rugosidade (Figura 2).

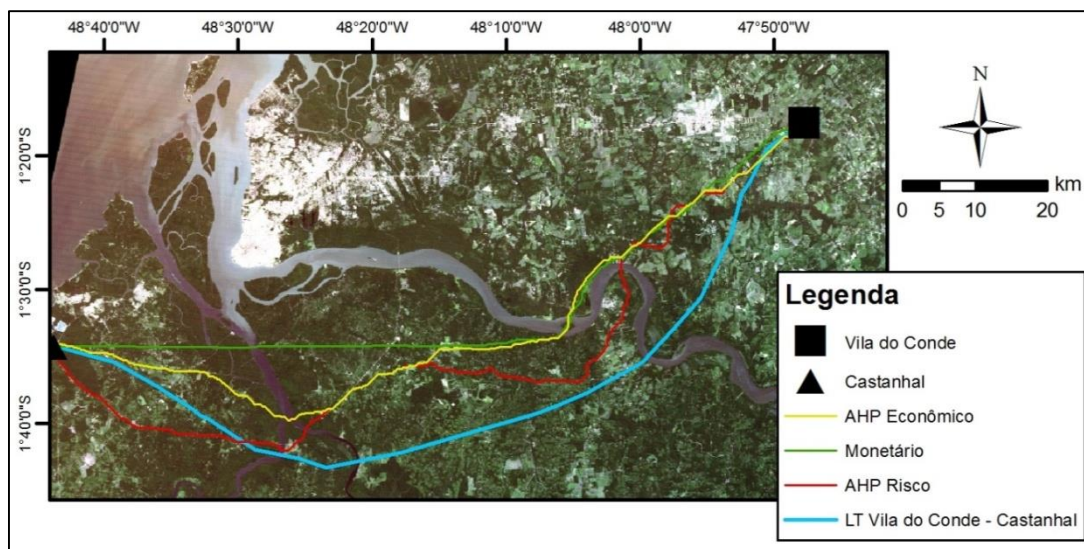


Figura 2: Representação espacial das rotas geradas a partir das superfícies de custo monetário, AHP econômico e AHP Risco.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As rotas geradas a partir das diferentes metodologias para confecção de superfície de custo foram comparadas em relação ao custo total (pela sobreposição a superfície de custo monetário) e ao comprimento total (Figura 3).

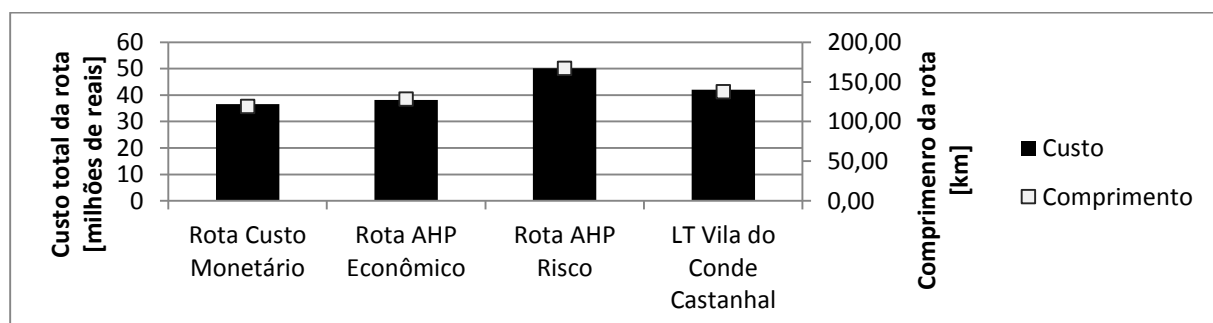


Figura 3: Representação gráfica dos custos (extraído pela sobreposição a superfície de custo monetário) e comprimentos das rotas geradas e da L.T. Vila do Conde Castanhal.

