

CAMINHOS DE MÍNIMO CUSTO E MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS PARA ELETRIFICAÇÃO RURAL

Fausto Alfredo Canales¹ & Carlos André Bulhões Mendes²

Resumo – Em países em desenvolvimento, como a Nicarágua, o processo de eletrificação rural avança lentamente. No caso de disponibilizar de recursos parciais para melhorar esta situação, é preciso hierarquizar as prioridades de construção de diferentes opções de centrais geradoras, sendo o comprimento das linhas de transmissão e as características dos centros de demanda, critérios importantes de decisão. Neste artigo se utiliza uma metodologia baseada em princípios de programação dinâmica que permite avaliar diferentes critérios para definir o conjunto de comunidades que podem ser fornecidas com energia elétrica, e estimar o comprimento das linhas de transmissão, utilizando para isso, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a ferramenta de caminhos de mínimo custo, que é parte fundamental deste tipo de programas. No estudo de caso apresentado, deve-se selecionar um de dois locais com potencial para a construção de uma minicentral hidrelétrica (MCH). Avaliaram-se três critérios distintos para validar o procedimento utilizado: facilidade de acesso até a comunidade, prioridade para centros de maior demanda e pontos de benefício associados ao valor social. Como resultado do procedimento e critérios utilizados, diferentes conjuntos de comunidades e percursos de linhas de transmissão foram identificados para cada caso.

Abstract – In developing countries, like Nicaragua, the rural electrification process advances slowly. If partial monetary resources become available to improve this situation, it is necessary to rank the construction priorities for various options of generating stations, and the length of transmission lines and features of demand centers are important decision criteria. In this paper is used a methodology based on principles of dynamic programming that allows to evaluate different criteria to define the set of communities which can be supplied with electricity, and to estimate the length of transmission lines, using for this purposes, Geographic Information Systems (GIS) and the least cost pathway tool, which is a fundamental feature of such programs. In the case study shown, it must be selected one of two potential sites for the construction of a mini hydropower plant. It was evaluated three different criteria to validate the procedure used: ease of access to the community, priority to centers with higher power demand and benefit points associated with social value. As result of the procedure and criteria used, different sets of communities and routes of transmission lines were identified for each case.

Palavras-Chave – Caminhos de mínimo custo, eletrificação rural.

¹ Eng. Civil, M.Sc., Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) / Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP 91501-970. Caixa Postal 15029 - Porto Alegre - RS. E-mail: alcaveman@gmail.com

² Eng. Civil, M.Sc., Ph.D. Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) / Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP 91501-970 Caixa Postal 15029 - Porto Alegre - RS - Brasil - Tel: + 55 51 3308-6670. E-mail: mendes@iph.ufrgs.br

1 INTRODUÇÃO

O acesso da maior parte possível da população à energia elétrica é um fator importante para o crescimento econômico de um país. A eletrificação rural em países em desenvolvimento é um processo que avança de forma muito lenta, o qual tem como razões principais o fato que as comunidades rurais têm uma densidade populacional baixa, e são, geralmente, as mais pobres em termos econômicos, fazendo que os investimentos privados tenham pouco interesse neste tipo de mercados.

Nicarágua é um país que está inserido dentro dessa realidade, com um índice de eletrificação que em 2005, quando foi promulgado o Decreto 61/2005 “Política de Eletrificação Rural da Nicarágua”, era inferior a 50% a nível nacional, e 30% aproximadamente no setor rural. Aproveitando o grande potencial hidrelétrico deste país da América Central, e com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), em 2002, foram identificados e realizados estudos de pré-viabilidade de 30 sítios com potencial hidrelétrico em pequena escala.

Devido à dificuldade de conseguir o financiamento, ou motivar o investimento privado para a construção de todos estes aproveitamentos, é preciso hierarquizar a prioridade de construção de cada um deles. No decreto presidencial 61/2005, define-se prioridade para zonas com maior potencial produtivo, que colaborem com o desenvolvimento do país.

O comprimento das linhas de transmissão é um parâmetro importante no processo de hierarquização das diferentes opções de Centrais Geradoras de Energia Elétrica. A utilização de SIG facilita a avaliação preliminar deste comprimento, como função das características geográficas da região e os critérios e restrições utilizados para escolher o conjunto de comunidades a serem abastecidas.

No presente documento utiliza-se uma metodologia baseada em princípios de programação dinâmica, que permita avaliar diferentes critérios para determinar, mediante utilização de SIG, percursos aproximados das linhas de transmissão, e selecionar os centros de demanda a serem fornecidos com eletricidade. Para validar o método, analisa-se um estudo de caso na região central da Nicarágua, realizando uma comparação entre duas opções similares de MCH para um sistema isolado que poderia ser construído, com base nos dados contidos em dois dos estudos de pré-viabilidade mencionados anteriormente.

