

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA- CAMPUS FLORIANÓPOLIS.
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

MARIA BELEN MARIN

**ESCOLHA DO LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA
POR MEIO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

FLORIANÓPOLIS, 2024.

MARIA BELEN MARIN

**ESCOLHA DO LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA
POR MEIO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Fernanda Simoni Schuch, Dra.

FLORIANÓPOLIS, 2024.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca do IFSC.

Marin, Maria

ESCOLHA DO LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE
TERRA POR MEIO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO / Maria Marin ;
orientador, Fernanda Simoni Schuch Schuch, 2024.
88 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto
Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Graduação
em Engenharia civil, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia civil. 2. Implantação para barragem de
terra. 3. Analytic Hierarchy Process (AHP. 4. . Análise de
Decisão Multicritério.. I. Schuch, Fernanda Simoni Schuch.
II. Instituto Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia civil. III. Título.

MARIA BELEN MARIN

**ESCOLHA DO LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA
POR MEIO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil,
pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e
aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora
abaixo indicada.

Florianópolis, 03 de setembro, 2024.

Prof^a. Fernanda Simoni Schuch, Dr^a

Orientadora

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Prof. Samuel João da Silveira, Dr

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Prof. Jucelio Gonçalves, Me.

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Eng. Civil Gisele Marilha Pereira Reginatto, MSc.

Nova Engevix Engenharia

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela força e perseverança que me sustentaram ao longo desta jornada. Aos meus pais, Carlos Marin e Marlei Soero, expresso minha mais profunda gratidão pelo amor incondicional, apoio constante e por sempre acreditarem no meu potencial. Sem vocês, esta conquista não seria possível.

À minha orientadora, Fernanda, meu sincero agradecimento pela orientação cuidadosa, paciência e pelas valiosas contribuições ao longo do processo. Sua experiência e conhecimento foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Ao meu noivo, agradeço pela parceria inestimável, pelas trocas de ideias e pelos momentos de leveza e descontração que tornaram essa trajetória mais agradável.

Expresso também minha gratidão a todos os professores que, ao longo do curso, contribuíram de forma significativa para a minha formação acadêmica e profissional. E, por fim, agradeço aos meus amigos e colegas que, de alguma maneira, participaram dessa jornada e fizeram parte desse importante capítulo da minha vida.

Este trabalho é dedicado a meus pais, Carlos Marin e Marlei Soero, exemplos de amor e perseverança.

RESUMO

A implantação de barragens desempenha um papel crucial no desenvolvimento sustentável e na gestão dos recursos hídricos. A tomada de decisão na implantação das mesmas envolve a consideração de múltiplos critérios, portanto, deve ser realizada por profissionais da área, com base em estudos e análises adequados. Para lidar com essa complexidade, o método de análise hierárquica (AHP) se destaca como uma ferramenta robusta e eficaz. Desenvolvido por Thomas L. Saaty, o AHP facilita a decomposição de um problema complexo em uma hierarquia de critérios e subcritérios, permitindo uma avaliação mais estruturada e objetiva das alternativas. O presente trabalho o utilizado para auxiliar na avaliação da escolha de um local mais apropriado para a implantação de uma barragem de terra, considerando-se 5 critérios: hidráulico, ambiental, interferências na área de implantação, qualidade d'água e econômico-financeiro. Para se chegar nestes critérios, analisou-se dados obtidos de uma empresa de engenharia, especializada em barragens, a qual cedeu relatórios técnicos de dois empreendimentos, bem como através da revisão de literatura. Para aplicar o método AHP elaborou-se um questionário, convidando-se profissionais da área para respondê-los, de modo a se obter um peso para cada critério de análise. Após, avaliou-se duas alternativas de locais para implantação da obra e, para cada uma delas, por meio da análise dos dados obtidos nos relatórios técnicos da empresa de engenharia, atribui-se uma nota relativa aos critérios de escolha. Por fim, cada local de implantação recebeu uma nota final e, a partir desta, escolheu-se qual o melhor local para a implantação de uma barragem de terra. Utilizando o método AHP, destacou a alternativa de local A como a mais favorável, com 37% de prioridade além de oferecer o melhor equilíbrio entre os aspectos técnicos e econômicos, sendo a opção mais vantajosa para implementação.

Palavras-Chave: Implantação para barragem de terra. *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Análise de Decisão Multicritério.

ABSTRACT

The implementation of dams plays a crucial role in sustainable development and water resource management. Decision-making in their deployment involves considering multiple criteria; therefore, it must be carried out by professionals in the field, based on appropriate studies and analyses. To handle this complexity, the Analytic Hierarchy Process (AHP) stands out as a robust and effective tool. Developed by Thomas L. Saaty, AHP facilitates the decomposition of a complex problem into a hierarchy of criteria and subcriteria, allowing for a more structured and objective evaluation of alternatives. This study utilizes AHP to assist in assessing the selection of the most suitable site for the implementation of an earth dam, considering five criteria: hydraulic, environmental, area interference, water quality, and economic-financial. To define these criteria, data obtained from an engineering company specializing in dams were analyzed, which provided technical reports from two projects, as well as through a literature review. To apply the AHP method, a questionnaire was developed, inviting professionals in the field to respond in order to assign a weight to each analysis criterion. Subsequently, two alternative sites for the project's implementation were evaluated. For each of them, based on the data obtained from the engineering company's technical reports, a score was assigned to the selection criteria. Finally, each site received a final score, from which the best location for the implementation of an earth dam was selected. Using the AHP method, site a was highlighted as the most favorable alternative, with 37% priority, in addition to offering the best balance between technical and economic aspects, making it the most advantageous option for implementation.

Keywords: Earth dam implementation. Analytic Hierarchy Process (AHP). Multicriteria Decision Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Material do maciço das barragens.....	29
Figura 2 – Uso principal das barragens cadastradas	30
Figura 3 - Seções típicas de barragens de terra (a) Terra homogêneas; (b) Terra zoneada.....	17
Figura 4 - Enrocamento com núcleo central.....	18
Figura 5 - Enrocamento com núcleo inclinado.....	19
Figura 6- Enrocamento com face de concreto.....	19
Figura 7 - Enrocamento com chapa de aço	19
Figura 8 - Barragem de gravidade de Dona Francisca- RS.....	21
Figura 9 - Barragem de contrafortes de Valle Grande, no rio Atuel, San Rafael, Argentina	21
Figura 10 - Barragem em arco - Austrália	22
Figura 11 – Modelo Hierárquico	26
Figura 12 - Matriz Julgamento por Gomes.....	27
Figura 13 – Fluxograma da pesquisa	34
Figura 14 – Estrutura de hierarquia	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Valores IR para matrizes quadradas ordem n	31
Tabela 2 - Pontuação Hidráulica /hidrológico	43
Tabela 3 - Pontuação Meio Físico	45
Tabela 4 - Pontuação Meio Biótico	47
Tabela 5 - Pontuação Meio Socioeconômico	49
Tabela 6 - Pontuação Interferências	50
Tabela 7 - Pontuação Qualidade d'água	50
Tabela 8 - Pontuação Econômico-financeiro.	51
Tabela 9 - Matriz de Julgamento (A) do Decisor 1	55
Tabela 10 – Matriz Normalizada (decisor 1)	55
Tabela 11 - Prioridade (Decisor 1).....	56
Tabela 12 - Resultado do Vetores Prioridades (Wi) dos todos Decisores.....	57
Tabela 13 - Resultado da Consistência Decisor 1	57
Tabela 14 – Resultados ($\lambda_{máx}$ IC,RC) de todos os Decisores	59
Tabela 15 - Vetor final de pesos dos critérios do método AHP.....	60
Tabela 16 - Dados das alternativas.....	61
Tabela 17 - Hidrólogo/hidráulico	62
Tabela 18 - Ambiental	62
Tabela 19 - Interferências	62
Tabela 20 - Qualidade d'água	63
Tabela 21 - Econômico-Financeiro	63
Tabela 22 – Nota dos critérios das alternativas.....	63
Tabela 23 – Resultado da Melhor Alternativas de Local.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala Fundamental numérica de Saaty (1980)	27
Quadro 3 – Relação de indicadores	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADA – Área diretamente Afetada

AFF – Áreas De Formação Florestal

AHP – Analytic Hierarchy Process

AHP – Processo Analítico hierárquico

AID – Área de Influência Direta

ANA – Agência Nacional de Águas

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Áreas De Proteção Ambiental

APPS – Áreas de Preservação Permanente

AS – Áreas De Silvicultura

ELECTRE – Élimination Et Choix Traduisant la Réalité

FOM – Floresta ombrófila Mista

MCDM – Método de Análise de Decisão Multicritério

PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens

PROMETHEE – Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

SNISB – Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens

TOPSIS – Technique for Order Preference

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	23
LISTA DE TABELAS	24
LISTA DE QUADROS.....	25
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	26
SUMÁRIO.....	27
1. INTRODUÇÃO	29
1.1. Objetivos.....	32
1.1.1. Objetivo geral.....	32
1.1.2. Objetivos específicos.....	32
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. Barragens	15
2.2. Tipos de barragens.....	16
2.3. Critérios de Escolha do Local de Implantação de Barragens	22
2.4. Método de Análise de Decisão Multicritério	23
2.5. Processo Analítico Hierárquico	25
2.6. Aplicações do Método AHP em Recursos Hídricos no Brasil	32
3. MÉTODO	33
3.1. Caracterização das Alternativas de Local de Implantação da Barragem.....	40
3.1.1. Caracterização hidráulico/hidrológica	40
3.1.2. Características Ambientais	41
3.1.3. Características das interferências.....	42
3.1.4. Qualidade d'água.....	42
3.1.5. Características Econômica – Financeiras.....	42
3.2. Pontuação para Alternativas de Implantação	43
3.2.1. Hidráulico/Hidrológico.....	43
3.2.2. Ambiental.....	44
3.2.3. Interferências	49
3.2.4. Qualidade d'água.....	50
3.2.5. Econômico – Financeiro	50
4. RESULTADOS	51
4.1. Caracterização dos Locais	51
4.2. Aplicação da Análise de Processo de Hierarquia	53

4.2.1. Dados das Alternativas de Locais.....	60
4.3. Resultado das Pontuações das Alternativas.....	61
4.3.1. Resultado na Nota das Alternativas de Locais	63
5. CONCLUSÃO	64
5.1. Recomendações para trabalhos posteriores	66
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICE A – Matriz de Julgamentos.....	73
APÊNDICE B – Questionário Aplicado.....	82

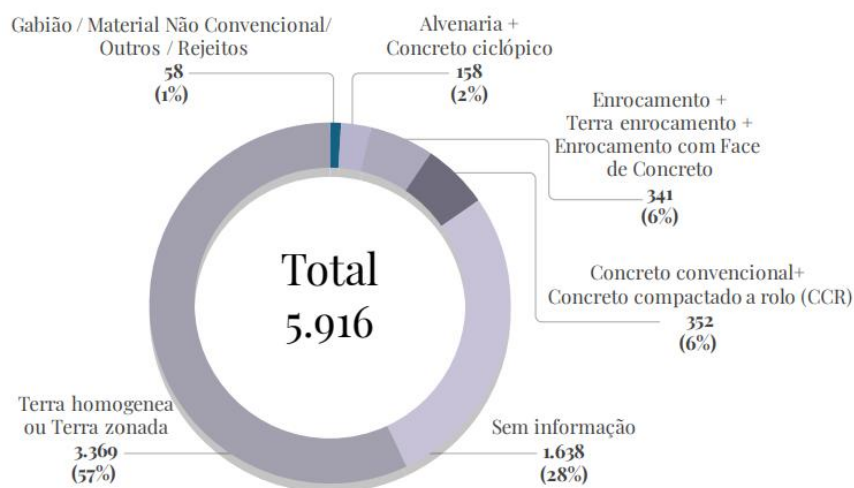
1. INTRODUÇÃO

As barragens têm desempenhado um papel crucial para a sociedade, desde o controle de inundações, abastecimento de água, como fonte de energia hidrelétrica, fornecimento para o consumo humano, uso industrial e irrigação agrícola, proporcionando benefícios como controle de cheias, (WCD, 2000).

Atualmente no Brasil há 25.943 barragens cadastradas no Sistema Nacional de Informações de Segurança (SNISB). Ainda quanto a sua tipologia, as barragens de terra são as mais comuns entre as barragens no Brasil.

Conforme o Relatório de Segurança de Barragens, são classificadas quanto ao tipo de material empregado no maciço: são de terra 3.369 (57%), enrocamento ou terra-enrocamento, 341 (6%), concreto convencional ou CCR (concreto compactado a rolo), 352 (6%) e não possuem informação, 1.638 (28%). Conforme apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Material do maciço das barragens

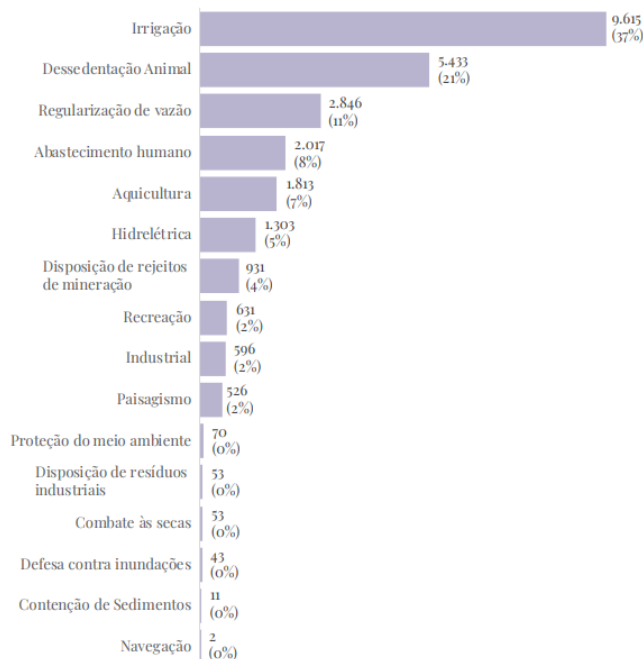


Fonte: SNISB, (2024).

E quanto ao uso principal das barragens cadastradas no País, de acordo com o Relatório de Segurança de Barragens 2024 (RSB), são destinadas: irrigação 9.61(37%); dessedentação animal 5.43 (21%); regularização de vazão 2.846 (11%); abastecimento humano de água 2.017 (8%); aquicultura 1.813 (7%); geração hidrelétrica 1.303 (5%); disposição de rejeitos de mineração 931 (4%); uso industrial

596 (2%); recreação 631 (2%); paisagismo 526 (2%); outros 232 (1%). Conforme apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Uso principal das barragens cadastradas



Fonte: SNISB, (2024).

Segundo FAO (2011), barragens de terra se destacam por sua simplicidade, elas consistem em estruturas onde uma massa de terra compactada conhecida como barramento, é projetada para resistir ao deslizamento e tombamento. Essa abordagem é eficaz e econômica, sendo amplamente utilizada devido à simplicidade da construção e ao uso de materiais locais.

