



AVALIAÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA SUSTENTÁVEL PARA O ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL: UMA ANALISE MULTICRITERIO COM MÉTODO AHP

Camila de Araujo Guenka

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Av. Costa e Silva, s/n - Cidade Universitária, Campo Grande - MS, 79070-900
Camila.aguenka@gmail.com

Carolina Lino Martins

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Av. Costa e Silva, s/n - Cidade Universitária, Campo Grande - MS, 79070-900
Carol_tcch@hotmail.com

RESUMO

Este estudo tem como objetivo encontrar uma fonte alternativa de energia sustentável mais adequada para o estado de Mato Grosso do Sul que contemple a lógica ambiental, social e econômica. O modelo aplicado para auxiliar na tomada de decisão foi o AHP (*Analytic Hierarchy Process*). A identificação dos critérios foi feita através de estudo bibliográfico e verificou-se que existem diversos critérios para analisar uma fonte alternativa de energia sustentável em uma região específica. Os seguintes critérios foram utilizados nesta pesquisa: Eficiência energética, maturidade tecnológica, utilização de terra, compatibilidade com políticas e legislação do estado, know-how, geração de emprego, investimento e emissão de CO₂. Dentre as alternativas analisadas segundo os critérios adotados, a fonte de energia sustentável com melhor colocação foi a de pequenas centrais hidrelétricas.

PALAVRAS CHAVE. Fonte Alternativa de Energia, AHP, Multicritério.

Tópico (ADM- Apoio à Decisão Multicritério)

ABSTRACT

This study seeks to find the most appropriate source of sustainable energy for the state of Mato Grosso do Sul that contemplates the environmental, social and economic logic. The AHP (*Analytic Hierarchy Process*) was the model applied to support decision-making process. The criteria were identified based on a bibliographic study and it was verified that there are several criteria that influences the decision process of choosing an alternative source of sustainable energy for a specific region. The following criteria were analyzed by this research: Energy efficiency, technology maturity, land use, compatibility with state policies and legislation, know-how, employment generation, investment and CO₂ emissions. Among the alternatives analyzed according to the adopted criteria, the best-placed sustainable energy source was the small hydroelectric power plants.

KEYWORDS. Alternative Energy Source. AHP. Multicriteria.

Paper topics (MCDA - Multicriteria Decision Aid)



1. Introdução

Um dos maiores desafios enfrentados atualmente é contemplar a crescente demanda por bens de capital e de consumo, garantindo simultaneamente a sustentabilidade da evolução humana em suas dimensões sociais, ambientais e econômicas [Klain e Whalley 2015]. Segundo [Garni et al. 2016] o setor de energia é essencial para a prosperidade e o desenvolvimento social, tornando importante a diversificação das fontes de energia de países em desenvolvimento, com o objetivo de alcançar uma margem maior de segurança no sistema de suprimento e distribuição, incentivar a criação de novos empregos e principalmente contribuir para o desenvolvimento de um sistema sustentável de energia.

No cenário brasileiro, segundo dados do balanço energético nacional [BEN, 2016] mostram que em 2015 a matriz de energia elétrica brasileira era composta por 75,5 % de fonte limpa com predominância de 64% das hidrelétricas, que apesar de serem consideradas como uma fonte renovável com pouco nível de emissão de gases poluentes, apresentam grandes impactos ambientais e sociais. [Ortiz 2002] comenta que grandes usinas hidrelétricas destroem florestas, ecossistemas inteiros, provocam inundações catastróficas prejudicando tanto a fauna quanto a população, que perdem suas terras de origem.

Devido aos diversos impactos negativos das grandes hidrelétricas, investir e incorporar na matriz energética outras fontes renováveis de menor impacto ambiental se tornou importante para o Brasil, tanto para suprir problemas enfrentados na oferta e demanda das hidrelétricas dando equilíbrio ao sistema de energia, quanto para melhorar o acesso de comunidades remotas [Frigo 2013]. Segundo [Oliveira 2002] as zonas rurais são as mais defasadas em questão de acesso, onde aproximadamente 25% da população não tem acesso à energia elétrica, gerando grandes investimentos para as concessionárias disponibilizar serviços para essas regiões.