2 METODOLOGIA

Os SIG podem fornecer um conjunto de ferramentas muito úteis para planejamento na forma de dados georreferenciados, utilizando coordenadas de sistemas de posicionamento global (GPS).

Produzem dados que permitem ser analisados e apresentados como informação em forma tabular e espacial para assistir nas tomadas de decisões.

A metodologia apresentada neste trabalho tem como objetivo avaliar mediante o mesmo procedimento, três critérios distintos para determinar de forma preliminar, os percursos aproximados das linhas de transmissão de um sistema isolado de eletrificação rural.

Geralmente, o processo de planejamento é muito complexo e multissetorial, portanto uma abordagem simplificada deve ser feita no momento de efetuar a análise.

2.1 Critérios avaliados

No estudo de caso que se apresenta neste documento, considera-se que, por limitações econômicas, somente uma das duas centrais hidrelétricas pode ser construída e, portanto, não é possível fornecer de energia a todos os centros de demanda na área de influência da hidrelétrica a ser construída. Por esta causa, é preciso determinar quais deveriam ser as comunidades beneficiadas com energia elétrica, para o qual existem muitos diferentes critérios para hierarquizar a grau de prioridade de cada uma delas.

Neste documento quando se fala de demanda ou consumo, se está considerando o aspecto de potência. A potência a ser instalada deve ser capaz de fornecer energia durante o pico de consumo no final do horizonte de planejamento.

Os três critérios avaliados no presente estudo foram: 1) Prioridade para centros de consumo de mais fácil acesso, 2) Prioridade para centros de consumo com maior demanda, e 3) Fatores críticos de sucesso.

Critério 1 – Prioridade para centros de consumo de mais fácil acesso: Neste caso se considera que, em um princípio, todas as comunidades têm a mesma oportunidade de ser beneficiadas com serviço elétrico, e que a escolha inicial do conjunto delas que será fornecida com eletricidade está em dependência da facilidade de levar até elas as linhas de transmissão.

A seleção do conjunto está sujeita à restrição:

$$\sum_i^n Pot_i \leq PotInst \quad (1)$$

na qual Pot_i é a potência de cada centro de consumo no final do horizonte de projeto e $PotInst$ é a potência da central hidrelétrica a ser instalada.

Critério 2 – Prioridade para centros de consumo com maior demanda: Na definição do conjunto de comunidades a serem atendidas, organizam-se, inicialmente, de forma decrescente em relação à demanda máxima de potência no final do horizonte de planejamento.

A seleção dos centros de consumo do conjunto a ser fornecido com eletricidade está sujeita à restrição de potência apresentada no critério 1.

Critério 3 – Fatores Críticos de Sucesso: Kaijuka (2005) apresentou um método de atribuição de pontos de benefício para planificação de eletrificação rural em Uganda, baseado em fatores críticos de sucesso (CSF), descritos, pelo Departamento Governamental para Desenvolvimento Internacional do Reino Unido (DfID), como: “Características chaves em programas de energia renovável que precisam ser consideradas para maximizar a possibilidade de que um projeto tenha sucesso”.

A atribuição de pontos de benefício deste documento baseia-se em uma avaliação das necessidades de cada setor em termos de valor social, disposição de pagar pelo serviço de energia, consumo futuro de energia e sustentabilidade em longo prazo de um projeto. O objetivo é refletir a importância relativa da infraestrutura e outras instalações, e fazer um intento de quantificar estes benefícios sociais.

Na definição do conjunto de comunidades a serem atendidas, segue-se um processo similar aos dos critérios anteriores, somente que agora a ordem está em função dos pontos de benefício, e a seleção do conjunto estará sujeita à mesma restrição de potência.

2.2 Procedimento para determinar o percurso da linha de transmissão

Ferramentas específicas para quantificar ou administrar informações de custo geográfico-espacial foram desenvolvidas para incorporar programação dinâmica dentro do ambiente SIG.

O procedimento para achar o percurso de mínimo custo para as linhas de transmissão elétrica é similar para cada critério utilizado, utilizando o mesmo algoritmo iterativo de programação dinâmica, descrito a continuação, no qual a partir da solução ótima previamente calculada e memorizada é calculado o próximo segmento da linha de transmissão:

1. Definir os limites da área de estudo e suas características.
2. Definir o conjunto de centros de consumo, representando cada um deles como um nó dentro da área de estudo.
3. Definir a locação da central geradora, ou o ponto a partir do qual partirão as linhas de transmissão.