De acordo com a Agência Nacional de Águas, as barragens de terra incluem o barramento, o reservatório e as estruturas associadas, são essenciais para uma gestão eficaz dos recursos hídricos. No entanto, a construção e operação de barragens de terra podem apresentar riscos significativos para as populações, bens materiais e ambientais ao seu redor (ANA, 2016).

Na maioria das vezes, os problemas podem ser atribuídos não só a falhas no projeto, mas também à falta de monitoramento durante a construção. Sendo provável que o projeto não tenha sido elaborado e executado por um profissional qualificado ou por uma empresa com a devida experiência. Além disso, os erros

podem ocorrer devido a falhas humanas nas fases preliminares, como na investigação geológica e geotécnica, dados e critérios de projeto inadequados, fiscalização deficiente, operação incorreta, erros na interpretação dos dados de monitoramento e operação indevida, entre outros fatores (Menescal, 2000).

É fundamental, portanto, que o projeto seja baseado em estudos detalhados e na análise cuidadosa de todos os aspectos relacionados ao empreendimento, a fim de minimizar impactos negativos e garantir a segurança e a eficácia da barragem.

Neste contexto, escolher o local para a implantação de uma barragem é fundamental para a solução de um problema de engenharia, seja abastecimento hídrico, geração de energia ou contenção de cheias. Deve ser feita uma avaliação abrangente e criteriosa com base na análise de fatores geotécnicos, hidrológicos, ambientais, sociais, econômicos e de segurança, além de critérios definidos por especialistas na área (Carvalho, 2008).

No entanto, a decisão de implementar novas barragens é um processo que envolve uma variedade de autores com perspectivas divergentes, tornando a seleção de processo caracterizado por conflitos de interesses (Carvalho et al., 2020). Em outras palavras, a escolha do melhor local para implantação de uma obra de engenharia do porte de uma barragem não é simples e, na medida do possível, desenvolver-se métodos de análise que tornam esta escolha mais idônea e adequada, sob os aspectos técnicos e econômicos, traz ganhos aos empreendedores e à sociedade como um todo.

A aplicação de um método de análise formal e rigoroso matematicamente contribui para definição objetiva de um problema em uma linguagem universal, possibilitando a tomada de decisões coletiva. Um dos métodos amplamente aceito nos processos de análise de decisão, é o multicritério focado na análise de hierarquia (AHP), desenvolvido por Thomas Saaty em 1977. O AHP tem sido utilizado em uma variedade de problemas que envolvem tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos. Este método se destaca por sua capacidade de estruturar problemas complexos em uma hierarquia de critérios e subcritérios, facilitando a tomada de decisões (Gomes et al., 2024).

Este método é mundialmente reconhecido é utilizado em diversas áreas, como: engenharia de produção (Carvalho 1997, Morita 1998, Moraes 2003, Enoki 2006), transportes (Figueredo 1999, Iáñez 2002, Lisboa 2002), engenharia naval e oceânica (Garber 2002), engenharia civil (Silva 2003), recursos hídricos (Zuffo 1998) e mapeamento geotécnico (Marques 2002).

Neste contexto este trabalho de conclusão de curso objetiva determinar a escolha do melhor local para implantação de uma barragem de terra de abastecimento, aplicando-se o método AHP para se definir o peso dos critérios de análise elencados para tal escolha, como pode ser observado no item a seguir.

1.1. Objetivos

Como objetivos desta pesquisa tem-se:

1.1.1. Objetivo geral

Identificar a melhor alternativa quanto ao local para a implantação de uma barragem de terra para abastecimento, com o auxílio da análise multicritério *Analytic Hierarchy Process*.

1.1.2. Objetivos específicos

Os objetivos deste trabalho são:

- a) Determinar critérios a serem utilizados na escolha do local de implantação de uma barragem de terra para abastecimento;
- b) Determinar o grau de importância de cada critério a partir do método de análise de multicritério AHP.
- c) Identificar entre duas alternativas reais, o local mais adequado para implantar uma barragem, aplicando-se o grau de importância atribuído no objetivo anterior.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É crucial contextualizar os cenários relacionados a barragens, e as definições pertinentes ao tema em estudo, como o método de análise multicritério focado no *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Essa contextualização é fundamental para apresentar os conhecimentos teóricos e técnicos necessários para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa. Ao fornecer uma base sólida de conceitos e metodologias, o estudo assegura que a avaliação da alternativa de local mais apropriado para a implantação de uma barragem, seja realizada de maneira precisa, integrando tanto aspectos técnicos quanto as experiências de profissionais da engenharia.

Sendo assim, este item aborda os conceitos acerca das barragens e suas tipologias, legislação pertinente ao assunto, critérios para escolha de melhor alternativa de local de implantação e, por fim, o método de análise multicritério AHP e suas aplicações.

2.1. Barragens

Segundo a Lei de Segurança de Barragens, a qual constitui a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), em sua definição barragem é:

“qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”.
(Lei nº 14/066/2020).

Com a Revolução Industrial, surgiu a necessidade de se construir um número crescente de barragens, esse crescimento impulsionou o aperfeiçoamento das técnicas de projeto e construção. No Brasil, as primeiras barragens foram implantadas na região Nordeste com o objetivo de combater a seca e regularizar as vazões dos rios para irrigação (Souza, 2013).

A construção de barragem é essencial para permitir o armazenamento de recursos vitais de água fora da época das chuvas. Essas estruturas podem ser empregadas, individualmente ou em combinação, para diversas finalidades, como produção de peixes, armazenamento e fornecimento de água potável, tratamento de

águas residuais, recarga de aquíferos subterrâneos, controle de inundações e conservação de recursos hídricos (Stephens, 2011).

De acordo com Morano (2006), a técnica de barramento de um curso d'água, ou represamento, consiste em acumular água durante os períodos de chuva para ser utilizada durante as estiagens. Embora seja uma técnica antiga, é amplamente reconhecida como uma das mais práticas e eficazes para o aproveitamento múltiplo das águas de um rio ou córrego.

2.2. Tipos de barragens

As diferentes tipologias de barragens se devem à grande diversidade de critérios de projeto, execução e operação a que estas obras estão sujeitas. Elas podem variar em função do seu principal material constituinte, da forma como os esforços estruturais são distribuídos na obra e sobre a fundação, entre outros.

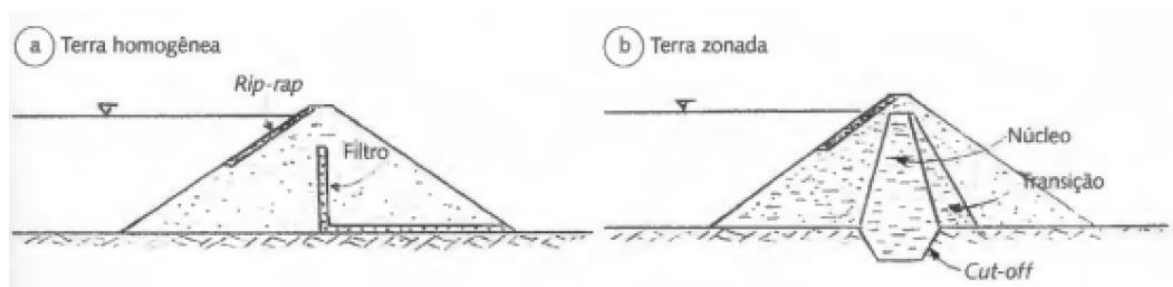
Nesta pesquisa a barragem de terra é o objeto de análise. Uma barragem de terra é uma estrutura constituída por um maciço de solo compactado em camadas sucessivas, projetada para reter água. Sua estabilidade é assegurada pelo peso próprio da estrutura e pela disposição do solo. As barragens de terra podem ser classificadas em diferentes tipos, de acordo com o material utilizado em sua construção (Carvalho, 2008).

Segundo Mendonça (2012), as barragens de terra são as mais comuns no Brasil, devido à presença de vales amplos e ombreiras suaves, que exigem grandes extensões de crista, além da disponibilidade abundante de solo. Por não serem estruturas rígidas, essas barragens podem ser construídas sobre fundações mais deformáveis, transmitindo esforços menores às fundações em comparação com outros tipos de barragens.

Dentre as barragens tidas como obras de terra há diferentes tipologias. A seguir discorre-se sobre os principais aspectos que diferenciam tais tipos de barragens.

- As barragens de terra homogêneas ou simples: são aquelas compostas com um único tipo de material Figura 3(a), nesse caso, o material precisa ser impermeável, para formar barreira contra a água, e os taludes suaves para uma estabilidade adequada, sendo recomendadas quando o solo do local da barragem oferece condições adequadas para construção e impermeabilização.
- As barragens de terra heterogêneas ou zonadas: são constituídas por um núcleo central, envolvido por zonas de matérias permeáveis Figura 3 (b), ou uma camada impermeável externa sobre o talude de montante geralmente construído com material argiloso de boa compactação, complementando o maciço da barragem com material de maior permeabilidade, com o emprego de areia, cascalho ou fragmentos de rocha, ou uma mistura desses materiais.

Figura 3 - Seções típicas de barragens de terra (a) Terra homogêneas; (b) Terra zonada



Fonte: Adaptada de Costa (2012).

- *Barragem de Enrocamento*

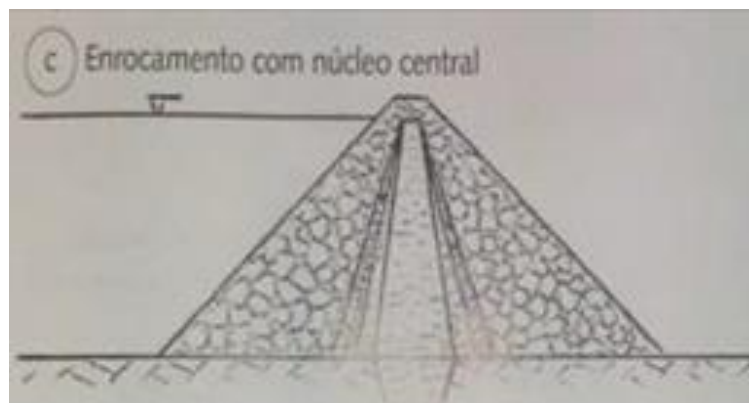
De acordo com Marangon, (2004), esse tipo de barragem utiliza blocos de rocha de tamanhos variados e uma membrana impermeável na face de montante. A construção desse tipo de barragem é econômica principalmente em locais onde o

custo do concreto é alto ou onde há escassez de materiais terrosos, mas há uma abundância de rocha dura e resistente, existem alguns tipos de barragens de enrocamento.

Observa-se uma variabilidade de barragens de enrocamento como pode ser visto nas figuras a seguir:

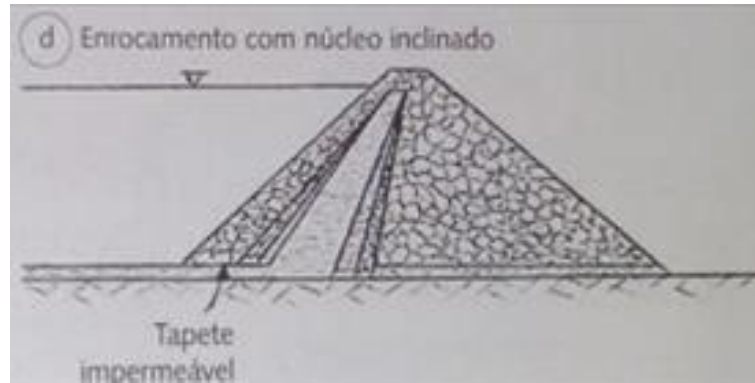
- Enrocamento com núcleo central: este tipo combina uma camada externa de rocha com um núcleo central feito de material impermeável Figura 4(c);
- Enrocamento com núcleo inclinado: neste tipo, a barragem integra elementos de enrocamento com um núcleo impermeável inclinado em relação à vertical Figura 5 (d);
- Enrocamento com face de concreto: caracteriza-se por um revestimento de placa de concreto sobre o talude de montante Figura 6(e);
- Enrocamento com chapa de aço: a estrutura de enrocamento é reforçada com uma chapa de aço colocada na face de montante para proporcionar uma camada adicional de impermeabilidade Figura 7(f).

Figura 4 - Enrocamento com núcleo central



Fonte: Adaptada de Costa (2012).

Figura 5 - Enrocamento com núcleo inclinado



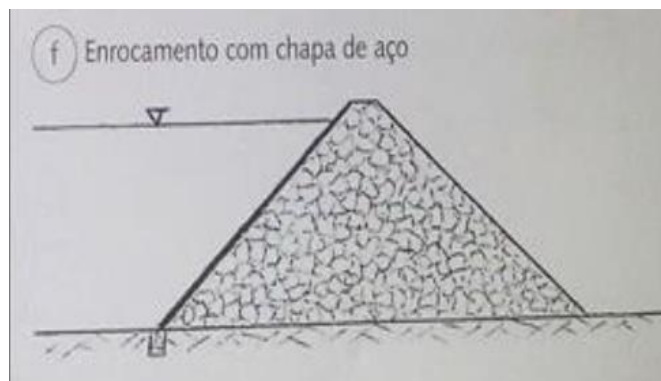
Fonte: Adaptada de Costa (2012).

Figura 6- Enrocamento com face de concreto



Fonte: Adaptada de Costa (2012).

Figura 7 - Enrocamento com chapa de aço



Fonte: Adaptada de Costa (2012).

- *Barragens de Concreto*

De acordo com Gusmão Filho (2006), barragens de concreto podem assumir várias formas diferentes, incluindo barragens de gravidade, em arco e contrafortes, conforme apresenta-se nas figuras: Figura 8, Figura 9 e Figura 10.

- Barragem de gravidade: tem seção levemente trapezoidal, seu eixo pode ser uma linha reta ou ter uma pequena curva em direção a montante, têm sua estabilidade assegurada pelo peso próprio da estrutura, sendo que o mesmo deve ser superior aos esforços que a estrutura esteja submetida, de modo a garantir a sua função de barrar uma grande massa de água.
- Barragens de contrafortes: são compostas de uma placa de concreto armado, com contrafortes em direção a jusante que descarregam a carga recebida pela placa às fundações, com tensões elevadas.
- Barragens de arco: são caracterizadas por sua curvatura horizontal e engastamento lateral, possuem uma espessura de parede de concreto que pode variar conforme a altura da barragem. Essas estruturas são particularmente adequadas para vales estreitos e profundos, cujas laterais, frequentemente rochosas, ajudam a suportar parte dos esforços impostos pela massa de água devido ao efeito de arco gerado pela barragem (Moliterno, 1995).

Figura 8 - Barragem de gravidade de Dona Francisca- RS



Fonte: Schneider, (2011).

Figura 9 - Barragem de contrafortes de Valle Grande, no rio Atuel, San Rafael, Argentina



Fonte: Schneider, (2011).