A rota AHP risco apresentou o maior valor de custo e comprimento (Figura 3), algo já esperado para esta rota já que em função dos pesos dados aos critérios, principalmente o peso elevado da hidrografia por classes de largura, apresentar-se-ia mais longa por buscar pontos de travessia mais estreitos da hidrografia. Mas apesar do custo elevado deve-se levar em conta a possibilidade de redução de custos ao longo

da vida operativa da linha, e além disso, as rotas com foco econômico e de risco podem ser avaliadas de forma combinada no planejamento, buscando-se evitar os pontos críticos com alto valor de risco, como travessia de rios com largura significativa, priorizando os demais trechos do traçado da rota com foco econômico.

As rotas AHP econômico e Custo Monetário apresentaram traçado semelhante ao longo de quase toda a rota, com exceção do trecho inicial onde a rota AHP econômico buscou um caminho mais longo para travessia da hidrografia em um ponto mais estreito, enquanto a rota de Custo Monetário priorizou o caminho mais curto (Figura 4). Isso pode ser explicado pela importância do critério ESTR, que para a superfície de custo monetário apresenta valor mais significativo (Tabela 2), fazendo com que o algoritmo priorize rotas mais curtas. A influência da superfície de custo estrutural no comportamento é um aspecto importante da metodologia de avaliação multicriterial, conhecimento útil no momento de aplicação do AHP para determinação dos pesos de cada critério, pois, quando objetivar-se rotas mais curtas em função de particularidades locais, ou quando o custo estrutural for significativo em relação aos custos incrementais, o critério estrutural da LT poderá ser priorizado.

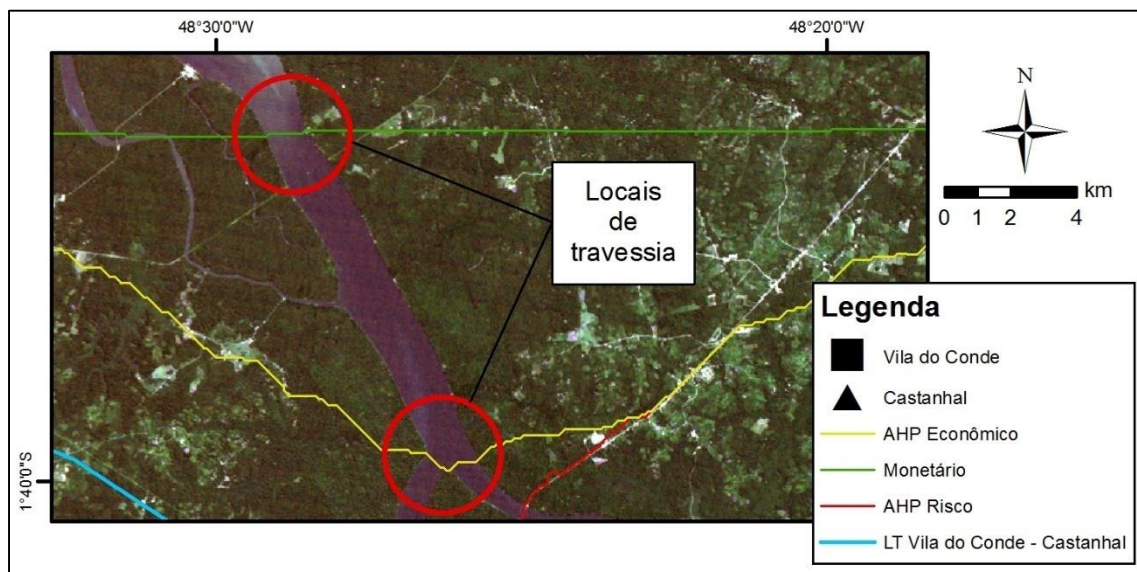


Figura 4: Comparação de pontos de travessia da hidrografia pelas rotas Custo monetário e AHP econômico.

Além disso, a pequena diferença entre os resultados de custo total das rotas AHP econômico e custo monetário (Figura 3) mostraram que a metodologia AHP é bastante coerente na ponderação dos critérios no planejamento de uma LT pela metodologia descrita, levando em conta que o levantamento de custos e organização dos dados muitas vezes pode ser oneroso, e em casos de estudos prévio para leilões o tempo pode ser um fator limitante na fase de planejamento.