4. Gerar um plano de custos de passagem (*friction surface*) em função dos aspectos geográficos da região, atribuindo um valor maior a aquelas características que representem um maior obstáculo na construção das linhas de transmissão.
5. A partir do plano de custo de passagem, criar um plano de custo acumulado de passagem (*cost surface*), com custo acumulado iniciando no local da central geradora.
6. Determinar o caminho de mínimo custo (*least cost pathway*) entre a central geradora e algum ponto do conjunto de centros de consumo. Este será o percurso do primeiro segmento da linha de transmissão.
7. Se a potência demandada ao final do horizonte de projeto for inferior à potência a ser instalada, cria-se um novo plano de custo acumulado de passagem, com custos originando-se na linha de transmissão encontrada do passo anterior.
8. Determina-se o caminho de mínimo custo entre a linha de transmissão e outro ponto do conjunto de centros de consumo. A linha de transmissão estará agora formada por ambos os segmentos encontrados.
9. Repete-se o processo a partir do passo 7, continuando até que não possa ser satisfeita a restrição de potência.

A diferença no procedimento entre os três critérios, está em que para o critério 1, todos os centros de consumo entram no análise, e com ajuda do SIG, se obtém, tanto as comunidades a serem abastecidas como o caminho de mínimo custo entre elas; enquanto que, para os critérios 2 e 3, a escolha dos centros de consumo realiza-se com anterioridade, em função da restrição de potência, e o interesse do estudo se limita a determinar o caminho de mínimo custo entre estes pontos de demanda.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Aspectos socioeconômicos e de consumo

De forma de ilustrar melhor a metodologia apresentada, o procedimento foi aplicado a uma região rural de Nicarágua, no Departamento de Matagalpa, entre os municípios de San Ramón, Matiguás e El Tuma-La Dalia (Lat. 12°51' – 13° N, Long. 85°30' – 85°45' W), cuja área é de 450 km². Nesta região foram encontrados dois sítios com características satisfatórias para a exploração hidrelétrica, mediante estudos de pré-viabilidade realizados em 2002 pela Associação de

trabalhadores de desenvolvimento rural – Benjamin Linder. Os nomes dados a estas possíveis centrais hidrelétricas são: “El Diamante” e “La Verbena”.

Nestes estudos de pré-viabilidade foram identificados e caracterizados quatro centros de demanda de importância: El Diamante e La Perla, La Escocia e Buena Vista, Valle Buena Vista, e El Jícaro. Com objetivo de poder realizar comparações entre os três critérios a serem avaliados, e com base no mapa da área e as características socioeconômicas da região, foram incluídas também no estudo as comunidades de: El Bálsamo e El Carmen, Santa Fé e San José, e Los Ángeles. Todas estas comunidades estão fora da área de concessão de União Fenosa, a empresa privada de fornecimento de energia elétrica, pelo qual os habitantes desta zona utilizam atualmente painéis fotovoltaicos e plantas geradoras de diesel para resolver suas necessidades de consumo de eletricidade; e servem-se de lenha, velas e gás para iluminação. Nas tabelas 1 e 2 se apresentam, respectivamente, as coordenadas das comunidades e locais das MCHs do estudo de caso e os principais parâmetros utilizados neste estudo para quantificar o consumo esperado de eletricidade.

Tabela 1 – Coordenadas das comunidades e locais das MCHs do estudo de caso.

Id	Nome	Longitude	Latitude
1	El diamante - La Perla	85,6301°W	12,9501°N
2	La Escocia - Buena Vista	85,6605°W	12,9162°N
3	Valle Buena Vista	85,6701°W	12,9000°N
4	El Jícaro	85,6701°W	12,8801°N
5	El Bálsamo - El Carmen	85,5900°W	12,9551°N
6	Santa Fé - San José	85,6000°W	12,9299°N
7	Los Ángeles	85,6100°W	12,9801°N
MCHs			
1	La Verbena	85,6483°W	12,9478°N
2	El Diamante	85,6244°W	12,9128°N

Tabela 2 – Parâmetros socioeconômicos e de consumo do estudo de caso.

Fator	Valor	Unidade
Habitantes por vivenda ¹	5	hab/viv
Consumo médio ²	300	kwh/hab/ano
Demanda pico domiciliar ³	0,3	kw/vivenda
Horizonte de planejamento ³	20	Anos
Taxa crescimento pop. ^{1,3}	3%	
Porcentagem do Serviço ³	90%	

¹ Censo de População e Vivenda, INEC 2005.

² Plano de ação para o setor elétrico, CNE 2003.

³ Estudos de Pré-viabilidade “El Diamante” e “La Verbena, 2002.