Figura 10 - Barragem em arco - Austrália



Fonte: Dam Safety, (2012).

2.3. Critérios de Escolha do Local de Implantação de Barragens

O levantamento de informações para implantação de barragens é crucial, diversos aspectos devem ser considerados para que se opte pela configuração de barragem mais adequada para a região onde está será inserida.

Nesta pesquisa bibliográfica, não se encontrou na literatura, recomendações, legislações ou normativas acerca dos critérios para escolha de um local de implantação de barragem. Há, porém, na literatura, as recomendações para projeto. A Agência Nacional de Águas (ANA) possui manuais que estabelecem diretrizes e, portanto, direcionam os estudos e análises a serem realizados quando se escolhe a região de implantação de uma obra de terra do tipo barragem. Além disso, alguns autores apontam alguns aspectos que julgam importantes para tal como se descreve a seguir.

Segundo Agência Nacional do Águas (2016), o local de implantação da barragem:

Deverão ser considerados fatores exteriores à barragem, como as condições de acessibilidade, a disponibilidade de materiais, a posse da terra, os aspectos ambientais, as necessidades da comunidade, a distância até ao fornecimento de *energia elétrica* e a possibilidade de inundação de *estradas, pontes e edifícios* (ANA, 2016).

Autores como Marques *et al.* (2021), afirmam que o estudo da *qualidade d'água* é de extrema importância o selecionar as áreas para implantação de

barragens, esses aspectos fundamentais para garantir a segurança para os diversos usos. De acordo com Silva *et al.* (2018), barragens são estruturas fundamentais, e se faz necessária uma análise criteriosa das áreas adequadas para a implantação, levando em consideração os impactos *socioambientais*.

As empresas que projetam os barramentos e suas obras complementares, realizam levantamentos a fim de obter tais informações e assim, analisar a viabilidade de execução do projeto, tanto sob a perspectiva técnica quanto *financeira*. A partir dos relatórios por elas produzidos é possível se obter as análises dos critérios de projeto e, conseqüentemente, de alternativa de locação da obra.

Em suma, identifica-se na literatura que, a análise financeira, aspectos socioambientais, qualidade da água e disponibilidade hídrica (aspectos hidrológicos) e interferências no local da implantação (presença de rodovias, redes de transmissão de energia, etc.) são critérios importantes a serem analisados e, serão objeto de análise nesta pesquisa.

2.4. Método de Análise de Decisão Multicritério

Na década de 1970, surgiram os primeiros métodos de análise de decisão multicritério, projetados para auxiliar em situações em que o tomador de decisão enfrenta desafios nos quais múltiplos objetivos precisam ser alcançados simultaneamente. Esses métodos abordam aspectos tanto quantitativos quanto qualitativos, visando aumentar a transparência e sistematizar os processos relacionados aos dilemas de tomada de decisão (Gomes *et al.*, 2004).

Segundo Mustrangi (2023), tomada de decisão é o processo pelo qual uma pessoa ou organização seleciona uma opção entre várias alternativas disponíveis, com o objetivo de alcançar um resultado desejado ou resolver um problema específico. O decisor avalia as conseqüências de cada opção, levando em consideração as informações e recursos disponíveis, bem como as expectativas pessoais e organizacionais, as restrições e as incertezas possíveis.

A abordagem de uma análise multicritério, fundamenta-se na criação de um procedimento abrangente e lógico para estruturar o problema, incluindo a representação e quantificação de seus elementos. É um processo de modelagem da

situação-problema a partir de suas variáveis, com ênfase específica na tomada de decisão (Franco, 2019).

Para Gomes *et al.* (2004), a literatura oferece uma variedade de métodos para auxiliar na tomada de decisões, dentre esses métodos alguns mais conhecidos métodos de MCDA (*Multiple Criteria Decision Analysis*), podem ser citados, sendo: AHP (*Analytic Hierarchy Process*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution*), ELECTRE (*Élimination Et Choix Traduisant la Réalité*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*).

O TOPSIS é uma abordagem para identificar uma a menor distância para a solução ideal. A palavra TOPSIS vem do inglês que significa “técnica de ordem de preferência por similaridade para a solução ideal”. Tem um processo simples, fácil de usar e programável. O número de etapas permanece o mesmo, independentemente do número de atributos. Uma desvantagem é que seu uso da distância euclidiana não considera a correlação de atributos. É difícil avaliar os atributos e manter a consistência do julgamento, especialmente com atributos adicionais (Behzadian *et al.*, 2012). A vantagem de sua simplicidade e sua capacidade de manter o a mesma quantidade de passos, independentemente do tamanho do problema, permitiu que fosse utilizada rapidamente para rever outros métodos.

ELECTRE baseia-se na noção generalizada de critérios para estabelecer relações de classificação e pode ser considerada satisfatória, e obter uma hierarquização das ações (Brans *et al.*, 1986). O método se sustenta em três conceitos fundamentais: concordância, discordância e valores-limite (outranking), utilizando um intervalo de escala no estabelecimento das relações de troca na comparação aos pares das alternativas (LOPES, 2008).

PROMETHEE é um método próprio para determinar a abertura ideal e calcular a direção do fluxo em depressões de água. O método ainda estabelece uma estrutura de preferência entre as alternativas discretas, tendo uma função de preferência entre as alternativas para cada critério. Essa função indica a intensidade da preferência de uma alternativa em relação à outra, com o valor variando entre 0 indiferença e 1 preferência total (Chou *et al.*, 2003). Em sua análise, se decompõe o objetivo em critérios e as comparações entre as alternativas são feitas no último nível

de decomposição e aos pares, pelo estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores (GARTNER, 2001).

Nesta pesquisa, objetiva-se aplicar o método AHP para hierarquizar critérios que possibilitem a escolha do melhor local para a implantação de uma barragem. Optou-se por esse método devido à sua abordagem clara e estruturada, permitindo a mensuração de todos os fatores importantes, sejam eles qualitativa ou quantitativamente mensuráveis, tangíveis ou intangíveis. No subitem a seguir, descreve-se tal método.

2.5. Processo Analítico Hierárquico

O *Analytic Hierarchy Process*, foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados dos anos 70, um dos primeiros métodos desenvolvidos no ambiente das decisões de multicritério, sendo uns dos mais usados no mundo. Nesse método o problema é dividido em uma hierarquia de vários níveis para a fim de facilitar a compreensão avaliação (Gomes *et al.*, 2004). O método AHP tem por objetivo a escolha de alternativas, considerando diferentes critérios e subcritérios qualitativos e quantitativos (Eduardo *et al*, 2014). Além de considerado flexível, pois pode ser integrado com outras técnicas. A síntese dos resultados permite a comparação das prioridades e importância relativa de cada fator (Ayala; Frank, 2013).

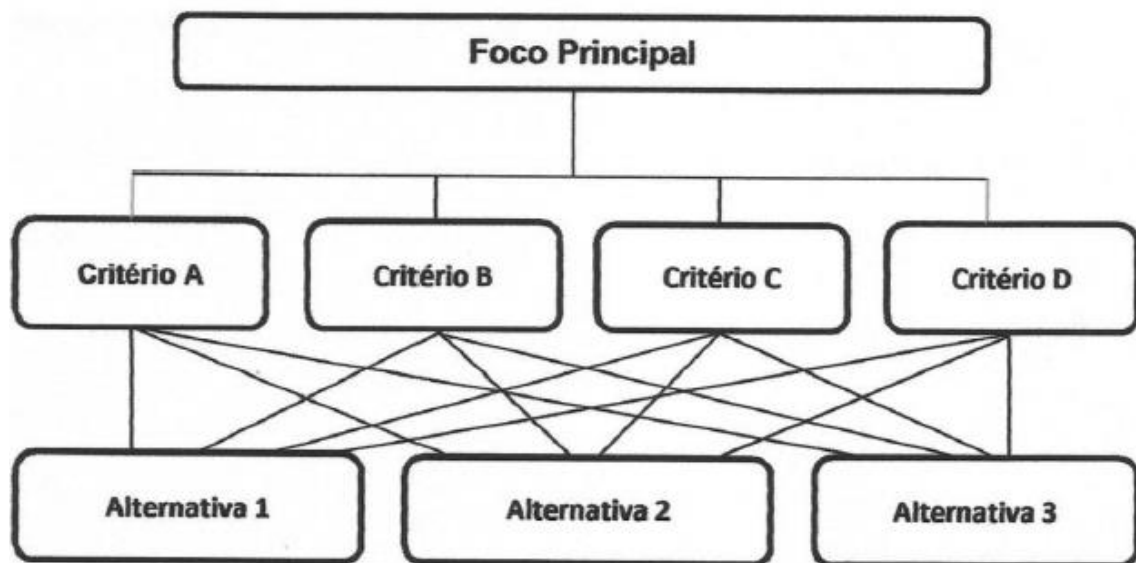
A principal vantagem do método reside na sua capacidade intrínseca de lidar com fatores intangíveis, os quais desempenham um papel determinante no processo decisório. Além disso, os cálculos matemáticos são simplificados e facilmente compreensíveis, tornando essa técnica ideal para ser utilizada no processo de avaliação proposta. Aplicação do método pode ser proposta nas seguintes etapas: representar um problema através de uma estrutura hierárquica, onde o primeiro nível da hierarquia representa o objetivo, segundo nível dos critérios e último nível as alternativas (Santos *et al.*, 2009).

Casarotto e Kopittke (2007), afirmam em relação as desvantagens do método AHP, ordenações finais por serem expressas por um número, pode alterar o resultado, a possibilidade de respostas incoerentes, problemas com autovetor na inserção de novas alternativas, defasagem em situações com grandes quantidades de critérios.

De acordo com Saaty (1991), para realizar uma tomada de decisão organizada, é crucial seguir estas etapas: definir o problema, estabelecer a hierarquia das opções, elaborar uma matriz de comparação entre elas e atribuir pesos às prioridades. Para construir hierarquias, é essencial primeiro definir o foco principal da análise. Em seguida, listar um conjunto de alternativas viáveis para resolver o problema e, por fim, determinar os critérios avaliativos que serão considerados para tomar a decisão (Costa, 2002). Conforme apresentada na

Figura 11.

Figura 11 – Modelo Hierárquico



Fonte: Adaptada de Gomes, (2024).

O fundamento central do Processo Analítico de Hierarquia é a construção de uma hierarquia na qual cada tomador de decisão realiza comparações em pares, avaliando cada elemento em um nível hierárquico específico. Isso resulta na criação de uma matriz de decisão quadrada na qual os elementos são comparados consigo mesmos. Cada avaliação reflete a preferência de um elemento na coluna em relação a um elemento na linha superior (Saaty, 1991).

A comparação par a par das alternativas é utilizada realizando uma escala linear própria, que varia de 1 a 9, a qual é denominada Escala Fundamental de Saaty (Quadro 1).

Quadro 1 - Escala Fundamental numérica 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 a outra (“(PDF) Aplicação da Lógica Fuzzy e do Processo de ... - ResearchGate”)
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação a 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 a 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: Adaptada Gomes, (2004).

Segundo Gomes *et al.* (2004), os resultados das comparações é uma matriz pareada, resultante dos julgamentos de um nível sob um critério. A matriz tem a forma apresentada na matriz abaixo na Figura 12.

$$A=[a_{ij}] =_{n \times n}$$

Figura 12 - Matriz Julgamento por Gomes

$$A = \begin{pmatrix} A^{11} & \dots & A^{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{n1} & \dots & A^{nn} \end{pmatrix}$$

Fonte: Adaptada Gomes, (2024).

Uma matriz de dominação é aquela que registra quantas vezes uma alternativa domina ou é dominada pelas outras. É uma matriz quadrada, pois as alternativas são comparadas em pares. Uma alternativa é considerada superior a

outra se ela dominar a outra em um maior número de fatores do que aqueles em que é dominada Gomes *et al.*, (2004).

Após o preenchimento da matriz de comparações paritárias obtém-se o autovetor peso, o qual indica a importância relativa de cada critério em relação aos demais. A literatura apresenta alguns métodos para se obter aproximações com precisão satisfatória para esses valores. Uma das possibilidades de cálculo é iniciar pela determinação da média de cada linha da matriz (Passos, 2010).

Contudo, existe uma grande discussão no meio científico sobre qual tipo de média utilizar nesse processo utilizam a média aritmética nesse cálculo Passos (2010) e Peinado *et al.*, (2016). O qual foi utilizado neste trabalho. Já para Triantaphyllou e Mann, (1995), optam por utilizar a média geométrica.

Para Gomes *et al.* (2004), umas das formas de se obter a normalização da matriz é realizada seguindo os passos descritos abaixo:

Calcula-se o somatório dos julgamentos registrados em cada coluna da matriz (A). Cria-se uma matriz normalizada, na qual cada elemento é inicializado pelo elemento da matriz original dividido pelo total da soma sua respectiva coluna. Conforme a equação abaixo equação (1).

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \text{ onde } j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

Onde:

n = número de critérios ou alternativas

a_{ij} = elemento da matriz de comparação

De acordo com Saaty, (1980), O vetor prioridade (W_i) ou (autovetor) é uma matriz desvinculada de grandezas, pois contém somente a ordem de prioridades relativa (ranking). O cálculo dos pesos é realizado com base na seguinte equação abaixo, resultando em um vetor prioridade. Conforme exposta na equação (2).

$$W_i = \frac{\sum_j^n a_{ij}}{n} = , \text{ onde } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

Onde:

w_i = vetor de prioridade

n = número de critérios ou alternativas

O resultado obtido em cada linha corresponde ao total percentual relativo de prioridades ou preferências em relação ao foco objetivo imediato. O vetor de prioridades, e a somatória de seus elementos é igual a 1, conforme a equação (3).

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (3)$$

Ainda segundo Saaty (1990), após o cálculo das prioridades locais é realizado o cálculo da consistência de tais julgamentos, deve-se verificar se todos aqueles que tomaram as decisões foram consistentes nas suas opiniões um procedimento para calcular inconsistências, o autovalor admite uma tolerância de 10% para as inconsistências.

Para o cálculo das consistências primeiramente determina-se a soma dos valores ponderados (W), através da multiplicação entre a matriz comparativa (A) e sua respectiva prioridade (w_i). Conforme a equação (4).

$$W = A * w_i \quad (4)$$

Onde:

W = vetor resultante

A = matriz comparativa

Após realizar a operação da soma é necessário que se calcule o autovalor da matriz obtida ($\lambda_{m\acute{a}x}$). O ($\lambda_{m\acute{a}x}$) é a média aritmética da divisão da soma dos valores ponderamos (W) pelo autovetor (Wi), conforme abaixo a equação (5).

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[W]i}{wi} \quad (5)$$

Segundo Saaty (2011), para o próximo passo, calcula-se o índice de consistência (IC), propõe o seguinte procedimento conforme equação (6).