Sendo assim, com o objetivo de se tornar mais sustentável e mais eficiente no quesito de energia, o Brasil tem a meta de atingir entre 28% a 32% até 2035 outras fontes renováveis na matriz energética excluindo-se as de fonte de grandes hidrelétricas [MME 2015]. Segundo o [Instituto Acende Brasil 2016] esse índice já atingiu a marca dos 27,9% em 2015, mas o grande desafio fica em executar um bom planejamento para que essas energias não sofram vulnerabilidade e consigam ter um adicional de 20% na geração de energia elétrica do país.

No cenário sul mato-grossense, o Balanço de energia de Mato Grosso do Sul [BEMS 2015], conclui que o estado necessita de investimentos na produção de combustíveis sustentáveis e no desenvolvimento de usinas termo solares e fotovoltaicas, o estudo ressalta a importância dos projetos solares para a matriz energética de Mato Grosso do Sul, que serviriam para dar equilíbrio e complementar os projetos de termoeletricas de biomassa durante a entressafra e complementar também a geração hidráulica para períodos de seca. O BEMS também conclui que a inserção das fontes alternativas de energia na matriz sul mato-grossense é importante para diminuir sua dependência externa em relação ao gás-natural, pois o estado se tornará cada vez mais importador de energia do que exportador.

Portanto, o país se encontra em necessidade de avaliar diversos critérios para identificar quais alternativas renováveis devem receber investimentos. Nesse contexto, [Loken 2007] diz que o planejamento energético pode ser auxiliado através da metodologia multicritério de análise de apoio à decisão (MCDA), por ser um assunto que envolve muitas fontes de incerteza, cenários com longo prazo e grande investimento de capital. Com o MCDA é possível ter uma avaliação integrada da sustentabilidade, sendo uma operação de avaliação e de suporte para a tomada de decisão apropriada para problemas complexos, que levam em consideração tanto os aspectos socioeconômicos e biofísicos [Wang et al. 2009]. Por essas razões, este trabalho tem o objetivo aplicar um modelo de análise multicritério para auxiliar o processo de decisão da melhor opção de fonte de energia renovável para o estado de Mato Grosso do Sul, elencando as fontes disponíveis no estado e utilizando critérios sociais, ambientais e econômicos em sua avaliação.

Por fim, a relevância do presente trabalho se justifica por contribuir com a sustentabilidade no setor de energia elétrica, com as metas estabelecidas para o país relacionadas



ao crescimento de inserção de fontes alternativas de energia e também para a área de Pesquisa e Desenvolvimento brasileira.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Fontes Alternativas de Energia

O cenário brasileiro de energia elétrica se encontra em evolução, por conta de várias mudanças legais e normativas quanto de avanço tecnológico. Com a infraestrutura elétrica atual ainda é um desafio levar energia elétrica a mais de 61 milhões de consumidores. A busca para implementar uma geração de energia elétrica para suprir os consumidores a partir de fontes renováveis é constante, tanto que no ano de 2008 realizou-se o primeiro leilão brasileiro de biomassa por queima de cana-de-açúcar, energia produzida pelas usinas localizadas no Centro-Oeste do país [ANEEL, 2008].

Em 2015, foi aprovado o Plano Decenal de expansão de energia 2024 pelo Ministério de Minas e Energia (MME). O plano Decenal busca excluir progressivamente usinas de geração de energia através de combustíveis fósseis e incentiva grandes expansões nos setores conectados à rede de energia hidroelétrica e eólica nos próximos anos.

Segundo o [MME 2015] as metas de capacidade instalada para as energias renováveis foram fixadas como segue:

- Pequenas Centrais Hidrelétricas + Biomassa+ Eólica + Solar: 21,5 GW em 2014 para 56,4 GW em 2024.

2.2 Análise de Decisão Multicritério

Problemas que apresentam múltiplos parâmetros para tomada de decisão podem ser denominados como um problema de Decisão Multicritério, que segundo [Almeida 2013] são situações com pelo menos duas alternativas de ação para fazer uma escolha, o intuito dessa escolha é atender a múltiplos objetivos, que podem ser conflitantes entre si.