O consumo estimado por agroindústria para as quatro comunidades identificadas nos estudos de pré-viabilidade, foi de 720,39 MWh/ano, o qual, para efeito de simplificar o análise do presente documento, foi distribuído de forma proporcional entre estas quatro. Utilizando o fator de proporção

encontrado entre consumo médio domiciliar e agroindustrial se atribuíram consumos agroindustriais para as outras três comunidades deste estudo de caso. Para determinar as potências máximas agroindustriais, utilizou-se um fator de carga de 0,61. O fator de carga pode-se definir como:

$$\text{Fator de Carga} = \text{Demanda média/demanda máxima} \quad (2)$$

Nas tabelas 3 e 4 se apresentam, respectivamente, os consumos presentes estimados a partir dos parâmetros mencionados anteriormente na tabela 2, e os valores futuros esperados para as sete comunidades do presente estudo de caso.

Duas suposições próprias do presente estudo são:

- 1) ambas as opções de centrais hidrelétricas têm um preço de construção igual, mas somente tem-se financiamento para construir uma delas, e,
- 2) ambas podem fornecer uma potência de 300kw com vazões com 95% de tempo de permanência.

Por tanto, não é possível fornecer de energia elétrica a todas as comunidades do estudo, e a decisão de qual das duas centrais deveria ser construída para o horizonte de projeto em análise está determinado pela melhor configuração das linhas de transmissão e o conjunto de comunidades interligadas por estas, definidos em dependência do critério de hierarquização utilizado.

Tabela 3 – Consumos presentes estimados.

Id	Vivendas	Potência Máxima Domiciliar (kw)	Potência Máxima Agroindustrial (kw)	Potência Total (kw)
1	70	18,9	27,9	46,8
2	58	15,7	23,3	39,0
3	150	40,5	59,8	100,3
4	60	16,2	23,9	40,1
5	54	14,6	21,3	35,9
6	40	10,8	15,9	26,7
7	22	5,9	8,7	14,6

Tabela 4 – Consumos futuros esperados.

Id	Vivendas	Potência Máxima Domiciliar (kw)	Potência Máxima Agroindustrial (kw)	Potência Total (kw)
1	126	34,1	27,9	62,0
2	105	28,4	23,3	51,7
3	271	73,1	59,8	132,9
4	108	29,3	23,9	53,2
5	98	26,4	21,3	47,7
6	72	19,5	15,9	35,4
7	40	10,7	8,7	19,4

3.2 Plano de Custos de Passagem

Para poder utilizar a ferramenta de SIG para determinar caminhos de mínimo custo, é preciso primeiro fornecer ao programa de SIG de um critério para determinar os custos de passagem, e de uma superfície de custos de passagem em função das características geográficas da região de análise.

Utiliza-se o nome de custos de passagem porque se considera que o deslocamento espacial representa um custo, seja desde o ponto de vista monetário, de tempo ou esforço, assim que cada célula terá um valor em dependência da característica que ela represente. Quando os custos de deslocamento a partir de um ou mais pontos são avaliados para uma região inteira, o resultado chama-se geralmente de superfície de custo. Nesta superfície, os custos de passagem vão-se acumulando a partir do ponto inicial, tendo, portanto, custos acumulados menores próximo deste ponto, e maiores nas locações mais afastadas do mesmo.

A partir de imagens do satélite LandSat obtidas do site da *Earth Science Data Interface* (ESDI, 2008), e o mapa da região escala 1:50000 elaborado pelo INETER (Instituto Nicaraguense de Estudos Territoriais), foram identificados seis categorias principais de uso de solo: 1) Mata densa, 2) Mata leve, 3) Solo Exposto, 4) Agricultura, 5) Rios e 6) Caminhos e estradas.

No presente estudo de caso, para determinar os caminhos de mínimo custo atribuiu-se maior valor a aquelas células que representassem um maior obstáculo em termos geográficos para deslocamento, com objetivo de diminuir a probabilidade de ter que passar através delas. Similarmente, um valor menor foi atribuído a células que favoreçam a construção das linhas de transmissão. Por exemplo, é desejável que as linhas elétricas sejam paralelas às estradas e caminhos. Na tabela 5 se apresentam os custos relativos assumidos utilizados para construir as linhas de transmissão através de cada uma das categorias de uso de solo identificadas na região de análise.

Tabela 5 – Custos relativos de passagem utilizados.

Categoria de Uso de Solo	Custo Relativo	Descrição
Mata densa	100	Alta dificuldade, maior impacto ambiental.
Mata leve	20	Média dificuldade, impacto ambiental moderado.
Solo Exposto	1	Pouca dificuldade, pouco impacto ambiental.
Agricultura	1	Pouca dificuldade, pouco impacto ambiental.
Rios	100	Grande dificuldade, maior impacto ambiental.
Caminhos, estradas	1	Custo Base.

3.3 Pontos de Benefício

Baseado no método proposto para Uganda por Kaijuka (2005), e, por ser Nicarágua também um país em vias de desenvolvimento, adaptou-se uma tabela de atribuição de pontos de benefício para o presente trabalho, a qual é apresentada na tabela 6.