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Onde:

$\lambda_{m\acute{a}x}$: é o autovalor máximo

IC: são o índice de consistência do julgamento realizado

n=é a ordem da matriz de julgamento

Após calcular (IC), Saaty (1980), propõe o cálculo de Razão de Consistência (RC), obtida pela equação (7).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (7)$$

Onde:

RC= razão de consistência

IC= índice de consistência

IR= índice randômico

Conforme Saaty (1991), o índice randômico (IR), é o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada, randomicamente, pelo laboratório Oak Ridge. A Tabela 1, mostra a tabela IR contendo os índices randômicos calculados pelo laboratório Oak Ridge, para matrizes recíprocas quadradas de ordem n (Saaty 1980 apud Gomes *et al.*, (2004, p 46).

Adota-se que $IC/RC < 0,10$ o grau de consistência é satisfatório, mas se $IC/RC > 0,10$ podem existir inconsistências e o AHP não pode dar resultados significativos. Quando o grau de consistência não é satisfatório é necessário realizar uma nova coleta de informações nos critérios a partir de novas julgamentos.

Tabela 1 – Valores IR para matrizes quadradas ordem n

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,00	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptada Gomes (2024).

No caso de se utilizar vários decisores para o julgamento dos critérios estabelecidos, cada decisor gera um vetor final de pesos. Para combinar esses vetores de pesos em uma única representação para esse trabalho utilizou-se média geométrica.

De acordo com Passos (2010), esta abordagem preserva a proporcionalidade e é robusta contra discrepâncias extremas nas avaliações individuais. Para Wolff (2008), ainda se destaca que a única média que funciona é a média geométrica, pois o recíproco da média geométrica em um conjunto de julgamentos é a média geométrica dos recíprocos, obedecendo ao princípio de reciprocidade da Escala Fundamental de Saaty, equação (8).

$$\frac{(\prod_{k=1}^m a_{ij})^1}{m} = \sqrt[m]{a_{ij} * a_{ij} * \dots * a_{ij}_m} \quad (8)$$

Onde:

a_{ij} = representa os valores individuais no conjunto para calcular a média geométrica

m = é o número total de valores no conjunto.

\prod = indica o produto de todos os valores a_{ij} , para k , variando de 1 até m .

Para se obter a prioridade global das alternativas é preciso multiplicar o vetor linha de cada alternativa pelo vetor prioridade dos critérios, desta forma, a alternativa que obtiver maior valor é a que deve ser escolhida (Saaty, 1991). Conforme equação (9).

$$AGAi = \sum_{j=1}^n W_{cnj} * W_{Anij} \quad (9)$$

Onde:

W_{cj} = é o peso do critério

W_{Anij} = é a nota ou o valor da alternativa com relação ao critério.

A aplicação deste método, os materiais e os softwares utilizados são descritos no método desta pesquisa, próximo item do trabalho.

2.6. Aplicações do Método AHP em Recursos Hídricos no Brasil

Pacheco *et al.* (2018) aplicaram o método AHP para identificar áreas adequadas para a construção de pequenas barragens, no município de Visconde do Rio Branco no estado de Minas Gerais.

A partir da análise dos dados foi possível concluir que a utilização do método AHP aplicado em ambiente SIG é eficiente no auxílio a tomada de decisão, mesmo esse método detenha algumas limitações tais como, a correta definição dos pesos estatísticos do modelo, a necessidade de ir a campo para confrontar os resultados e principalmente a falta de trabalhos relacionados a construção de barraginhas. Ainda assim o método se mostrou neste caso um importante instrumento de auxílio a escolha das áreas mais aptas a construção das barraginhas.

Boas (2005), O método AHP é utilizado para auxiliar as decisões quanto modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da barragem do ribeirão João Leite.

O modelo desenvolvido provê uma lista ordenada das alternativas de uso múltiplo possíveis de serem implantadas no reservatório. A alternativa de geração de energia hidrelétrica obteve a maior ordem de prioridade. A aplicação do AHP também evidenciou dificuldades com o uso da análise multicritérios. O método exige um grande número de comparações para

estabelecer as preferências dos decisores, requer muita habilidade do facilitador para estruturar o modelo e analisar os julgamentos dos decisores e, principalmente, é necessário que os decisores estejam dispostos e comprometidos a participar de todo o processo.

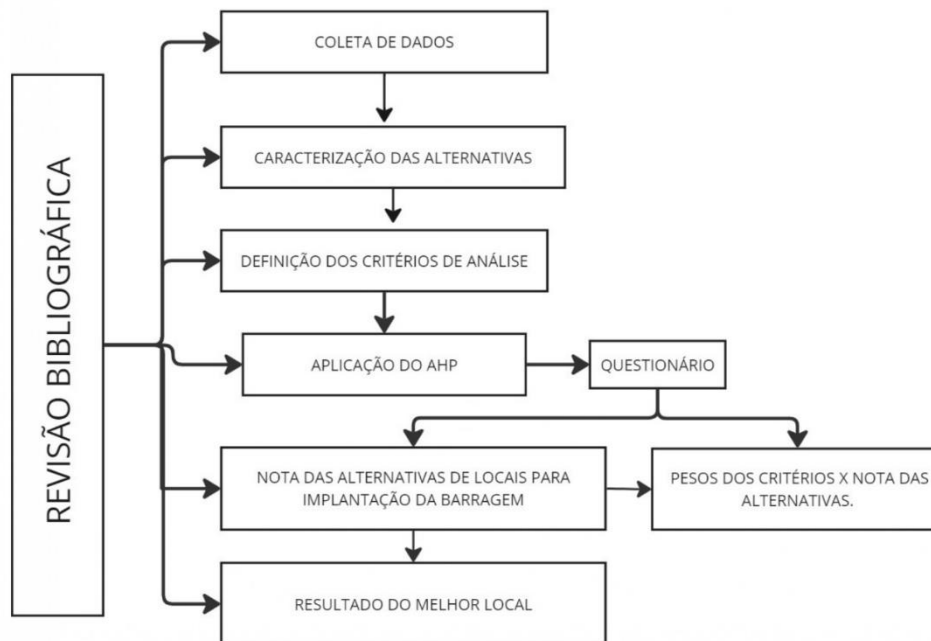
França (2006), utilizou o método de análise hierárquica para identificar a alternativa de exploração de barragem subterrânea que gera maiores benefícios às comunidades. Objetivo da tese do autor foi analisar a sustentabilidade das barragens subterrâneas, do Estado do Ceará, como uma tecnologia social para convivência como semiárido. O Método de Análise Hierárquica (AHP) e o métodos como o Painel de Sustentabilidade (Dashboard of Sustainability) foi utilizado na análise detalhada sobre a sustentabilidade das barragens subterrâneas no Estado do Ceará. A pesquisa envolve uma avaliação sob diferentes dimensões (econômica, social, ambiental e institucional), e o estudo conclui que as barragens subterrâneas ainda não atingiram níveis satisfatórios de sustentabilidade, especialmente no aspecto econômico.

3. MÉTODO

O desenvolvimento deste trabalho iniciou-se pela revisão de literatura inerente a barragens de terra, buscando informações em fontes oficiais, artigos e teses sobre critérios técnicos para escolha do local apropriado para implantá-la. A revisão bibliográfica foi aprofundada com foco na análise multicritério. Optou-se pelo método Analytic Hierarchy Process (AHP), para auxiliar na tomada de decisão sobre a escolha do local adequado para a implantação da barragem de abastecimento.

Paralelamente iniciou-se a busca por dados para a caracterização, e consequente comparação, de duas alternativas de locais, para implantar a barragem de terra, objeto de análise. Obteve-se assim, documentos elaborados por empresa especializada no projeto, execução e operação de barragens, sendo que, por questão de sigilo, o nome da empresa e dos empreendimentos não serão divulgados nesta pesquisa. A Figura 13, mostra a sequência metodológica da pesquisa.

Figura 13 – Fluxograma da pesquisa



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Os dados coletados com a empresa são descritivos, e constam em relatórios de estudo técnicos, os quais são elaborados para cada empreendimento e contém levantamentos para elaboração de projeto. Tais dados podem ser obtidos na forma de texto ou ainda na forma de valores, ou seja, há dados qualitativos e quantitativos. Os tipos de critérios a serem avaliados por especialistas para cada alternativa de locação foram obtidos destes relatórios, uma vez que eles já obedecem a diretrizes dos órgãos reguladores nacionais como a ANA. Estabeleceu-se, portanto, a partir da análise destes relatórios e da revisão da literatura resultou em um conjunto abrangente e robusto de critérios, os critérios a serem avaliados e hierarquizados em grau de importância: Hidráulico/hidrológico, ambiental, interferências, qualidade d'água e financeiro econômico.

A seguir faz-se uma descrição destes critérios utilizados como base para a análise e avaliação realizada no presente estudo Quadro 2.

Quadro 2 – Relação de indicadores

Crítérios	Subcritérios	Relação geral dos critérios
Hidráulico/hidrológico	Vazão Captada (m ³ /s)	Quantidade de água retirada de uma fonte hídrica, parâmetro é crucial para avaliar o uso e a gestão dos recursos hídricos.
Ambientais	Meio Biótico	Aspectos ambientais associados a APPS, AFF, AS.
	Meio Físico	Aspectos ambientais relacionados diretamente à área alagada, processos minérios na ADA e trecho do rio alagado.
	Meio socioeconômico	Aspectos ambientais ligados à dinâmica populacional e de infraestrutura pública, bem como ao patrimônio cultural, histórico, artístico, espeleológico e arqueológico da área diretamente e indiretamente influenciada.
Interferências	Rede de Transmissão	Redes de transmissão dentro de uma bacia antes da implantação de uma barragem é fundamental para garantir a eficiência, segurança e viabilidade do projeto, além de facilitar a integração da energia hidrelétrica na rede elétrica região.
Qualidade d'água	Vazão Incremental	Referente ao ponto de captação, que em termos de qualidade d'água é mais favorável.
Financeiro	Custo (mi R\$)	Corresponde ao somatório dos custos supracitados, ou seja, os custos socioambientais e compensatório, de construção da barragem, de remoção da vegetação.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Uma vez estabelecidos os 5 critérios, aplicou-se um método para hierarquizá-los aplicando-se o método AHP para tal. Nesta etapa, convidou-se profissionais com experiência de atuação nas áreas de engenharia, para preenchimento de um questionário, onde se perguntou qual a importância que o avaliador dava para um critério em relação a outro. Basicamente o questionário foi dividido em três partes (Apêndice B), uma introdutória onde se explicou o tema da pesquisa, uma segunda parte com uma breve explicação do método AHP e sobre os critérios a serem analisados e, uma terceira parte com 10 (dez) perguntas que atribuíam pontos aos critérios analisando-os par a par como segue:

1. Qual importância tem o critério Hidráulico/hidrológico em relação ao Ambiental?
2. Qual importância tem o critério Hidráulico/hidrológico em relação a Interferência?
3. Qual importância tem o critério Hidráulico/hidrológico em relação ao Qualidade d'água?
4. Qual importância tem o critério Hidráulico/hidrológico em relação ao Econômico Financeiro?
5. Qual importância tem o critério Ambiental em relação a Interferência?
6. Qual importância tem o critério Ambiental em relação a Qualidade d'água?
7. Qual importância tem o critério Ambiental em relação ao Econômico Financeiro?
8. Qual importância tem o critério Interferência em relação a Qualidade d'água?
9. Qual importância tem o critério Interferência em relação ao Econômico Financeiro?
10. Qual importância tem o critério Qualidade d'água em relação ao Econômico Financeiro?

Este questionário foi elaborado num formulário google e enviado por e-mail para os avaliadores. Para garantir a participação de um número significativo de respondentes, foi realizado o envio de e-mails contendo o questionário para um total de 25 decisores selecionados profissionais da área de engenharia.

Os e-mails foram enviados entre abril e junho/2024. O questionário foi por via link adicionado aos e-mails, e os destinatários foram instruídos a preenchê-lo e devolvê-lo dentro do prazo estabelecido. Dentre os 25 e-mails enviados, 12 respostas foram recebidas e 3 foram descartadas. É importante notar que, apesar do número de respostas, a análise foi realizada com base na qualidade das respostas obtidas e na consistência das informações fornecidas. Uma vez respondidos os questionários, partiu-se para o cálculo do peso atribuído aos critérios de cada avaliador.

Os cálculos do AHP foram realizados no Excel para facilitar a análise e a manipulação dos dados. O processo de cálculo incluiu os seguintes passos:

Criação das Matrizes de Comparação: Utilizando o Excel, foram criadas matrizes de comparação pareada para os critérios e cada célula da matriz representava a comparação entre dois elementos, com valores atribuídos pelo decisores de acordo com a escala de importância de Saaty.

Normalização das Matrizes: Para cada matriz, os valores foram normalizados. Isso foi feito dividindo cada elemento pelo total da coluna correspondente, o que resultou em uma matriz onde as colunas somavam 1.

Cálculo dos Vetores de Prioridade: A média das linhas da matriz normalizada foi calculada para obter os vetores de prioridade, que representam a importância relativa dos critérios.

A matriz de comparação original (A), foi multiplicada pelo vetor de prioridade (W_i), após somou cada linha dessa matriz, obtendo-se um novo vetor W . Cada elemento deste vetor resultante foi então dividido pelo correspondente elemento do vetor de prioridade W_i , e a média desses valores foi calculada. O valor obtido nesta média representa o autovalor principal λ_{\max} .

Para verificar a consistência das comparações, foi calculado o índice de consistência (IC) e a razão de consistência (RC), seguindo as equações do AHP. Esses índices ajudaram a garantir que as comparações realizadas foram consistentes e válidas para este estudo.

Assim, obteve-se como método AHP o peso que cada um dos critérios tem no momento de tomada de decisão. Num outro momento, a partir da análise dos relatórios de cada empreendimento (cada alternativa de local de implantação), tabelou-se uma nota, ou seja, uma pontuação, obtida em função das características

físicas e financeiras da proposta. Algumas destas características já se encontravam na forma quantitativa, outras na forma qualitativa e, portanto, precisava-se padronizá-las, de modo que a pontuação total de cada critério fosse igual, deixando-se apenas o peso do critério estabelecido pelo método AHP a influenciar na tomada de decisão.

Sendo assim, para aplicar uma nota às alternativas dos locais, estabeleceu-se que cada um dos 5 critérios pode fornecer uma pontuação total de 1 a 45 pontos.