Geralmente em um problema de Decisão Multicritério não é possível encontrar uma decisão, solução ou ação que tenha um melhor desempenho ao mesmo tempo para todos os critérios. Sendo assim, a tomada de decisão pode ser entendida como o esforço em encontrar uma saída para o problema de conflitos entre critérios, os quais impedem a existência da solução ótima e leva à busca da solução de melhor compromisso [Duarte 2011].

O apoio Multicritério à decisão (AMD) ou MCDA (*Multicriteria decision Aid*), surgiu da segunda metade do século XX como um conjunto de métodos para proporcionar auxílio às pessoas e organizações na resolução de problemas de decisão considerando-se vários pontos de vista que frequentemente são conflitantes [Vincke 1992].

2.3 Método de Análise Hierárquica (AHP)

O Analytic Hierarchy Process (AHP), criado por [Saaty 1980], é um método compensatório para resolução de problemáticas de ordenação com ênfase na modelagem das preferências do decisor, ou seja, o método reflete a tomada de decisão do raciocínio humano, no qual os elementos são distribuídos em níveis hierárquicos. O objetivo da análise hierárquica consiste no desdobramento e resumo das relações entre os critérios, aproximando-se a uma melhor resposta em função da priorização de seus indicadores [Costa et al. 2016].

Segundo [Bhushan e Rai 2004] o AHP é considerado um método de fácil entendimento e implementação, sendo utilizado em diversas áreas, pois abrange casos de escolha, priorização e previsão em sua abordagem hierárquica, estabelecendo critérios para identificar alternativas e compará-las par a par. O julgamento comparativo par a par é realizado em cada nível hierárquico para considerar a contribuição de cada elemento do processo decisório, a comparação das



alternativas e seu julgamento são realizados em razão de preferências e a comparação entre critérios é em razão de sua importância [Vincke 1992].

Para tomar uma decisão organizada e que gere prioridades, [Saaty 1980] enumerou 4 passos para estruturação do método AHP:

1. Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento necessário;
2. Estruturar a hierarquia de decisões a partir do topo, o qual contém o objetivo da decisão. Em seguida, definir os objetivos de uma perspectiva ampla por meio dos níveis intermediários (critérios em que elementos subsequentes dependem entre si) para o nível mais baixo (normalmente um conjunto de alternativas);
3. Construir um conjunto de matrizes de comparação par a par, cada elemento em um nível superior é utilizado para comparar os elementos no nível imediatamente inferior;
4. Usar as prioridades obtidas a partir das comparações para pesar as prioridades do nível imediatamente abaixo, fazendo isso para cada elemento. Então, para cada elemento no nível abaixo adicione os valores pesados obtendo a prioridade global, continuar esse processo até chegar as prioridades finais das alternativas no nível mais baixo.

3. Metodologia

A primeira etapa deste estudo foi identificar a problemática a ser analisada, no caso, escolher uma fonte alternativa de energia para ser implementada na matriz energética do estado de Mato Grosso do Sul. O problema é relevante para futuros investimentos de infraestrutura no estado, os quais podem ser projetos do setor público como também de iniciativas privadas. Consequentemente, ao se resolver este problema de pesquisa os investidores terão uma ferramenta para auxiliá-los no processo de tomada de decisão para escolher a fonte alternativa de energia com melhor compromisso para a região.

Definida a problemática, a segunda etapa foi a revisão de literatura tanto de fontes energéticas quanto de análise de decisão multicritério, proporcionando maior entendimento dos assuntos abordados neste trabalho. Com a pesquisa bibliográfica foi possível iniciar a etapa de coleta de dados para os critérios escolhidos, os critérios mais comuns ou mais frequentes em trabalhos anteriores de análise de fontes alternativas de energia foram selecionados e em seguida definiu-se as alternativas de energia sustentável disponíveis para estado de Mato Grosso do Sul segundo informações contidas no [BEMS 2015], o qual identifica que o estado possui capacidade de desenvolver energia elétrica sustentável através de termoeletricas movidas à biomassa de cana de açúcar (BM), pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), painéis fotovoltaicos (PV) e por aere geradores (AE). A Figura 1 ilustra a estrutura do modelo para análise multicriterial.