Utilizando a vivenda rural como unidade de referência, todas as demais instituições são atribuídas com pontos de benefício, assim, sua prioridade de eletrificação é comparada em relação a esta unidade de referência. Um maior valor de pontos significa uma prioridade superior. A somatória total dos pontos de benefício é atribuída ao respectivo centro de demanda (comunidade) ao qual pertencem as instituições, permitindo desta forma hierarquizar prioridades de eletrificação em função do impacto social envolvido.

Para fins ilustrativos assumiu-se, de forma arbitrária, uma distribuição de instituições como se apresenta na tabela 7. Mostra-se também nessa mesma tabela, a somatória total de pontos de benefício para cada comunidade.

Tabela 6 – Tabela de Atribuição de Pontos de Benefício.

Setor	Categoria	PB atribuídos
Vivenda	Casa	1
Saúde	Clínica Popular	10
	Centro de Saúde	30
	Hospital Pequeno	70
Educação	Primária	8
	Secundária / Técnico	12
	Universidade	20
	Outro	8
Governo	Sede Departamental	20
	Sede Municipal	10
	Sede Comunal	5

Tabela 7 – Distribuição de Instituições e Pontos de Benefício para cada comunidade de análise.

Id	Vivendas	Educação	Saúde	Hospitais	Governo	Pontos de Benefício
1	70	2	1	0	0	120
2	58	1	0	0	0	66
3	150	2	1	1	2	260
4	60	1	0	0	1	73
5	54	2	1	0	0	104
6	40	1	0	0	0	48
7	22	1	0	1	1	105

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A continuação se apresentam os resultados obtidos mediante a avaliação de cada um dos critérios de análise do presente trabalho. Como software de SIG utilizou-se IDRISI versão Kilimanjaro de Clark Labs, e, como parâmetro de comparação para determinar a melhor opção entre as duas centrais hidrelétricas do estudo de caso, utilizou-se o comprimento das linhas de transmissão, obtido mediante a ferramenta PROFILE do software mencionado anteriormente.

4.1 Resultados segundo os critérios avaliados

Critério 1 – Prioridade para centros de consumo de mais fácil acesso: Utilizando este critério, e sob a restrição de potência ao final do horizonte de planejamento, obtém-se um conjunto diferente de comunidades a serem abastecidas para cada uma das possíveis centrais hidrelétricas. O percurso preliminar das linhas de transmissão, assim como uma tabela de resumo indicando as comunidades que podem ser abastecidas e o comprimento das linhas para cada caso, se apresenta no mapa da figura 1.

Observa-se que, desde o ponto de vista de potência, existe uma leve vantagem para a construção da MCH El Diamante; mas o comprimento das linhas de transmissão para a MCH La Verbena é aproximadamente 15% menor.

A partir destes resultados, pode-se sugerir: 1) Incrementar o horizonte de planejamento, ou, 2) Adicionar outra comunidade ao conjunto inicial, mas diminuindo o horizonte de planejamento. Ambas as opções devem ser cuidadosamente avaliadas, analisando os benefícios econômicos assim como riscos e planos de expansão futuros.