Destaca-se ainda o custo mais baixo das rotas de Custo Monetário e AHP econômico em relação a LT. instalada, indicando potencialidade de aplicação da metodologia e relação ao método tradicional de definição de traçado aplicado para esta linha, realizada pela avaliação manual das feições geográficas significantes, sem a utilização de técnicas de avaliação multicriterial para roteamento.

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicaram a potencialidade de aplicação do AHP para ponderação das variáveis, em uma avaliação multicritério com vistas ao planejamento de uma linha de transmissão, que, em comparação com uma avaliação com custos monetários, proporciona a obtenção dos pesos de forma não onerosa. Mas, em contrapartida, uma superfície de custos monetário pode ser de extrema importância na comparação de diferentes rotas, com destaque para planejamento em fase de leilões de transmissão, por exemplo, onde a determinação de um custo total de implantação é de suma importância.

Além disto, o roteamento com vistas a um traçado de baixo risco pode ser importante na redução de custos durante a vida operativa da linha, e uma solução mais adequada, ponderando-se risco e fatores econômicos podendo ser feita por meio da avaliação integrada de roteamentos com foco em redução de risco e foco econômico.

Destaca-se também o menor custo das rotas AHP econômico e Custo Monetário em relação LT instalada, o que indica grande potencial de aplicabilidade da metodologia proposta, em relação a metodologias tradicionais de definição de traçado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica). Base de Preços de Referência 06/2013 – Orçamento de Linha de Transmissão, 2013.

ATKINSON, D. M.; DEAFMAN, P.; DUDYCHA, D.; TRAYNOR, S. Multi-criteria evaluation and least cost path analysis for an arctic all-weather road. *Applied Geography*. 25, p. 287-307, 2005.

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

BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente. Unidades de Conservação do Brasil. Arquivos vetoriais no formato shapefile. 2014. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: janeiro de 2014.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: janeiro de 2014.

COLLISCHONN, W. e PILAR, J. V. A direction dependent least-cost-path algorithm for roads and canals. *International Journal of Geographical Information Science*. vol. 14. Nº 4, p. 397-406. 2000.

ERTE – Empresa Regional de Transmissão de Energia S.A. Relatório Ambiental Simplificado – RAS. Implantação de Linha de Transmissão Vila do Conde – Castanhal -Santa Maria – 230 kV, 2003.

FRONTIN, S. O. Estudos e Projetos para Implantação de Linhas de Transmissão. In: *Prospecção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas Aplicadas a Linhas de Transmissão*. Cap. 5. Brasília, 2010.

HAILONG LI *et al.* Application of least-cost path model to identify a giant panda dispersal corridor network after the Wenchuan earthquake-Case study of Wolong Nature Reserve in China. *Ecological Modelling*, 221, p. 944-952, 2010.

LA RUE, M. A.; NIELSEN, C. K. Modelling potential dispersal corridors for cougars in Midwestern North America using least-cost path methods. *Ecological Modelling*. 212, p. 372-381. 2008.

LANDSAT 5 TM: Imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catálogo de Imagens. Cena223-61 de 13/07/2008.

LEE, J. e STUCKY, D. On applying viewshed analysis for determining least-cost path on digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 12, nº 8, p. 891-905. 1998.

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process – What is and How it is Used. *Mathc Modelling*, vol. 9., nº 3-5, pp. 161-176, 1987.

SOARES, T. P. *et al.* Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Energia Elétrica, Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico, Março de 2014.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). *Brasil em Relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 06 janeiro 2014.

MONTEIRO, C.; RAMÍREZ-ROSADO, I.; MIRANDA, V.; ZORZANO-SANTAMARÍA, P. J.; GARCÍA-GARRIDO, E.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, L. A. GIS Spatial Analysis Applied to Electric Line Routing Optimization. *IEEE Transactions on Power Delivery*. Vol. 20, nº 2, 2005.

PNLT - Plano Nacional de logística e Transportes. Base de Dados Georreferenciada, 2010.

SHMIDT, A. J. Implementing a GIS Methodology for Siting High Voltage Electric Transmission Lines. *Papers in Resource Analysis*. Volume 11, 17pp. Saint Mary's University of Minnesota University Central Services Press. Winona, MN. 2009.