- a) Para o **critério hidráulico/hidrológico** pontua-se a vazão em metros cúbicos por segundo (m^3/s). Quanto maior a vazão, melhor será a alternativa de implantação pois, terá mais condições de geração de energia e, portanto, maior será a pontuação obtida. Para uma vazão superior 2000 m^3/s será atribuído valor de 45 pontos, para vazão menor de 1000 m^3/s será atribuído valor de 1 e, para valores intermediários, valores parciais.
- b) No que se refere ao **critério ambiental**, foi necessário primeiro dar uma nota para todos os meios, realizando a média dos meios físico, biótico e socioeconômico, para obter somente uma nota de qual peso ter maior ou menor impacto. Em resumo, esta escala de pontuação de 1 a 5 é utilizada para avaliar três parâmetros ambientais chave. Para cada parâmetro, uma pontuação mais alta (próxima de 5) indica um impacto menor, enquanto uma pontuação mais baixa (próxima de 1) indica um impacto maior. Esta metodologia permite uma avaliação comparativa clara e facilita a tomada de decisões baseadas na minimização dos impactos ambientais.
 - i. Na avaliação do *subcritério meio físico* foram considerados três pontos a serem analisados: área alagada, área diretamente afetada e extensão dos cursos d'água atingidos; o número de processos minerários interceptando a área do reservatório e extensão dos cursos d'água atingidos pelo reservatório. Cada um deles pontua de um a cinco, com uma pontuação máxima total de 15 e mínima de 3.
 - ii. Na avaliação do *subcritério meio biótico* considerou-se as seguintes tipologias de áreas atingidas pelo reservatório (alagada): as áreas de preservação permanente (APPS); áreas de formação florestal (AFF), e áreas de silvicultura (AS). Para estas, utilizou-se uma escala de 1 a 5, para cada área, ou seja, ao final, tem-se um valor máximo de 15 pontos

e um valor mínimo de 3 pontos para pontuar o meio biótico. Os valores menores em área impactada são considerados melhores, indicando, portanto, menor área atingida e recebendo maior pontuação.

iii. No que se refere ao *subcritério socioeconômico* quantificou-se ocorrência de bens na área de influência direta (AID), bem como o número de comunidades tradicionais na ADA (área diretamente afetada) e na área de influência direta (AID). Assim como nos outros itens utilizou-se uma escala de 1 a 5, onde valores menores são considerados melhores, indicando menor impacto ambiental.

- c) Já sobre o **critério interferências**, referente a Rede de Transmissões, as alternativas serão pontuadas com base na presença ou ausência de interceptação da área. A pontuação será atribuída de acordo com a seguinte escala: "Sim" (intercepta a área) receberá a pontuação 1, e "Não" (não intercepta a área) receberá a pontuação 45. Esse sistema de pontuação facilita a avaliação dos locais em termos de impacto e viabilidade relacionados à rede de transmissão elétrica.
- d) Para o **critério de qualidade da água** referente à captação de vazão incremental, as pontuações serão atribuídas com base na favorabilidade da qualidade da água. A pontuação varia de 1 a 45, onde 1 representa uma qualidade de água desfavorável e 45 representa uma qualidade de água altamente favorável. Esse sistema de pontuação ajuda a identificar os locais mais adequados para a implantação da barragem, priorizando aqueles com melhores condições de qualidade da água.
- e) Para o **critério econômico-financeiro**, avaliou-se o custo estimado, quanto menor o valor, melhor será a alternativa de implantação pois, terá custo baixo e, portanto, maior será a pontuação obtida. Para valor superior 1.500 Mi será atribuído valor de 1 ponto, para valor menor de 500 mi será atribuído valor de 45 e, para valores intermediários, valores parciais.

Após a definição dos pesos dos critérios e a atribuição de notas aos locais, a avaliação final foi realizada multiplicando o vetor de prioridade de cada alternativa pelo vetor de prioridade dos critérios de acordo com a equação (9). Essa multiplicação gerou um valor para cada alternativa, refletindo a sua adequação geral com base nos

critérios estabelecidos. A alternativa que apresentou o maior valor resultante dessa multiplicação foi selecionada como a melhor opção para a implantação da barragem, conforme determinado pelo método AHP. Esse processo garantiu que a escolha do local fosse baseada em uma análise quantitativa e ponderada, considerando a importância relativa de cada critério na decisão final.

O software empregado para executar os cálculos necessários foi a planilha eletrônica Excel.

Nos subitens a seguir detalha-se como foram analisados os critérios a partir dos dados dos relatórios, a partir da caracterização dos locais de alternativas para implantação da barragem, bem como os valores totais e parciais atribuídos a cada um dos critérios.

3.1. Caracterização das Alternativas de Local de Implantação da Barragem

As duas alternativas obtidas junto à empresa localizam-se no sul do Brasil, para escolha dos locais a análise se concentrará exclusivamente na dimensão quantitativa, sem considerar detalhadamente os impactos ambientais específicos. A escolha de focar apenas na quantidade se justifica pela necessidade de fornecer uma visão geral da magnitude da intervenção se caso necessário. Isso nos permite avaliar e comparar as alternativas de locais com base nas quantificações. Embora a análise detalhada dos impactos ambientais, seja de fundamental importância, será abordada breve resumo dos locais para melhor entendimento.

3.1.1. Caracterização hidráulico/hidrológica

O cálculo da vazão captada para a implantação de uma barragem é essencial para garantir que a estrutura possa atender à demanda de água e operar eficientemente. O processo envolve etapas como dados históricos de vazão dos rios ou cursos d'água que serão represados, o que inclui vazões médias mensais e anuais, além de volume do reservatório etc. Para análise desses estudos foi disponibilizado somente o valor de vazão captada, para os locais de estudo, sem detalhes sobre dimensionamentos.

3.1.2. Características Ambientais

a) Meio Físico

Para análise da área a ser alagada com o enchimento do reservatório, refere-se à extensão da terra, que será submersa quando o reservatório da barragem atingir sua capacidade máxima.

O número de processos minerários interceptando a (ADA), é número de processos minerários que estão localizados ou em operação dentro da (ADA).

A extensão dos cursos d'águas atingidas pelo reservatório, refere-se ao comprimento dos rios, córregos e outros corpos d'água naturais, que podem ser impactados pela construção do reservatório d'água.

b) Meio Biótico

Para analisa das áreas de silvicultura a importância de obter sua quantificação da área de silvicultura que poderá ser submersa ou impactada com o enchimento do reservatório. Isso ajuda a entender a magnitude caso ocorra o impacto e a necessidade de compensações ou ações mitigadoras

Para a analisar áreas de formação florestal obter sua quantificação das possíveis áreas serão afetadas pelo reservatório, ajuda para uma futura identificação dos tipos de vegetação, como floresta tropical, subtropical, ou outras formações vegetais específicas da região.

Para as áreas de preservação permanente (APPs) obter sua quantificação atingidas pelo reservatório, ajuda a compreender quais são destinadas à preservação de recursos naturais e à manutenção da qualidade ambiental.

c) Meio socioeconômico

A quantificação dos aspectos ambientais ligados à dinâmica populacional e de infraestrutura pública, bem como ao patrimônio cultural, histórico, artístico, espeleológico e arqueológico da área diretamente e indiretamente influenciada. A Área de Influência Direta (AID) abrange uma área mais ampla, e inclui todas as zonas

potencialmente impactadas pelo projeto. Área Diretamente Afetada (ADA) é uma área mais restrita, focada nos locais onde os impactos são mais severos e diretos.

3.1.3. Características das interferências

Caracterização corresponde ao levantamento e quantificação de interferências contidas na área a ser alagada, ou seja, a infraestrutura e estruturas que seriam interceptadas pela extensão do reservatório, e conseqüentemente desapropriadas são as seguintes: Redes primárias e secundárias e de transmissão de energia elétrica, bem como seus postes de distribuição e postes-transformadores.

3.1.4. Qualidade d'água

Para avaliar a qualidade da água buscou-se o enquadramento do corpo hídrico de captação para área em estudo. Em todos os locais de coleta foram contemplados, no mínimo, os seguintes parâmetros básicos: pH, T °C ar, T °C água, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, condutividade, DBO, fósforo total, Nitrogênio orgânico, Nitrito, Nitrato, amônia, dureza e parâmetros bacteriológicos.

3.1.5. Características Econômica – Financeiras

Para este estudo a análise econômico-financeira levou em consideração os custos para a implantação de uma barragem de terra, além de uma estimativa de custos para fins comparativos. Tais como:

- i. *Custos socioambientais*: Refere-se aos custos relacionados aos impactos que o projeto tem sobre as comunidades e o meio ambiente.
- ii. *Custos compensatórios*: São despesas associadas a ações para mitigar ou compensar os danos causados pelo projeto. Por exemplo, isso pode envolver a restauração de áreas degradadas, programas de compensação para as comunidades afetadas, ou investimentos em projetos de conservação.

- iii. *Custos de remoção da vegetação*: Refere-se aos gastos com a retirada da vegetação existente no local onde a barragem será construída. Isso pode envolver a remoção de árvores, arbustos e outros tipos de vegetação, além do possível custo de manejo e disposição dos resíduos vegetais.

3.2. Pontuação para Alternativas de Implantação

No método AHP, além dos pesos atribuídos a cada critério, é necessário atribuir, para cada alternativa de locação de barragem analisada, uma pontuação em função de sua melhor ou pior aptidão àquele critério. Para tanto, desenvolveu-se uma forma de pontuar os critérios a partir da análise de relatórios pré-existentes de cada uma delas, onde consta a descrição hidráulica/hidrológico, ambiental, interferências, qualidade da água e econômico-financeiro. Os subitens abaixo descrevem como se determinou a pontuação para cada critério analisado.

3.2.1. Hidráulico/Hidrológico

Para o critério hidráulico/hidrológico analisa-se a vazão em metros cúbicos por segundo (m^3/s), conforme apresentando no método.

Tabela 2 - Pontuação Hidráulica /Hidrológico

Pontuação	Intervalos(m^3/s)
45	Maior que 2000
30	1501 a 2000
25	1251 a 1500
15	1001 a 1250
1	Menor que 1000

Fonte: Elaboração Própria (2024).

3.2.2. Ambiental

a) Meio Físico

Conforme apresentando no método, para avaliar a área a ser alagada pelo reservatório, utilizamos uma escala de 1 a 5, onde valores menores são considerados melhores, indicando menor impacto ambiental, a classificação é realizada conforme apresentando no método.

- Pontuação 1: Atribuída quando a área alagada é superior a 401 hectares. Este é o pior cenário.
- Pontuação 2: Atribuída quando a área alagada está entre 301 e 401 hectares.
- Pontuação 3: Atribuída quando a área alagada está entre 201-301 hectares.
- Pontuação 4: Atribuída quando a área alagada está entre 101 e 200 hectares.
- Pontuação 5: Atribuída quando a área alagada é inferior a 100 hectares. Este é o melhor cenário.

Para avaliar o número de processos minerários interceptando a área do reservatório na (ADA), também utilizamos uma escala de 1 a 5, onde menos processos, indicam menor impacto, a classificação é realizada conforme apresentando no método.

- Pontuação 1: Atribuída quando o número de processos minerários interceptando a (ADA) é superior a 6.
- Pontuação 2: Atribuída quando o número de processos minerários interceptando a (ADA) é exatamente 6.
- Pontuação 3: Atribuída quando o número de processos minerários interceptando a (ADA) é exatamente 5.
- Pontuação 4: Atribuída quando o número de processos minerários interceptando a (ADA) é 4.

- Pontuação 5: Atribuída quando o número de processos minerários interceptando a (ADA) é 3 ou menos.

Para avaliar a extensão dos cursos d'água atingidos pelo reservatório, também se utilizou uma escala de 1 a 5, onde menores extensões são preferíveis, indicando menor impacto ambiental e obtendo maior pontuação, a classificação é realizada conforme apresentando no método.

- Pontuação 1: Atribuída quando a extensão dos cursos d'água atingidos é superior a 25,1 km.
- Pontuação 2: Atribuída quando a extensão dos cursos d'água atingidos está entre 20,1 e 25 km.
- Pontuação 3: Atribuída quando a extensão dos cursos d'água atingidos está entre 15,1 e 20 km.
- Pontuação 4: Atribuída quando a extensão dos cursos d'água atingidos está entre 10,1 e 15 km.
- Pontuação 5: Atribuída quando a extensão dos cursos d'água atingidos é inferior a 1 a 10 km.

Tabela 3 - Pontuação Meio Físico

Área Alagada (ha)		Nº Processos minerários na (ADA)		Extensão do rio a ser alagado (km)	
Pontuação	Intervalo (hectares)	Pontuação	Intervalo (número de processos)	Pontuação	Intervalo (km)
1	> 401	1	> 6	1	> 25,1
2	301– 400	2	5	2	20,1 - 25
3	201 – 300	3	3	3	15,1 - 20
4	101 – 200	4	2	4	10,1 - 15
5	< 100	5	≤ 1	5	<10

Fonte: Elaboração Própria (2024).

b) Meio Biótico

Para avaliar a atribuída quando área de preservação permanente APPS, também se utilizou uma escala de 1 a 5, onde menores extensões são preferíveis, indicando menor impacto ambiental e obtendo maior pontuação, a classificação é realizada conforme apresentando no método.

- Pontuação 1: Atribuída quando área de preservação permanente APPS atingidas pelo reservatório é superior a 121 hectares. Este é o pior cenário.
- Pontuação 2: Atribuída quando a área alagada está entre 91 e 120 hectares.
- Pontuação 3: Atribuída quando a área alagada está entre 61 e 90 hectares.
- Pontuação 4: Atribuída quando a área alagada está entre 31 e 60 hectares.
- Pontuação 5: Atribuída quando a área alagada é inferior a 30 hectares. Este é o melhor cenário.

Para avaliar a atribuída quando áreas de formação florestal atingidas pelo reservatório, também se utilizou uma escala de 1 a 5, onde menores extensões são preferíveis, indicando menor impacto ambiental e obtendo maior pontuação, a classificação é realizada conforme apresentando no método.

- Pontuação 1: Atribuída quando áreas de formação florestal atingidas pelo reservatório é superior a 301 hectares. Este é o pior cenário.
- Pontuação 2: Atribuída quando a área alagada está entre 201 e 200 hectares.
- Pontuação 3: Atribuída quando a área alagada está entre 101 e 200 hectares.
- Pontuação 4: Atribuída quando a área alagada está entre 50 e 100 hectares.

- Pontuação 5: Atribuída quando a área alagada é inferior a 10 hectares. Este é o melhor cenário.

Para avaliar a atribuída quando áreas de silvicultura atingidas pelo reservatório pelo reservatório, também se utilizou uma escala de 1 a 5, onde menores extensões são preferíveis, indicando menor impacto ambiental e obtendo maior pontuação, a classificação é realizada conforme apresentando no método.

- Pontuação 1: Atribuída quando Áreas utilizadas para Silvicultura atingidas pelo reservatório é superior a 10 hectares. Este é o pior cenário.
- Pontuação 2: Atribuída quando a área alagada está entre 6 e 8 hectares.
- Pontuação 3: Atribuída quando a área alagada está entre 4 e 6 hectares.
- Pontuação 4: Atribuída quando a área alagada está entre 2 e 4 hectares.
- Pontuação 5: Atribuída quando a área alagada é inferior a 1 hectares. Este é o melhor cenário.