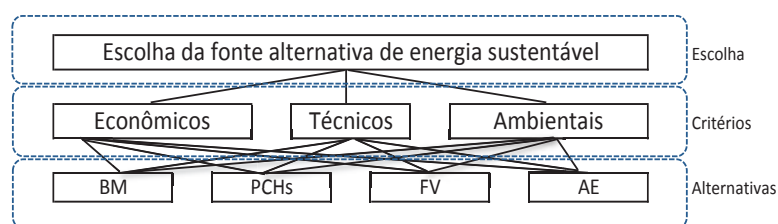


Figura 1 – Hierarquia do problema multicriterial

Após a coleta de todos os dados, analisou-se todos os critérios e alternativas através do modelo AHP que foi estruturado com o auxílio do software Microsoft Excel para realização dos cálculos. O AHP além de ser um método muito utilizado para a problemática escolhida neste trabalho também possui fácil acesso à sua base teórica e é de fácil aplicação e entendimento.

Os critérios foram julgados pela autora do trabalho para dois cenários, o ambiental e o econômico, com o intuito de escolher uma alternativa de melhor compromisso para as duas vertentes. Todos os critérios foram comparados um com o outro conforme a escala de [Saaty 1980] e comparados também por alternativas segundo a metodologia do método AHP. Com essa



avaliação foi possível calcular a consistência da análise, os pesos de cada critério para então chegar na hierarquização das alternativas.

3.1 Coleta de dados

Os dados avaliados neste trabalho foram coletados no mês de novembro de 2016 de quatro fontes bibliográficas e um dos dados foi coletado através de um questionário respondido por professores de engenharia elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. O Quadro 1 apresenta a base de dados qualitativa e quantitativa referentes aos subcritérios das alternativas energéticas para a aplicação do método.

Quadro 1 – Dados para análise das fontes alternativas de energia

Critérios	Alternativas				Fonte
	Biomassa(BM)	PCH's	Fotovoltaica(FV)	Aerogedores(AE)	
Eficiência(%) (EF)	18	90	14	24	DUARTE [2011]
Maturidade Tecnológica (MT)	Crescimento	Maturidade	Introdução	Crescimento	DUARTE [2011]
know-how do Estado para a instalação e manutenção(KH)	Médio	Alta	Médio	Baixo	Questionário - Professores UFMS
Utilização de terra (UT)	Alta	Alta	Baixa	Média	ANEEL [2008]
Emissão de CO ₂ (CO)	Sim	não	não	não	DUARTE [2011]
Compatibilidade com as políticas e legislação do Estado (CP)	Alta	Alta	Média	Baixa	BEMS [2015]
Geração de emprego (GE)	Alta	Média	Baixa	Baixa	ANEEL [2008]
Investimento(USD/kW) (IV)	900	1200	6000	1200	DUARTE [2011]

Eficiência energética (%) (EF) : refere-se à quantidade útil de energia elétrica fornecida a partir da fonte primária de energia, ou seja, o quanto de potência elétrica é convertido da energia gerada [Costa et al. 2016].

Maturidade Tecnológica (MT): A maturidade tecnológica leva em consideração a amplitude de atuação presente no país da alternativa tecnológica analisada [Wang et al. 2009].

Know-How de MS para Instalação e Manutenção (KH): É o critério que mede a capacidade do estado na instalação e manutenção das tecnologias analisadas, ou seja, mostra o nível de mão de obra qualificada para a tecnologia escolhida.

Utilização de Terra (UT): Os sistemas de geração de energia ocupam terra, alguns requerem mais que outros, é importante analisar esse critério pois o meio ambiente e o paisagismo do local é diretamente afetado [Wang et al. 2009].

Emissão de CO₂ (CO): O gás carbônico é um gás incolor e inodoro mas com alguns efeitos negativos para o planeta, alguns cientistas reportam que esse gás contribui entre 9-26% para o efeito estufa. As fontes energéticas que mais soltam CO₂ na atmosfera são os de característica fóssil [Wang et al. 2009].

Compatibilidade com as políticas e legislação de MS (CP): Esse critério analisa a legislação do estado e os incentivos para inserção ou ampliação das tecnologias sustentáveis de geração de energia.

Geração de Emprego (GE): Refere-se a estimativa de empregos que podem ser gerados com a instalação dessas tecnologia para geração de energia [Duarte 2011].