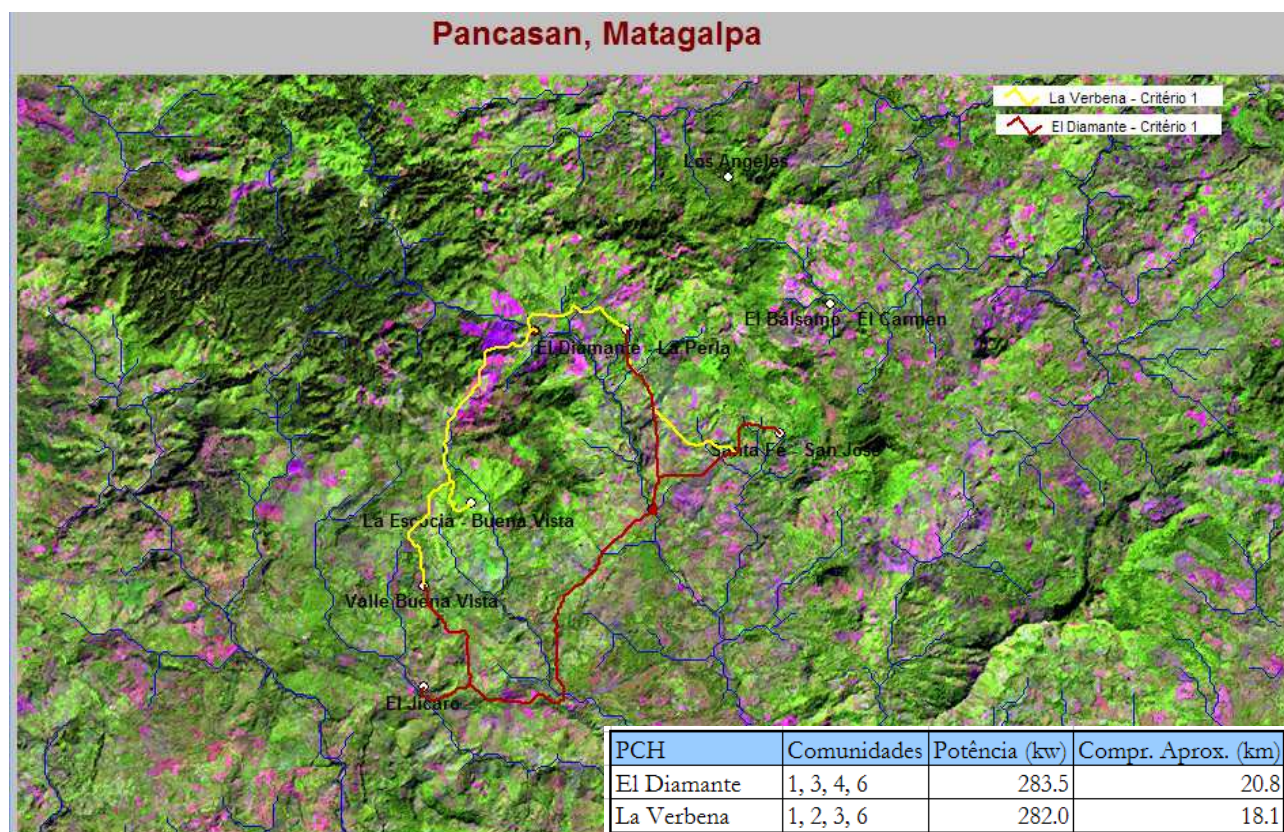


Figura 1 – Percurso das linhas de transmissão para cada MCH utilizando o critério de facilidade de acesso.

Critério 2 – Prioridade para centros de consumo com maior demanda: Sob a restrição de potência, e utilizando este critério, podem-se abastecer com energia elétrica quatro comunidades, com um consumo de energia esperado quase igual à capacidade estimada da MCH que pode ser construída.

No mapa da figura 2, observa-se que existe uma clara vantagem para escolher construir a MCH La Verbena antes que a MCH El Diamante, devido ao comprimento muito maior das linhas de transmissão a partir desta última.