Tabela 4 - Pontuação Meio Biótico

Atingidas pelo reservatório (ha)					
APPs		Formação Florestal		Silvicultura	
Pontuação	Intervalo (ha)	Pontuação	Intervalo (ha)	Pontuação	Intervalo (ha)
1	> 121,00	1	> 200	1	> 10,00
2	91-120	2	121-160	2	6-8
3	61-90	3	81-120	3	4-6
4	31-60	4	40-80	4	2-4
5	< 31	5	< 10	5	< 1

Fonte: Elaboração Própria (2024).

c) Meio Socioeconômico

Para avaliar a ocorrência de bens na (AID), assim como ocorrência de comunidades tradicionais na (AID) e (ADA), também se utilizou uma escala de 1 a 5, onde menores valores são preferíveis, indicando menor impacto ambiental e obtendo maior pontuação, a classificação é realizada conforme apresentando no método.

Pontuação 1: Atribuída quando ocorrência de bens na Área Influência Direta (AID) é superior a 41 este é o pior cenário.

- Pontuação 2: Atribuída quando a área alagada está entre 31 e 40 hectares.
- Pontuação 3: Atribuída quando a área alagada está entre 21 e 30 hectares.
- Pontuação 4: Atribuída quando a área alagada está entre 11 e 20 hectares.
- Pontuação 5: Atribuída quando a área alagada é inferior 10. Este é o melhor cenário.

Ocorrência de comunidades tradicionais na Área Influência Direta (AID):

- Pontuação 1: Ocorrência de comunidades tradicionais na área influência direta é superior a 41 este é o pior cenário.
- Pontuação 2: Ocorrência de comunidades tradicionais está entre 31 e 40 hectares.
- Pontuação 3: Ocorrência de comunidades tradicionais está entre 21 e 30 hectares.
- Pontuação 4: Ocorrência de comunidades tradicionais está entre 11 e 20 hectares.
- Pontuação 5: Ocorrência de comunidades tradicionais é inferior a 10 hectares. Este é o melhor cenário.

Ocorrência de comunidades tradicionais na Área diretamente afetada (ADA):

- Pontuação 1: Ocorrência de comunidades tradicionais na área diretamente afetada é superior a 41 este é o pior cenário.
- Pontuação 2: Ocorrência de comunidades tradicionais está entre 31 e 40 hectares.
- Pontuação 3: Ocorrência de comunidades tradicionais está entre 21 e 30 hectares.
- Pontuação 4: Ocorrência de comunidades tradicionais está entre 11 e 20 hectares.
- Pontuação 5: Ocorrência de comunidades tradicionais é inferior a 10 hectares. Este é o melhor cenário.

Tabela 5 - Pontuação Meio Socioeconômico

Bens culturais		Ocorrência de comunidades tradicionais			
(na AID)		(AID)		(ADA)	
Pontuação	Intervalo	Pontuação	Intervalo	Pontuação	Intervalo
1	> 41	1	> 41	1	> 41
2	31-40	2	31-40	2	31-40
3	21-30	3	21-30	3	21-30
4	11-20	4	11-20	4	11-20
5	>10	5	>10	5	>10

Fonte: Elaboração Própria (2024).

3.2.3. Interferências

Para esse critério de Rede de Transmissões, a pontuação será atribuída de acordo apresentando no método.

- Pontuação 1: Atribuída área interceptada pela rede de transmissão, receberá pontuação de 1, este é o pior cenário.

- Pontuação 2: Atribuída área interceptada pela rede de transmissão, receberá 45, este o melhor cenário.

Tabela 6 - Pontuação Interferências

Redes de transmissões (unid.)	
Pontuação	Intercepta
1	SIM
45	NÃO

Fonte: Elaboração Própria (2024).

3.2.4. Qualidade d'água

Para o critério de qualidade da água referente à captação de vazão incremental, conforme apresentando no método.

- Pontuação 1: Atribuída para qualidade, este é o pior cenário.
- Pontuação 45: Atribuída para qualidade, este é o melhor cenário.

Tabela 7 - Pontuação Qualidade d'água

Captação Incremental	
Pontuação	Interfere no local?
1	SIM
45	NÃO

Fonte: Elaboração Própria (2024).

3.2.5. Econômico – Financeiro

O critério econômico-financeiro analisado a partir dos dados obtidos em relatório conforme no método. Neste caso, visando a economicidade, pontuou-se as alternativas de modo que, quanto maior o investimento necessário, menor a pontuação obtida.

Tabela 8 - Pontuação Econômico-financeiro.

Custo (milhões de reais)	Pontuação
Maior que 1.400	1
De 1.101 a 1400	10
De 751 a 1.100	20
De 501 a 750	30
Até 500	45

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Uma vez estabelecida toda a pontuação para cada critério e os respectivos pesos, determina-se qual a melhor alternativa de locação da obra, como é demonstrado no item a seguir.

4. RESULTADOS

Neste item, são apresentadas as descrições dos locais analisados, com base nas informações fornecidas pela empresa.

4.1. Caracterização dos Locais

I. Estudo de vazões

Para os locais em estudo foi somente obtido os dados finais de vazão captada, esses valores foram de 2,639 m³/s local A e 2,436 m³/s local B.

II. Climatologia

A temperatura nos locais da região em estudo é bem distribuída ao longo do ano, com uma média anual variando entre 17,5 e 17,8 °C. As máximas variam de 27,2 a 27,4 °C, enquanto as mínimas ficam entre 8,2 e 9,3 °C.

III. Geologia

Os dois locais apresentam uma complexa interação entre suas características geológicas, hidrogeológicas. A geologia dos locais são compostas predominantemente por rochas ígneas plutônicas e rochas metamórficas, enquanto a

hidrogeologia é caracterizada por um aquífero pré-cambriano com unidades hidrogeológicas fraturadas.

IV. Solos

Os locais de estudo apresentam as áreas contém latossolos com baixa suscetibilidade à erosão, argissolos e gleissolos, ambos com alta suscetibilidade à erosão.

V. Vegetação

Os locais de estudo, possuem uma vasta biodiversidade e muitas áreas protegidas como parques ambientais, áreas de proteção ambientais e corredores de biodiversidade que auxiliam na proteção da riqueza natural existente,

A vegetação original é composta por floresta ombrófila mista, mas atualmente a área é dominada por vegetação secundária sem palmeiras e áreas antrópicas.

VI. Unidades de Conservação

As zonas prioritárias para a conservação da biodiversidade são importantes devido à presença de espécies de avifauna ameaçadas, como o (macuquinho-do-brejo) e a provável ocorrência de espécies endêmicas do bioma Mata Atlântica não confirmadas.

VII. Declividade

A declividade dos locais das áreas em estudo, podem variar de 3 a 20% podendo apresentar relevo suave ondulado, ondulado e menores porções de relevo forte ondulado. Essa variação nas declividades está relacionada com as subunidades morfoesculturais em que se localizam, estando os reservatórios sobre terrenos menos declivosos.

VIII. Uso ocupação do solo

O uso e ocupação do solo variam entre agricultura anual, áreas urbanizadas, corpos d'água, pastagem, plantios florestais, e áreas de solo exposto devido à mineração. Além disso encontra-se a presença de diversas edificações e imóveis, como indústrias, residências e comércios.

IX. Qualidade d'água

Os locais em estudo têm características distintas no que se refere a qualidade d'água, o local B apresenta características de média suscetibilidade a erosão e nível mediano de condições para alteração da qualidade da água. Já Local A tem características majoritárias de baixa suscetibilidade a erosão e menores condições para alteração da qualidade da água.

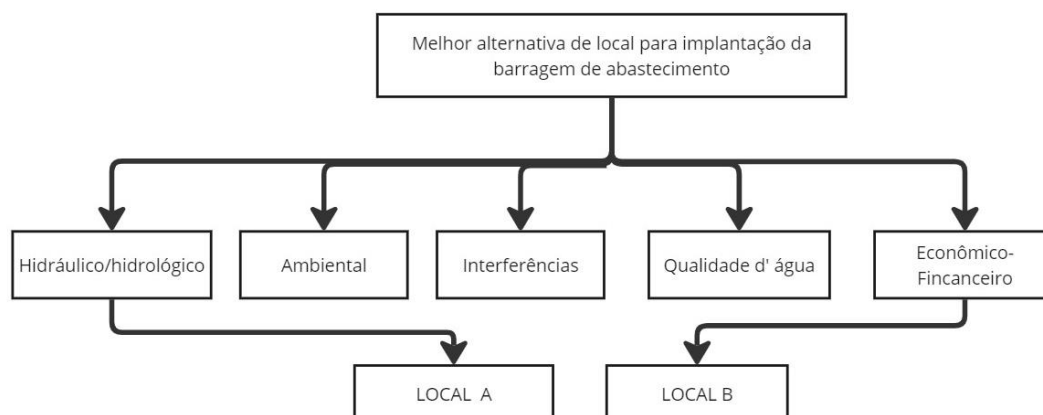
X. Minérios

No que tange aos direitos minerários, os locais em estudo possuem autorização para o aproveitamento mineral. Mas não possível a caracterização de quais são os minerais presentes nas regiões.

4.2. Aplicação da Análise de Processo de Hierarquia

Neste item apresenta-se os resultados obtidos pelo método AHP, a aplicação do método seguiu o passo a passo demonstrado no item 2.5.

A estrutura hierárquica foi construída em 3 níveis como apresentada na Figura 14. Os critérios e alternativas foram explicados no método.

Figura 14 – Estrutura de hierarquia

Fonte: Elaboração própria (2024).

A partir do questionário aplicado, disponível no APÊNDICE B, realizou-se as devidas comparações par a par conforme descrito no método desta pesquisa. A partir dos julgamentos iniciais do decisores, montou-se uma primeira matriz de comparações pareadas dos critérios. Com base na resposta do primeiro decisor, obteve-se a matriz de julgamento.

Nesta etapa foi realizada a soma da matriz de julgamento conforme apresentado abaixo na Tabela 9. A fim de exemplificar os cálculos realizados em planilha eletrônica, será tomado como exemplo os valores obtidos para o Decisor 1, cujos dados seguem nas tabelas que seguem.

O primeiro passo, foi obter-se a soma dos valores de cada coluna, obtendo-se assim um valor para cada critério.

Tabela 9 - Matriz de Julgamento (A) do Decisor 1

CRITÉRIOS	Hidráulico/Hidro lógico	Ambient ais	Interferên cias	Qualidade d'água	Econômico- Financeiro
Hidráulico/Hidro lógico	1	1	3	3	3
Ambientais	1,00	1	3	3	4
Interferências	0,33	0,33	1	3	3
Qualidade d'água	0,33	0,33	0,33	1	4
Econômico- Financeiro	0,33	0,25	0,33	0,25	1
SOMA	3,00	2,92	7,67	10,25	15,00

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Segundo passo, foi dividir cada elemento da matriz original (A), pela soma da coluna, assim obtemos a matriz normalizada, conforme a equação (1), descrita no método da pesquisa. Abaixo está apresentada os resultados na Tabela 10.

Tabela 10 – Matriz Normalizada (decisor 1)

CRITÉRIOS	Hidráulico/Hidro lógico	Ambient ais	Interferên cias	Qualidade d'água	Econômico- Financeiro
Hidráulico//Hidro lógico	0,33	0,34	0,39	0,29	0,20
Ambientais	0,33	0,34	0,39	0,29	0,27
Interferências	0,11	0,11	0,13	0,29	0,20
Qualidade d'água	0,11	0,11	0,04	0,10	0,27
Econômico- Financeiro	0,11	0,09	0,04	0,02	0,07
SOMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Elaboração Própria (2024).

- *Cálculo dos Vetores de Prioridade (Wi):*

Terceiro passo, foi realizada o cálculo da média das linhas da matriz normalizada, assim resultado valores dos vetores prioridade (Wi), que representam a importância relativa dos critérios, seguindo pela equação (2), descrita no método da pesquisa. Abaixo o resultado da prioridade (Wi) exposta na Tabela 10.

O valor de todas as colunas, assim como o vetor prioridade precisa ser igual a 1, conforme a equação (3) descrita no método.

Tabela 11 - Prioridade (Decisor 1)

CRITÉRIOS	Hidráulic o /Hidrológ ico	Ambient ais	Interferên cias	Qualidade d'água	Econômico- Financeiro	PRIORIDAD E (WI)
Hidráulico//Hidro lógico	0,33	0,34	0,39	0,29	0,20	0,31
Ambientais	0,33	0,34	0,39	0,29	0,27	0,33
Interferências	0,11	0,11	0,13	0,29	0,20	0,17
Qualidade d'água	0,11	0,11	0,04	0,10	0,27	0,13
Econômico- Financeiro	0,11	0,09	0,04	0,02	0,07	0,07
SOMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Realizou-se o procedimento metodológico mostrado nas tabelas anteriores para todos os decisores. Assim sendo, seguem abaixo os resultados das respostas para vetor prioridade (Wi), para os 9 decisores, exposta na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultado do Vetores Prioridades (Wi) de todos Decisores

CRITÉRIOS	PRIORIDADE / Autovetor (Wi)								
DECISORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hidráulico/Hidrológico	0,31	0,34	0,46	0,43	0,41	0,42	0,42	0,31	0,33
Ambientais	0,33	0,3	0,25	0,25	0,28	0,25	0,25	0,32	0,29
Interferências	0,17	0,22	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,21	0,19
Qualidade d'água	0,13	0,09	0,09	0,13	0,11	0,12	0,12	0,09	0,11
Econômico-Financeiro	0,07	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08

Fonte: Elaboração Própria (2024).

- *Cálculo das Consistências:*

Quarto passo, realizou-se os cálculos das consistências, para tal conforme as equações (4) e (5) do explicada no método. Foi realizada a multiplicação da matriz de comparação original (A), pelo vetor de prioridade (Wi), e o soma de cada linha da matriz, resultando em um novo vetor resultante (W).

Após foi dividido cada elemento do vetor resultante (W), pelo vetor de prioridade (Wi) correspondente e calculada a média, onde resultou no valor do autovalor principal ($\lambda_{máx}$). Como exposta na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultado da Consistência Decisor 1

CRITÉRIOS	Hidráulic o/ Hidrológi co	Ambient ais	Interferênc ias	Qualidade d'água	Econômi co- Financeir o	AUTOVALOR (W)
Hidráulico//Hidrológico	0,31	0,33	0,51	0,38	0,20	5,53
Ambientais	0,31	0,33	0,51	0,38	0,27	5,51
Interferências	0,10	0,11	0,17	0,38	0,20	5,66
Qualidade d'água	0,10	0,11	0,06	0,13	0,27	5,22
Econômico- Financeiro	0,10	0,08	0,06	0,03	0,07	5,13
= autovalor principal $\lambda_{máx}$						5,409

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Quinto passo, foi realizado o cálculo do índice consistência (IC), para o decisor (1), conforme a equação (6). O autovalor máximo obtido na tabela acima, e número de critérios que é 5, menos menos 1. Resultando no valor de (IC).