Investimento (USD/KW) (IV): O investimento abrange os custos de compra de equipamentos, instalação, construção e conexão com a matriz energética nacional [Wang et al. 2009].

Os dados de natureza qualitativa foram convertidos para quantitativos utilizando-se a escala Likert para que pudessem ser calculados no modelo AHP e quanto ao critério de emissão de CO₂, este foi convertido para uma escala binária.

4. Análise dos dados com o método AHP

Seguindo os passos definidos por [Saaty 1980], a aplicação do método AHP para o cenário ambiental e econômico pode ser dividido nas seguintes etapas:

Etapa 1: Construção da matriz de comparação paritária (MCP) para comparar e estabelecer prioridades entre o segundo nível decisão (critérios) par a par utilizando a escala



proposta por [Saaty 1980], ilustrada no Quadro 4. Considerando os oito critérios de avaliação, construiu-se a matriz quadrada e os nove fatores de Saaty foram aplicados para a comparação, a matriz resultante para o cenário ambiental é representada pelo Quadro 2 e a matriz resultante para o cenário econômico é representado pelo Quadro 3, esses dois quadros utilizam o mesmo procedimento de criação, variando somente os pesos sobre cada critério. Exemplo de preenchimento da segunda linha com a primeira coluna do Quadro 2: $0.33 = 1/3$ que significa que o critério EF tem uma importância pequena sobre o critério MT, caso EF fosse mais importante, o valor seria $3/1 = 3$.

Quadro 2 – Matriz de comparação de critérios no cenário ambiental

Matriz de comparação de Critérios – Cenário Ambiental								
	EF	MT	KH	UT	CO	CP	GE	IV
EF	1.00	3.00	1.00	0.20	0.20	1.00	3.00	1.00
MT	0.33	1.00	1.00	0.33	0.20	1.00	1.00	1.00
KH	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1.00	1.00	1.00
UT	5.00	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	5.00	5.00
CO	5.00	5.00	3.00	1.00	1.00	3.00	5.00	5.00
CP	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	1.00	1.00	5.00
GE	0.33	1.00	1.00	0.20	0.20	1.00	1.00	1.00
IV	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20	1.00	1.00
Soma	14.67	16.00	12.00	4.27	3.47	9.20	18.00	20.00

Quadro 3 – Matriz de comparação de critérios no cenário Econômico

Matriz de comparação de critérios – Cenário Econômico								
	EF	MT	KH	UT	CO	CP	GE	IV
EF	1.00	3.00	1.00	5.00	5.00	1.00	1.00	0.20
MT	0.33	1.00	1.00	5.00	5.00	0.20	0.33	0.20
KH	1.00	1.00	1.00	5.00	5.00	1.00	1.00	0.33
UT	0.20	0.20	0.20	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20
CO	0.20	0.20	0.20	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20
CP	1.00	5.00	1.00	5.00	5.00	1.00	1.00	0.33
GE	1.00	3.00	1.00	5.00	5.00	1.00	1.00	1.00
IV	5.00	5.00	3.00	5.00	5.00	3.00	1.00	1.00
Soma	9.73	18.40	8.40	32.00	32.00	7.60	5.73	3.47

Quadro 4- Escala Fundamental de [Saaty 1980]

Tabela: Escala Fundamental de Saaty (1980)		
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Adaptado de [Saaty 1980]



Etapa 2: Normalizar os valores obtidos nos Quadros 2 e 3 para igualar todos resultados em uma mesma unidade. Para a normalização seguiu-se de acordo com método proposto por [Saaty 1980] em que se divide o respectivo valor pela soma de sua coluna. Com a matriz normalizada é possível calcular o Auto Vetor, que é o vetor de prioridades, ou seja, ele mostra o peso de importância para cada critério. O Auto vetor é calculado através da média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada. Os Quadros 5 e 6 mostram a matriz normalizada para cada cenário e os auto vetores para cada critério. Exemplo de preenchimento da primeira linha com a primeira coluna do Quadro 5: valor da comparação do Quadro 2/soma da coluna do quadro 2 = $1/14.67 = \text{aprox. } 0.07$ e assim sucessivamente se normalizou todos os outros valores. Com relação ao auto vetor, exemplo do calculo da primeira linha com a coluna Autovetor: $(0.07+0.19+0.08+0.06+0.11+0.17+0.05)/8 = \text{aprox. } 0.10$.