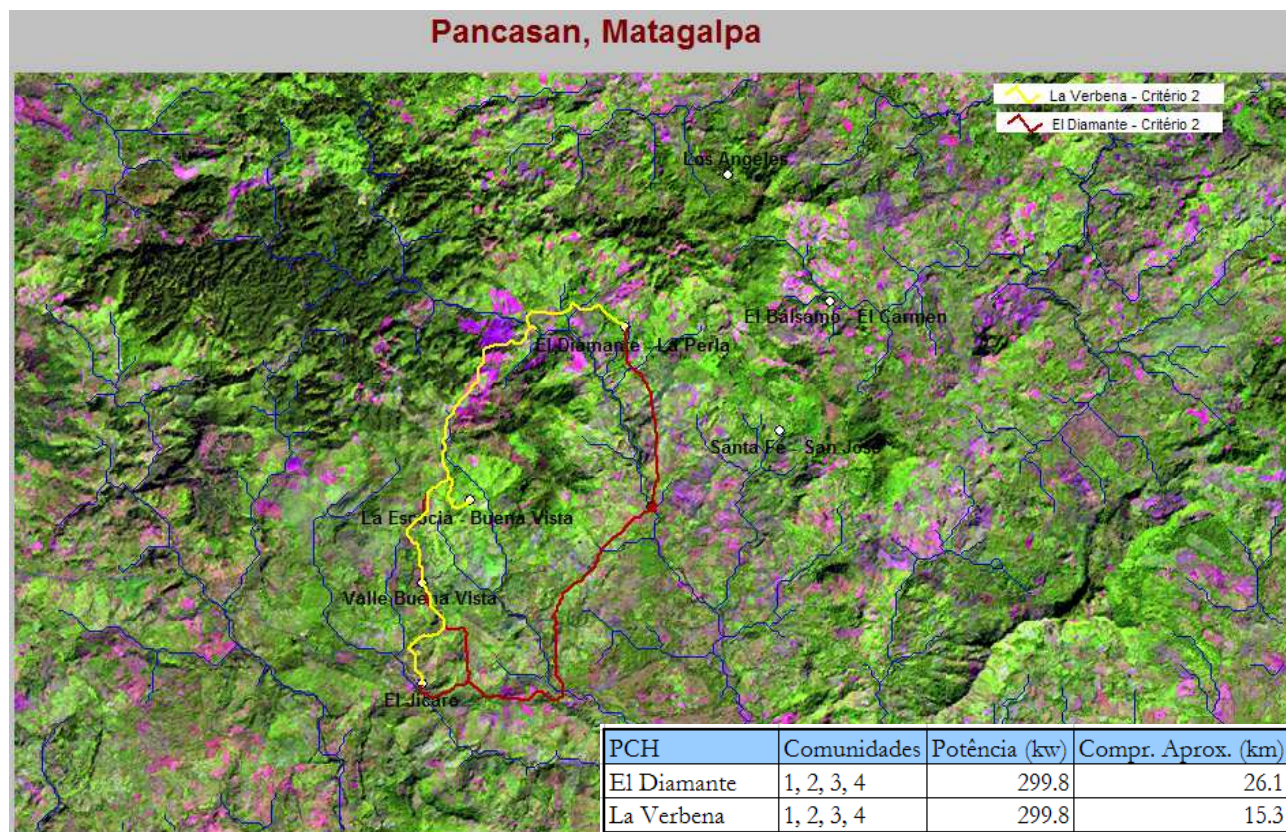


Figura 2 – Percurso das linhas de transmissão para cada MCH utilizando o critério de maior potência demandada.

Critério 3 – Fatores Críticos de Sucesso: Utilizando o critério de fatores críticos de sucesso e pontos de benefício, para atribuir um valor social à demanda de energia elétrica, sempre restritos à condição de potência disponível no final do horizonte de planejamento, selecionaram-se quatro comunidades que podem ser fornecidas com energia elétrica. Na figura 3 apresenta-se o conjunto destas comunidades e o comprimento das linhas de transmissão a partir de cada uma delas.

Observa-se que sob este critério a MCH La Verbena oferece um comprimento de linhas de transmissão menor. Podem ser formuladas as mesmas sugestões feitas para o critério 1.

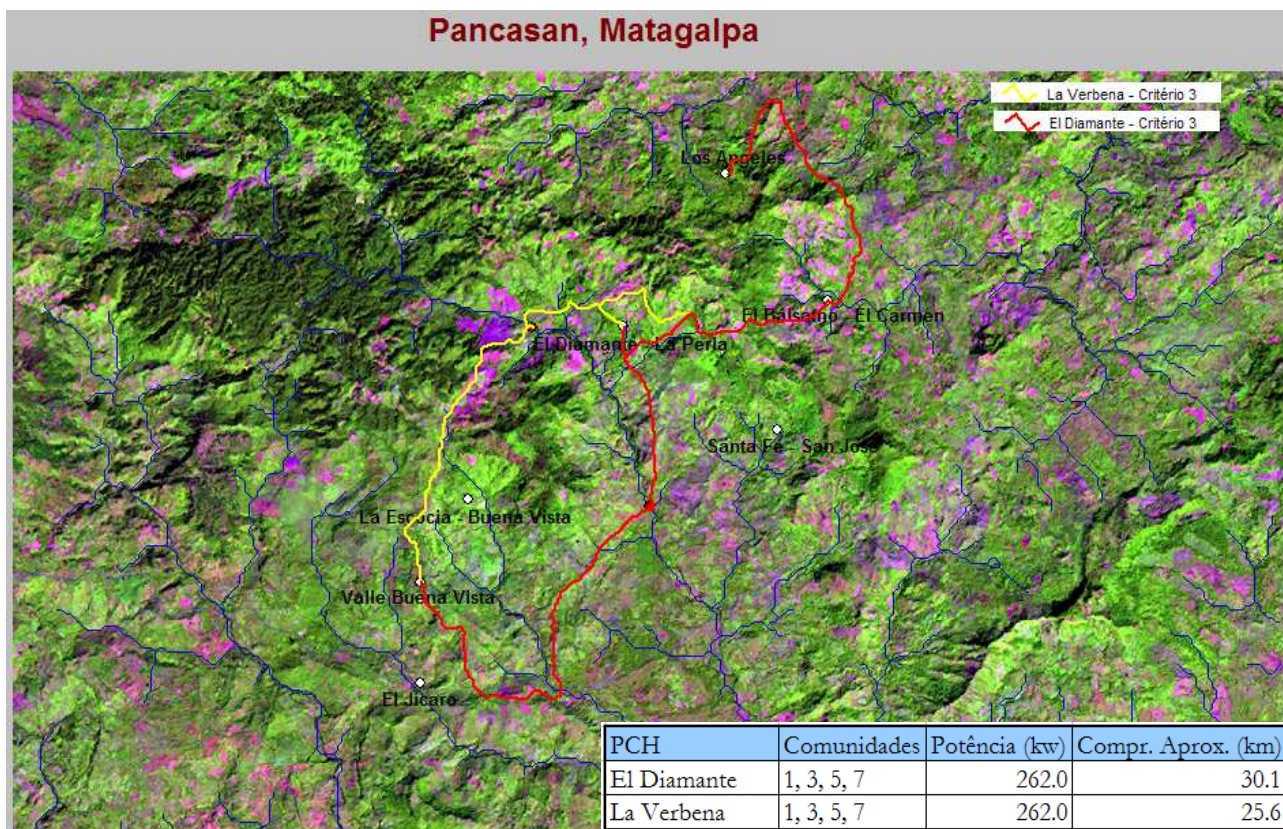


Figura 3 – Percurso das linhas de transmissão para cada MCH utilizando o critério de fatores críticos de sucesso.