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$IC = \frac{5,409 - 5}{5} - 1 = 0,102$$

Onde:

n = número de critérios ou alternativas.

$\lambda_{máx}$ = autovalor principal

O sexto passo, realizou-se o cálculo da razão de consistência (RC), conforme a equação (7). O valor do Índice Randômico (IR) é tabelado e consta na Tabela 1 deste trabalho. Resultando no valor exposto abaixo para o (RC).

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

$$RC = \frac{0,102}{1,12} = 0,09$$

Após, calculou-se para cada decisor, os valores de índice de consistência (IC) e a razão de consistência (RC), de acordo com a equação (6) e (7), com base no *autovalor principal*.

Estas etapas são necessárias para se verificar se as respostas dadas pelo decisores são válidas, ou seja, se estão dentro de um intervalo de variância entendido como satisfatório.

Aplicando as equações acima citadas para cada decisor, chega-se a um valor dos $\lambda_{máx}$, IC e RC para cada um deles. Abaixo segue exemplificado o cálculo realizado para o decisor Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados ($\lambda_{máx}$, IC, RC) de todos os Decisores

DECISORES	$\lambda_{máx}$	IC	RC
DECISOR 1	5,409	0,102	0,09
DECISOR 2	5,153	0,038	0,03
DECISOR 3	5,064	0,016	0,01
DECISOR 4	5,415	0,104	0,09
DECISOR 5	5,306	0,076	0,07
DECISOR 6	5,304	0,076	0,07
DECISOR 7	5,304	0,076	0,07
DECISOR 8	5,176	0,044	0,04
DECISOR 9	5,383	0,086	0,09

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Observou-se que todas as razões de consistência foram inferiores ao limite máximo estipulado $RC < 0,10$, ou seja, as respostas desses decisores são consistentes.

Quando há vários decisores envolvidos no processo é ainda necessário combinar as avaliações individuais, para formar uma tabela agregada, que representará a decisão coletiva. Para tanto, utilizou-se a média geométrica dos pesos dos decisores, seguindo os passos da equação (8), determinando-se a média geométrica de cada uma das linhas, obtendo-se um vetor peso final para os critérios conforme exposto abaixo.

Tabela 15 - Vetor final de pesos dos critérios do método AHP

CRITÉRIOS	VETOR PESO	
Hidráulico/Hidrológico	0,38	38%
Ambientais	0,28	28%
Interferências	0,17	17%
Qualidade d'água	0,11	11%
Econômico-Financeiro	0,06	6%

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Observando-se a tabela acima, verifica-se que os critérios hidráulico/hidrológicos e ambientais foram apontados pelos avaliadores como os prioritários na análise hidrológica e que, o econômico-financeiro foi considerado o menos prioritário.

Esses fatores combinados são essenciais para a compreensão dos impactos ambientais e do planejamento de estratégias de manejo e conservação na região.

4.2.1. Dados das Alternativas de Locais

Como descrito no método desta pesquisa, realizou-se a análise dos dados quantitativos e qualitativos dos relatórios, referentes a duas alternativas de locais para implantação de uma barragem, segue os dados na Tabela 16.

Tabela 16 - Dados das alternativas

DADOS LEVANTADOS	INFORMAÇÃO	
	Local A	Local B
Vazão captada m ³ /s ³	2,639	2,436
Área a ser alagada com o enchimento do reservatório (ha)	460,6	500,3
Número de processos minerários interceptando a Área Diretamente Afetada (ADA)	5	6
Extensão dos cursos d'água naturais a atingidos pelo reservatório (km)	19,85	22,48
Áreas de Preservação Permanente (APPs) atingidas pelo reservatório (ha)	86,59	158,64
Áreas de Formação Florestal atingida pelo reservatório (ha)	201,87	164,34
Áreas utilizadas para Silvicultura atingidas pelo reservatório (ha)	10,90	6,14
Bens culturais (na AID)	10	11
Comunidades tradicionais (AID)	29	15
Comunidades tradicionais (ADA)	38	25
Rede de Transmissões	Sem interferências	Com interferências
Vazão Incremental	Não	Sim
Econômico-Financeiro	R\$ 1.217 mi	R\$ 217 mi

Fonte: Elaboração Própria (2024).

4.3. Resultado das Pontuações das Alternativas

Aplicando-se as tabelas de pontuação descritas no método, nos dados das alternativas, chegou-se na pontuação para cada critério. Exposta nas tabelas abaixo.

Tabela 17 - Hidrólogo/Hidráulico

DESCRIÇÕES	ALTERNATIVAS		PONTUAÇÃO	
	Local A	Local B	Local A	Local B
Hidrólogo/hidráulico				
Vazão captada m³/s	2,639	2,436	45	45

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Tabela 18 - Ambiental

DESCRIÇÕES	ALTERNATIVAS		PONTUAÇÃO	
	Local A	Local B	Local A	Local B
AMBIENTAL				
Área a ser alagada com o enchimento do reservatório (ha)	460,6	500,3	1	1
Número de processos minerários interceptando a Área Diretamente Afetada (ADA)	5	6	3	2
Extensão dos cursos d'água naturais atingidos pelo reservatório (km)	19,85	22,48	3	2
Áreas de Preservação Permanente (APPs) atingidas pelo reservatório (ha)	86,59	158,64	3	1
Áreas de Formação Florestal atingida pelo reservatório (ha)	201,87	164,34	2	3
Áreas utilizadas para Silvicultura atingidas pelo reservatório (ha)	10,90	6,14	1	2
Bens culturais (na AID)	10	11	5	4
Comunidades tradicionais (AID)	29	15	3	4
Comunidades tradicionais (ADA)	38	25	2	3
TOTAL			23	22

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Tabela 19 - Interferências

DESCRIÇÕES	ALTERNATIVAS		PONTUAÇÃO	
	Local A	Local B	Local A	Local B
Interferências				
Rede de Transmissões	Não	Sim	45	1

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Tabela 20 - Qualidade d'água

DESCRIÇÕES	ALTERNATIVAS		PONTUAÇÃO	
	Local A	Local B	Local A	Local B
Qualidade d'água	Local A	Local B	Local A	Local B
Vazão Incremental	Não	Sim	45	1

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Tabela 21 - Econômico-Financeiro

DESCRIÇÕES	ALTERNATIVAS		PONTUAÇÃO	
	Local A	Local B	Local A	Local B
Econômico-Financeiro	Local A	Local B	Local A	Local B
	R\$ 1.217 mi	R\$ 217 mi	10	45

Fonte: Elaboração Própria (2024).

4.3.1. Resultado na Nota das Alternativas de Locais

Para obter o valor de cada alternativa foi realizada a multiplicação dos pesos dos critérios pela nota das alternativas. Após, obteve-se uma nota para cada critério de cada alternativa Tabela 22, ao final, somou-se as notas dos critérios, obtendo-se a nota final de cada alternativa de local.

Tabela 22 – Nota dos critérios das alternativas

ALTERNATIVAS	CRITÉRIOS	Peso AHP para o critério	Pontuação do Critério (obtido na análise dos relatórios)	Nota do critério
LOCAL A	Hidráulico/Hidrológico	0,38	45	17,1
	Ambiental	0,28	23	6,44
	Interferências	0,17	45	7,65
	Qualidade d'água	0,11	45	4,95
	Econômico-financeiro	0,06	10	0,60
LOCAL B	Hidráulico/Hidrológico	0,38	45	17,1
	Ambiental	0,28	22	6,16
	Interferências	0,17	1	0,17

	Qualidade d'água	0,11	1	0,11
	Econômico-Financeiro	0,06	45	2,7

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Para se obter a prioridade global das alternativas, ou seja, a nota final das mesmas, foi preciso multiplicar o vetor linha de cada alternativa pelo vetor prioridade dos critérios, conforme a equação (9), assim o maior valor é a melhor alternativa. Ao final, chegou-se no resultado da melhor alternativa de local para implantação de uma barragem Tabela 23.

Tabela 23 – Resultado da Melhor Alternativas de Local

	Critério	Hidráulico/Hidroológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico-Financeiro	Prioridades Globais
Alternativa	Peso do Critério	0,38	0,28	0,17	0,11	0,06	
	LOCAL A	45	23	45	45	10	36,74 37%
	LOCAL B	45	22	1	1	45	26,24 27%

Fonte: Elaboração Própria (2024).

A tabela acima mostra, que o Local A obteve maior pontuação que o Local B (37% e 27% respectivamente) e portanto, que dentre os dois locais analisados, o 'Local A' deve ser o escolhido, considerando-se o método aplicado nesta pesquisa.

Nota-se que a diferença de 10% entre as alternativas pode, não ser considerada tão significativa, porém, quanto maior o número de critérios e subcritérios a serem analisados, mais precisa deve ficar a análise.

5. CONCLUSÃO

O processo de tomada de decisão envolve a complexidade em lidar com diversas alternativas, cada uma com características que devem ser consideradas de forma conjunta, e a subjetividade na determinação do que é mais ou menos importante. Por isso, a metodologia de análise multicritério AHP, foi utilizada, para dar

apoio ao processo de decisão, da alternativa do local mais indicado para implantação de barragem de terra.

Para aplicar o método AHP e determinar os pesos dos critérios escolhidos, observou-se que a experiência profissional dos decisores têm um papel importantíssimo na tomada de decisões, tornou a aplicação do método mais assertiva, sem haver discrepâncias significativas na importância atribuída aos critérios por cada um deles. A utilização do método aplicado não se limita a somente definir a importância para cada critério, é necessário também envolver-se com o problema.

A forma de se pontuar os critérios a partir de cada alternativa de local para implantação de uma obra, neste caso, de uma barragem de terra, é fator fundamental para se chegar a um bom resultado da avaliação. Uma vez que as empresas de engenharia necessitam realizar estudos preliminares para avaliar a viabilidade de seus projetos, utilizar-se dos dados já obtidos para auxiliar no processo de tomada de decisão, torna-se economicamente viável e eficaz. Portanto, para replica do método utilizado na seleção de alternativas de localização de barragens de abastecimento, os trabalhos de prospecção de estudos já realizados por empresa especializada são fundamentais para análise. Recomendam-se a fortemente a utilização de informações, não só de revisão de literatura, mas de dados já realizados por empresas especializada, é importante que seja feito visitas técnicas ao local selecionado, com experiencia de profissionais da área antes da definição das alternativas de local e coleta de dados correspondente.

Para a avaliação dos locais estabeleceu-se que cada critério pode receber uma pontuação máxima de 45 pontos e, esta determinação ocorreu em função dos dados quantitativos e qualitativos expressos nos relatórios analisados. Para os casos aqui analisados a forma pontuação se mostrou eficiente, mas, para obras localizadas em regiões com características muito distintas ou com peculiaridades locais, estes valores podem ser adaptados desde que se mantenha a coerência de um somatório total igual para cada critério.

Após uma análise dos critérios hidráulicos/hidrológicos, ambiental, interferências, qualidade da água e econômico, o Local A foi escolhido como a melhor opção para a implantação da barragem. O Local A se destacou por sua superioridade em vazão e capacidade de armazenamento, melhor viabilidade econômica e menores

interferências com infraestruturas existentes e da qualidade da água indicou possui condições adequadas para o tratamento e controle da água. Embora o Local B tenha apresentado vantagens ambientais, o Local A ofereceu um equilíbrio mais favorável entre os aspectos técnicos e econômicos. A decisão de optar pelo Local A reflete a necessidade de priorizar a eficiência e a viabilidade geral do projeto, com a implementação de medidas para mitigar os impactos ambientais identificados.

Enfim, ressalta-se que, quanto mais detalhados forem os subcritérios analisados, mais preciso deve ser o resultado e, a lista destes pode variar de empreendimento para empreendimento, salientando-se as características de cada área, região ou bacia hidrográfica analisada.

5.1. Recomendações para Trabalhos Posteriores

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se um aprofundamento na análise dos critérios relacionados ao solo, especialmente em projetos de barragens de terra. Explorar detalhadamente esses aspectos é crucial para garantir a eficácia e o sucesso do processo de construção e operação.

Sugere-se também que o mesmo método seja aplicado a outras alternativas de locais de implantação. Lembrando que esta pesquisa utilizou-se de duas alternativas na região Sul do Brasil e pode ser aplicada a obras viáveis em outras regiões brasileiras e também no mundo.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens**. Diretrizes para a Construção de Barragens. Brasília, ANA, SRE, 2016. 121p.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens Guia Prático de Pequenas Barragens**. Brasília: ANA. 2016.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Outorga de direito de uso de recursos hídricos. Vol.6. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2022/OutorgaDeDireitoDeUsoDeRecursosHidricos.pdf>>. Acesso em: 14 maio. 2023.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Relatório de Segurança de Barragens 2024**. Brasília: ANA, 2024.
- AYALA, N. F.; FRANK, A. G. **Métodos de análise multicriterial: uma revisão das forças e fraquezas**. Anais da Semana de Engenharia de Produção Sul Americana, Gramado/RS, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/196504>. Acesso em: 28 jul. 2023.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BARRELLA, W.; PETRERE JR., M.; SMITH, W.S.; MONTAG, L.F.A. **As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes**. In: RODRIGUES, R.R. & LEITÃO FILHO, H.F. Matas ciliares: Conservação e recuperação. EDUSP, 2ª ed., São Paulo, p.187-207, 2001.
- BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. **Environmental Science – Earth as a living Planet**. 3. ed. USA: John Wiley & Sons, 649 p. 2000.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da constituição federal, e altera o art. 1º da lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
- BRASIL. **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Brasília, 2020. Disponível em: [L14066 \(planalto.gov.br\)](http://planalto.gov.br).
- BEHZADIAN, Majid et al. **A state-of the-art survey of TOPSIS applications**. 2012. Disponível em: <<http://kgk.uni-obuda.hu/sites/default/files/A%20state-of%20the-art%20survey%20of%20TOPSIS%20applications.pdf>>. Acesso julho, 2023.

BRANS, J.P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. et al. **How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method.** 1986. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/50187419/03772217_2886_2990044-520161108>. Acesso maio. 2024.

CARVALHO, J. A. **Dimensionamento de pequenas barragens de terra para a irrigação.** Lavras, MG: Editora UFLA. 2008. 158 p.: il

CARVALHO, A. T. F. **Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento: Discussão sobre Impactos da Produção Social na Gestão de Recursos Hídricos no Brasil.** 2020.

CARVALHO, J. P.; MELO, R. F.; GOMES, J. A.; SILVA, F. D. Multi-criteria decision analysis in water resources planning and management: A review of the state-of-the-art. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua**, v. 69, n. 1, p. 1-2, 2020.

CARVALHO, M.M QFD: **uma ferramenta de tomada de decisão em projeto.** 1997.162f+ anexos. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997. CONSTRUÇÃO MERCADO. São Paulo:Pini, n59, jun. 2006.