Quadro 5 – Matriz Normalizada de comparação dos critérios para cenário ambiental

Matriz de comparação de Critérios Normalizada										
	EF	MT	KH	UT	CO	CP	GE	IV	Autovetor	%
EF	0.07	0.19	0.08	0.05	0.06	0.11	0.17	0.05	0.10	9.61%
MT	0.02	0.06	0.08	0.08	0.06	0.11	0.06	0.05	0.06	6.48%
KH	0.07	0.06	0.08	0.08	0.10	0.11	0.06	0.05	0.08	7.53%
UT	0.34	0.19	0.25	0.23	0.29	0.11	0.28	0.25	0.24	24.22%
CO	0.34	0.31	0.25	0.23	0.29	0.33	0.28	0.25	0.29	28.50%
CP	0.07	0.06	0.08	0.23	0.10	0.11	0.06	0.25	0.12	11.98%
GE	0.02	0.06	0.08	0.05	0.06	0.11	0.06	0.05	0.06	6.09%
IV	0.07	0.06	0.08	0.05	0.06	0.02	0.06	0.05	0.06	5.57%
Soma									1.00	100.0%

Quadro 6 - Matriz Normalizada de comparação dos critérios para cenário econômico

Matriz de comparação de Critérios Normalizada										
	EF	MT	KH	UT	CO	CP	GE	IV	Autovetor	%
EF	0.10	0.16	0.12	0.16	0.16	0.13	0.17	0.06	0.13	13.26%
MT	0.03	0.05	0.12	0.16	0.16	0.03	0.06	0.06	0.08	8.28%
KH	0.10	0.05	0.12	0.16	0.16	0.13	0.17	0.10	0.12	12.38%
UT	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.06	0.03	2.96%
CO	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.06	0.03	2.96%
CP	0.10	0.27	0.12	0.16	0.16	0.13	0.17	0.10	0.15	15.10%
GE	0.10	0.16	0.12	0.16	0.16	0.13	0.17	0.29	0.16	16.15%
IV	0.51	0.27	0.36	0.16	0.16	0.39	0.17	0.29	0.29	28.91%
Soma									1.00	100%

Etapa 3: Calcular a Razão de Consistência (RC) para medir o quanto os julgamentos foram consistentes, caso o valor de RC seja superior à 0,1 significa que os julgamentos não estão confiáveis, ou seja não há consistência no julgamento do decisor. Para se calcular o RC é necessário descobrir o λ_{\max} , que é calculado multiplicando a matriz de pesos dos critérios (auto vetor) pela matriz de comparação de critérios (Quadro 3) após a multiplicação divide-se a matriz resultante pela matriz dos auto vetores. O λ_{\max} representa o maior auto vetor do Quadro 5 e é utilizado para calcular o Índice de Consistência (IC), essas variáveis são representadas pelas formulas abaixo:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (1)$$



$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$Aw = \lambda_{max} X w \quad (3)$$

O valor obtido para o RC neste problema foi igual à 0,07, ou seja Saaty 1980] propõe que para o problema ser consistente o RC deve ser menor que 0,1, ou seja, pode-se dizer que os julgamentos do decisor neste caso foram consistentes e a análise será válida.

Etapa 4: Construção da matriz paritária de cada critério considerando todas as alternativas, com as prioridades estabelecidas se calcula o vetor para cada critério, com o objetivo de mostrar qual alternativa é melhor naquele determinado critério, esse vetor é a média da linha da matriz normalizada do critério em questão. O Quadro 7 traz o resultado da comparação das alternativas para todos os critérios.