4.2 Cuidados e limitações

A metodologia utilizada no presente artigo fornece uma ideia de como determinar de forma preliminar os percursos que podem seguir as linhas de transmissão de um sistema de eletrificação rural, portanto, sempre é preciso verificar na realidade a viabilidade de tais empreendimentos.

As distâncias calculadas utilizando o IDRISI podem estar sendo superestimadas, devido a um fenômeno chamado de “problema das oito direções”. De Smith (2004), apresentou uma comparação entre diversas métricas locais, e as diferentes percentagens de erro para cada uma delas.

Os dados utilizados para quantificar os pontos de benefício do presente trabalho foram selecionados para ilustrar o método apresentado. O valor atribuído a cada instituição ou instalação do centro de demanda, deve estar em concordância com os objetivos do estudo. Neste documento, o valor social que favorece o desenvolvimento da comunidade foi o parâmetro escolhido para a análise.

5 CONCLUSÕES

A utilização de software de SIG permite determinar de forma preliminar, o percurso aproximado das linhas de transmissão em função das características geográficas da região de

análise. Devido a sua natureza gráfica, os SIG são particularmente úteis na etapa inicial de tomada de decisões deste tipo de projetos, porque favorecem a interpretação visual dos resultados.

O procedimento com princípios de programação dinâmica utilizado no presente artigo permite avaliar grande diversidade de critérios de decisão, aos quais poderia ser adicionada uma restrição de comprimento máximo das linhas de transmissão, devido a limitações técnicas e/ou econômicas. Um enfoque interessante com relação a esta possível restrição é apresentado por Monteiro *et al.* (2005).

A análise baseado em fatores críticos de sucesso e pontos de benefício pode ser utilizado em qualquer região e para diferentes disciplinas, sempre em dependência do objetivo do estudo a ser realizado.

Segundo o critério definido na Política de Eletrificação Rural de Nicarágua, de priorizar as zonas com maior potencial produtivo, a escolha seria a construção da MCH La Verbena, e, o conjunto de comunidades a ser abastecido seria aquele do critério 2, no qual, segundo dados dos estudos de pré-viabilidade poderiam ser instaladas cooperativas de leite e café.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao senhor Elmer Bervis do MEM Nicarágua, por ter fornecido amavelmente os estudos de pré-viabilidade utilizados no presente artigo, e ao CNPq pelo financiamento dos estudos de mestrado mediante o convênio PEC-PG.

BIBLIOGRAFIA

ASOCIACIÓN DE TRABAJADORES DE DESARROLLO RURAL – BENJAMÍN LINDER. (2002). *“Estudio de potencial de generación hidroeléctrica a pequeña escala y pre-factibilidad técnico-financiera de 30 sitios con potencial hidroeléctrico”*. Nicaragua.

CONSEJO NACIONAL DE ENERGIA NICARAGUA (CNE) (2003). *“Desarrollo de una Estrategia y Plan de Acción para el Sector Eléctrico”*. Nicaragua.

De SMITH, M.J. (2004). *“Distance transforms as a new tool in spatial analysis, urban planning and GIS”*. Environment & Planning B, V. 31, N. 1, pp. 85-104.

EARTH SCIENCE DATA INTERFACE (ESDI) AT THE GLOBAL LAND COVER FACILITY (GLCF). Disponível em: < <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp> >. Acesso em: 30 jun. 2008.

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTADISTICAS Y CENSOS (INEC) (2006). *“VIII Censo de Población y IV de Vivienda”*. Nicaragua

KAIJUKA, E. (2005). *“GIS and Rural Electricity Planning in Uganda”*. Journal of Cleaner Production, V. 15, N. 2, pp. 203-217.

MONTEIRO, C.; RAMIREZ-ROSADO, I.J.; MIRANDA, V.; ZORZANO-SANTAMARIA, P.J.; GARCIA-GARRIDO, E.; FERNANDEZ-JIMENEZ, L.A. (2005). “*GIS Spatial Analysis Applied to Electric Line Routing Optimization*”. IEEE Transactions on power delivery, V. 20, N. 2, pp. 934-942.