Quadro 7 – Matriz de comparação das alternativas para cada critério

Critério EF					Critério MT				
	BM	PCH's	FV	AE		BM	PCH's	FV	AE
BM	1	1/7	3	1/3	BM	1	1/3	3	1
PCHs	7	1	7	5	PCHs	3	1	5	3
FV	1/3	1/7	1	1/3	FV	1/3	1/5	1	1/3
AE	3	1/5	3	1	AE	1	1/3	3	1
Critério KH					Critério CO				
	BM	PCH's	FV	AE		BM	PCH's	FV	AE
BM	1	1/3	1	3	BM	1	1/7	1/7	1/7
PCHs	3	1	3	5	PCHs	7	1	1	1
FV	1	1/3	1	3	FV	7	1	1	1
AE	1/3	1/5	1/3	1	AE	7	1	1	1
Critério UT					Critério CP				
	BM	PCH's	FV	AE		BM	PCH's	FV	AE
BM	1	1	1/7	1/5	BM	1	1	3	5
PCHs	1	1	1/7	1/5	PCHs	1	1	3	5
FV	7	7	1	3	FV	1/3	1/3	1	3
AE	5	5	1/3	1	AE	1/5	1/5	1/3	1
Critério GE					Critério IV				
	BM	PCH's	FV	AE		BM	PCH's	FV	AE
BM	1	3	5	5	BM	1	5	7	5
PCHs	1/3	1	3	3	PCHs	1/5	1	5	1
FV	1/5	1/3	1	1	FV	1/7	1/5	1	1/5
AE	1/5	1/3	1	1	AE	1/5	1	5	1

Etapa 5: Construir a matriz de decisão para os dois cenários. Todos os vetores resultantes do Quadro 7 são somados para cada alternativa e multiplicados pelo autovetor (peso) de cada um dos critérios. A matriz decisão para o cenário ambiental e cenário pode ser encontrada no Quadro 8.

5. Resultado da pesquisa

Para este trabalho foram considerados dois cenários distintos, onde cada critério teve prioridades diferentes, assim a matriz de decisão de cada um para as quatro alternativas de



energia sustentável resultou em uma escolha diferente, como pode ser visto na coluna *Ranking* do Quadro 8. Sendo assim, para o cenário ambiental a melhor alternativa qualificada foi a de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e para o cenário econômico foi a de biomassa (BM), essa divergência de resultados pode ser entendida pela diferença dos pesos adotados para cada critério, por exemplo, no cenário ambiental o critério de maior peso foi a emissão de gás carbônico (CO) que em contradição foi o critério de menor peso para o cenário econômico.

Quadro 8 – Matriz de decisão

Matriz Decisão Cenário Ambiental										
	EF	MT	KH	UT	CO	CP	GE	IV	Total	Ranking
BM	0.11	0.20	0.20	0.07	0.05	0.39	0.55	0.61	0.18	4°
PCH's	0.64	0.52	0.52	0.07	0.32	0.39	0.25	0.17	0.31	1°
FV	0.06	0.08	0.20	0.57	0.32	0.15	0.10	0.05	0.28	2°
AE	0.19	0.20	0.08	0.29	0.32	0.07	0.10	0.17	0.22	3°
Peso	9.61%	6.48%	7.53%	24.22%	28.50%	11.98%	6.09%	5.57%	1.00	
Matriz Decisão Cenário Econômico										
	EF	MT	KH	UT	CO	CP	GE	IV	Total	Ranking
BM	0.11	0.20	0.20	0.07	0.05	0.39	0.55	0.61	0.38	1°
PCH's	0.64	0.52	0.52	0.07	0.32	0.39	0.25	0.17	0.35	2°
FV	0.06	0.08	0.20	0.57	0.32	0.15	0.10	0.05	0.12	4°
AE	0.19	0.20	0.08	0.29	0.32	0.07	0.10	0.17	0.15	3°
Peso	13.26%	8.28%	12.38%	2.96%	2.96%	15.10%	16.15%	28.91%		

6. Considerações finais

Em relação aos objetivos deste trabalho foi possível encontrar a alternativa ótima de energia sustentável para o estado de Mato Grosso do Sul através do ranking de alternativas dado pelo modelo de análise de decisão multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*) em dois cenários distintos.

Através do método AHP aplicado neste estudo foi constatado que para o estado de Mato Grosso Sul a melhor alternativa para um cenário ambiental e econômico é a de geração de energia elétrica por pequenas centrais hidrelétricas, que apesar de não ter recebido a melhor classificação no cenário econômico, obteve um bom desempenho conquistando o segundo lugar com 35% e primeiro lugar com 31% no cenário ambiental.

Existem diversos critérios que podem ser analisados em um problema de seleção de alternativas de energia, para um resultado mais apurado seria necessário contatar futuros investidores ou até mesmo alguém do órgão público responsável pela parte de energia e infraestrutura do estado para definir melhor os critérios e a atribuição de seus pesos. Trabalhos futuros podem abordar mais a fundo essa questão de definição de critérios juntamente com outros modelos de análise de decisão, pois o AHP tem suas limitações assim como outros, por isso comparar resultado de modelos diferentes é uma forma interessante de ter melhores, outra sugestão fica em aplicar essa pesquisa para outros estados brasileiros.



Referências

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2008). Atlas da Energia Elétrica no Brasil. Brasil: ed. Brasília
- Almeida, A. (2013). Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério. 1 ed. Atlas.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. (2016). Balanço energético nacional 2016: ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia (MME). (2015). Brasil e EUA anunciam meta de 20% de fontes renováveis não hidráulicas na matriz elétrica. Web Page. http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/segundo-destaque/-/asset_publisher/8MR33y2rdjUB/content/brasil-e-eua-anunciam-meta-de-20-de-fontes-renovaveis-nao-hidraulicas-na-matriz-eletrica;jsessionid=2CECE9995D1B2D09725295C1BCAFD736.srv154. Acessado: 30-06-2015.
- Brasil, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (MME/EPE). (2015). Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE. Web Page: <http://www.epe.gov.br/PDEE/Relatório%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>. Acessado: 14-10-2016.
- Bhushan, N. e Rai, K. (2004). Strategic decision making: applying the Analytic Hierarchy Process. 1 ed. Springer.
- Costa, A. K., Farret, F. A. e Trennepohl, F. A. (2016). Seleção multicriterial para sistemas de minigeração distribuída utilizando a casca de arroz. In *Anais da conferência internacional de energias inteligentes (Smart Energy)*, Curitiba.
- Duarte, M. D. O. (2011). Modelos de decisão multicritério e de portfólio com aplicação na construção de políticas energéticas sustentáveis. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. Cap. 3. Web Page: www.ppgep.org.br/teses/DO-0039.pdf. Acessado: 07-10-2016.
- Friego, M. M. (2013). Impacto da Microgeração de Energia Elétrica em Sistemas de Distribuição de Baixa Tensão. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2013. Cap. 2.
- Garni, H. A. et al. (2016). A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia. *Sustainable Energy Technologies And Assessments*, v. 16, p.137-150. Elsevier BV.
- Instituto Ascende Brasil (IAB). (2015). Metas para geração de energia renovável. Web Page. <http://ww1.folha.uol.com.br/mercado/2015/08/1673821-brasil-antecipa-metas-para-geracao-de-energia-renovavel.shtml>. Acessado: 10-08-2016.



Klein, S. J. W., Whalley, S. (2015). Comparing the sustainability of U.S. electricity options through multi-criteria decision analysis. *Energy Policy*, v. 79, p.127-149. Elsevier BV.

Loken, E. (2007). Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, v. 11, n. 7, p.1584-1595. Elsevier BV.

Mato Grosso Do Sul. Secretaria do Estado de Infraestrutura. (2015). Balanço Energético do Estado de Mato Grosso do Sul (BEMS). Web Page. http://www.servicos.ms.gov.br/extranet-seinfra/docs/GDE-MS/01-BEMS_2015_FINAL.pdf. Acessado: 10-08-2016.

Oliveira, A. S. (2002). Modalidades e procedimentos simplificados do mecanismo de desenvolvimento limpo e a eletrificação residencial rural baseada em projetos de geração de energia renovável em pequena escala. In *Anais do IV Encontro de Energia no Meio Rural*. Campinas.

Ortiz, L. S. (2002). Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética. Campo Grande: Gibim Gráfica e Editora, p. 6-7. Web Page: <http://www.riosvivos.org.br/arquivos/846203942.pdf>. Acessado: 14-10-2016

Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill

Vincke, P. (1992). *Multicriteria decision-aid*. Bruxelles: John Wiley & Sons, Inc

Wang, J. et al. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 9, p.2263-2278. Elsevier BV.