CASAROTTO F, N.; KOPITCKE, B. **Análise de investimentos.** 10 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo.** Folha Curitiba SG 22. 2014. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/>.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão.** Niterói: HGC, 2002. 104 p.

COSTA, H.C.; BÉRNILS, R. S. **Répteis do Brasil e suas Unidades Federativas:** Lista de espécies. Herpetologia Brasileira. v. 8, n. 1, p. 11-57, 2018.

COSTA, W.D. **Geologia de barragens.** São Paulo: Oficina dos Textos, 2012. 338 p.

CORDOVA, F. D. **Revisão da ictiofauna da bacia do rio Iguaçu:** Reconhecendo a situação atual. Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Engenharia de Aquicultura, Laranjeiras do Sul, PR, 2018. 85 f.:il

CHOU, Tien-Yin et al. **Application of the PROMETHEE technique to determine depression outlet location and flow direction in DEM.** 2003. Disponível em: <<http://web.nchu.edu.tw/pweb/users/cylin/research/1673.pdf>>.

EDUARDO, C.; AZEVEDO, R.; BENITO, E.; MEZA, M. **Aplicação do Método de Análise Hierárquica (AHP) para Seleção de um Sistema de Software de Gestão Previdenciária para um Instituto de Previdência Social,** p. 1–14, 2014.

ENOKI, C. H. **Gestão de processos de negócio: uma contribuição par avaliação de soluções de Business Process Management (BPM) sob a ótica da estratégia de operações.** 2006. 202 f.+ anexos. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica,

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

França, F. M. C. **Indicadores integrados de sustentabilidade e análise de decisão multicriterial de barragens subterrâneas no Estado do Ceará.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2016.

FIGUEREDO, A. D. S. **Metodologia para o planejamento do transporte urbano: Um enfoque para o processo empresarial do serviço por ônibus.** 1999. 186 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

FERNANDES, L. C.; BARBOSA, F. F.; FILHO, P. B.; GUERRA, A. J. T.; CURI, N. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 2, e5716, 2019.

FRANCO, D. S. **Proposta de metodologia multicritério como ferramental para a execução de políticas públicas para barragens de mineração e indústria em Minas Gerais.** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. 2019.

GOMES, L. F. A. M.; GONZÁLEZ, M. C. A.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão.** [S.l.]: Thomson, 2004.

GUSMÃO FILHO, J. **Desempenho de Obras Geotécnicas.** Recife: Editora Universitária UFPE, 2006.

GARBER, M. F. **Estruturas flutuantes para exploração de campos de petróleo no mar (FPSO): Apoio à decisão na escolha do sistema.** 2002. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

GARTNER, I. R. **Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e ultilaterais: evidências e propostas.** Brasília: Editora Universa, 2001.

IAÑEZ, M. M. **Uma contribuição ao processo decisório de terceirização das atividades logísticas.** 2002. 260 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. **Hidrologia de matas ciliares.** In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). *Matas ciliares: conservação e recuperação.* 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

LOPES, J. D. S.; LIMA, F. Z. **Construção de pequenas barragens de terra.** Viçosa MG, CPT, 2008. 274 p.

LOPES, C. L. **A escolha de um Custodiante para uma Administradora Financeira: análise multiatributo por medições conjuntas e trocas justas.** Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Administração) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2008.

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. São Paulo: Oficina dos textos, 2003.p.160.

MARQUES, L.; COSTA, L.; MENEZES, S.; DIAS, J. Water Quality and Quantity in Dams Reservoirs—Case Study of the Azibo Reservoir in Portugal. **Water**, v. 13, n. 5, p. 625, 2021.

MARANGON.M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. Barragens de Terra e Enrocamento**, Cap 5, 2004.

MARQUES, N. G. **Seleção de áreas para aterros sanitários baseada em mapeamento geotécnico e analytic hierarchy process – AHP**. 2002. 163 f + anexos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MATOS, A. T.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. **Barragens de terra de pequeno porte**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 136 p.: il.

MENDONÇA, M. B. de. **Notas de aula da disciplina Obras de Terra**. UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2012.

MUSTRANGI, S. M. **Uma análise multicritério para identificação de porto hub na região Nordeste do Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, 2023.

MOARES, W. N. Análise de investimentos empresas de internet: estudo de casos múltiplos usando o AHP - Analytic Hierarchy Process. 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MORITA, H. **Revisão do método de análise hierárquica – MAH (AHP - Analytic Hierarchy Process)**. 1998. 129 f. + apêndice. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MORANO, J.R. **Pequenas barragens de terra**. 1ª ed., São Paulo. 2006.

MENDONÇA, M.B. **“Notas de aula da disciplina de Obras de Terra”**. UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro,

MENESCAL, R. A. Ministério da Integração Nacional. A Segurança de Barragens e a Gestão 51 de Recursos Hídricos no Brasil. 2.ed. / [Organizador, Rogério de Abreu Menescal]. Brasília: Proágua, 2005. 316p.

MOLITERNO, A. **Caderno de estruturas em alvenaria e concreto simples**, São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

LISBOA, M. V. **Contribuição para tomada de decisão na classificação e seleção de alternativas de traçado para rodovias em trechos urbanizados**. 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PACHECO, F. F. P; SOUZA, L.L. J; FARIA, L.L.A. **Análise Multicritério Aplicada na Seleção de Áreas Aptas a Construção De Barraginhas em Relevo Forte Ondulado Visconde do Rio Branco-MG.** Universidade Federal de Viçosa. 2018. Disponível em: B0001.pdf (abrhidro.org.br) <https://anais.abrhidro.org.br/works/3821>.

PASSOS, A. C. **Definição de um índice de qualidade para distribuidoras de energia elétrica utilizando o apoio multicritério à decisão e análise de séries temporais.** 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PEINADO, H. S. et al. **Método AHP para tomada de decisão multicritério.** Maringá: EDUEM, 2016. 34 p. (Coleção Fundamentum; 103).

SAATY, T. L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operations Research**, v. 48, p. 9-26, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-l](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-l). Acesso em 10 jun 2023.

SAATY, T. L. How to make a decision: **The analytic hierarchy process.** **European Journal of Operational Research**, Vol.48 No.1, pp.9-26,1990. <http://www.scopus.com>.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process.** New York: McGraw-Hill, 1980. Disponível em: <https://doi.org/10.21236/ADA214804>.

SANTOS, R. F. D.; VIAGI, A. F. **Uso do método ahp: Analytic Hierarchy Process para otimizar a cadeia de suprimentos durante o desenvolvimento integrado de produtos.** Simpoi, 1–12, 2009.

SILVA, A. R. da et al. Plano de manutenção e operação em barragens: um estudo de caso no Semiárido nordestino. **Irriga, Botucatu**, v. 23, n. 3, p. 442-452, 2018.

SORIA, A. M. **Relevâncias das barragens para segurança hídrica.** Disponível em: [http://www.relevancia das barragens para a segurança hídrica.pdf](http://www.relevancia-das-barragens-para-a-seguranca-hidrica.pdf) SORIA.pdf. 2022.

SOUZA, M. M. **Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC.** Orientador: Marcos Barreto de Mendonça. Projeto de Graduação - UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2013. 129 p. il.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica.** 2003. 210 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

STEPHENS, T. FAO - **Manual sobre pequenas barragens de terra: guia para localização, projeto e construção.** Roma: Organização das Nações Unidas para a alimentação e agricultura, 2011.

TRIANAPHYLLOU, E.; MANN, S. H. Using the Analytic Hierarchy Process for

decision making in engineering applications: some challenges. **International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice**, Cincinnati, p. 35-44, 1995.

TEODORO. L.L.V.; TEIXEIRA.D.; COSTA.L.D.J.; FULLER.B. B Beatriz. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local: **Revista Uniara**, n.20, 2007.

VILAS, Boas, Lima C. **Modelo Multicritérios de Apoio à Decisão Aplicado ao Uso Múltiplo de Reservatório: Estudo da Barragem do Ribeirão João Leite**. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade de Brasília, 2006.

WCD. The World Commission on Dams. **Barragens e Desenvolvimento: Um novo modelo para tomada de decisões** – O Relatório da Comissão Mundial de Barragens. 2000. Disponível em: www.dams.org. acesso em 25 abril, 2024.

WOLFF, C. S. **O método AHP: revisão conceitual e proposta de simplificação**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

LISBOA, M. V. **Contribuição para tomada de decisão na classificação e seleção de alternativas de traçado para rodovias em trechos urbanizados**. 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ZUFFO, A. C. **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**. 1998. 301 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998

APÊNDICE A – Matriz de Julgamentos

MATRIZ DE JULGAMENTO 1					
CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	1	3	3	3
Ambientais	1	1	3	3	4
Interferências	0,33	0,33	1	3	3
Qualidade d'água	0,33	0,33	0,33	1	4
Econômico Financeiro	0,33	0,25	0,33	0,25	1
SOMA	3,00	2,92	7,67	10,3	15,0

NORMALIZAÇÃO						
CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	VETOR PRIORIDADE
Hidráulico/hidrológico	0,33	0,34	0,39	0,29	0,20	0,31
Ambientais	0,33	0,34	0,39	0,29	0,27	0,33
Interferências	0,11	0,11	0,13	0,29	0,20	0,17
Qualidade d'água	0,11	0,11	0,04	0,10	0,27	0,13
Econômico Financeiro	0,11	0,09	0,04	0,02	0,07	0,07
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	1	3	3	3
Ambientais	1	1	3	3	4
Interferências	0,33	0,33	1	3	3
Qualidade d'água	0,33	0,33	0,33	1	4
Econômico Financeiro	0,33	0,25	0,33	0,25	1
VETOR PRIORIDADE	0,31	0,33	0,17	0,13	0,07

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	AUTOVALOR
Hidráulico/hidrológico	0,31	0,33	0,51	0,38	0,20	5,53
Ambientais	0,31	0,33	0,51	0,38	0,27	5,51
Interferências	0,10	0,11	0,17	0,38	0,20	5,66
Qualidade d'água	0,10	0,11	0,06	0,13	0,27	5,22
Econômico Financeiro	0,10	0,08	0,06	0,03	0,07	5,13
					$\lambda_{\text{máx}}$	5,41

Tabelado	$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1)$	0,102
	n	5
	IR	1,12
	$RC = IC / IR$	0,09

MATRIZ DE JULGAMENTO 2					
CRITÉRIOS	Hidráulico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidraulico	1	1	2	3	8
Ambientais	1,00	1	2	3	4
Interferências	0,5	0,5	1	4	5
Qualidade d'água	0,33	0,33	0,25	1	2
Econômico Financeiro	0,13	0,25	0,20	0,50	1
SOMA	2,96	3,08	5,45	11,5	20,0

Matriz Normalizada						
CRITÉRIOS	Hidráulico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	VETOR PRIORIDADE
Hidraulico	0,34	0,32	0,37	0,26	0,40	0,34
Ambientais	0,34	0,32	0,37	0,26	0,20	0,30
Interferências	0,17	0,16	0,18	0,35	0,25	0,22
Qualidade d'água	0,11	0,11	0,05	0,09	0,10	0,09
Econômico Financeiro	0,04	0,08	0,04	0,04	0,05	0,05

CRITÉRIOS	Hidráulico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidraulico	1	1	2	3	8
Ambientais	1,00	1	2	3	4
Interferências	0,5	0,5	1	4	5
Qualidade d'água	0,33	0,33	0,25	1	2
Econômico Financeiro	0,13	0,25	0,20	0,50	1
VETOR PRIORIDADE	0,34	0,30	0,22	0,09	0,05

CRITÉRIOS	Hidráulico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	AUTOVALOR
Hidraulico	0,34	0,30	0,44	0,27	0,41	5,20
Ambientais	0,34	0,30	0,44	0,27	0,20	5,22
Interferências	0,17	0,15	0,22	0,36	0,25	5,20
Qualidade d'água	0,11	0,10	0,06	0,09	0,10	5,07
Econômico Financeiro	0,04	0,07	0,04	0,05	0,05	5,08
					$\lambda_{\text{máx}}$	5,15

$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n - 1)$	0,038
n	5
IR	1,12
$RC = IC/IR$	0,03

MATRIZ DE JULGAMENTO 3					
CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	2	4	5	6
Ambientais	0,50	1	2	3	4
Interferências	0,25	0,5	1	2	3
Qualidade d'água	0,20	0,33	0,50	1	2
Econômico Financeiro	0,17	0,25	0,33	0,50	1
SOMA	2,1	4,1	7,8	11,5	16,0

Matriz Normalizada						
CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	VETOR PRIORIDADE
Hidráulico/hidrológico	0,47	0,49	0,51	0,43	0,38	0,46
Ambientais	0,24	0,24	0,26	0,26	0,25	0,25
Interferências	0,12	0,12	0,13	0,17	0,19	0,15
Qualidade d'água	0,09	0,08	0,06	0,09	0,13	0,09
Econômico Financeiro	0,08	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	2	4	5	6
Ambientais	0,50	1	2	3	4
Interferências	0,25	0,5	1	2	3
Qualidade d'água	0,20	0,33	0,50	1	2
Econômico Financeiro	0,17	0,25	0,33	0,50	1
VETOR PRIORIDADE	0,46	0,25	0,15	0,09	0,06

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	AUTOVALOR
Hidráulico/hidrológico	0,46	0,50	0,58	0,45	0,35	5,12
Ambientais	0,23	0,25	0,29	0,27	0,23	5,10
Interferências	0,11	0,12	0,15	0,18	0,17	5,06
Qualidade d'água	0,09	0,08	0,07	0,09	0,12	5,01
Econômico Financeiro	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	5,03
				$\lambda_{\text{máx}}$		5,06

$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1)$	0,016
n	5
IR	1,12
$RC = IC / IR$	0,01

MATRIZ DE JULGAMENTO 4

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	3	4	3	5
Ambientais	0,33	1	2	4	5
Interferências	0,25	0,5	1	2	3
Qualidade d'água	0,33	0,25	0,50	1	5
Econômico Financeiro	0,20	0,2	0,33	0,20	1
SOMA	2,12	5,0	7,8	10,2	19,0

Matriz Normalizada

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	VETOR PRIORIDADE
Hidráulico/hidrológico	0,47	0,61	0,51	0,29	0,26	0,43
Ambientais	0,16	0,20	0,26	0,39	0,26	0,25
Interferências	0,12	0,10	0,13	0,20	0,16	0,14
Qualidade d'água	0,16	0,05	0,06	0,10	0,26	0,13
Econômico Financeiro	0,09	0,04	0,04	0,02	0,05	0,05

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	3	4	3	5
Ambientais	0,33	1	2	4	5
Interferências	0,25	0,5	1	2	3
Qualidade d'água	0,33	0,25	0,50	1	5
Econômico Financeiro	0,20	0,2	0,33	0,20	1
VETOR PRIORIDADE	0,43	0,25	0,14	0,13	0,05

CRITÉRIOS	Hidráulico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	AUTOVALOR
Hidráulico	0,43	0,76	0,56	0,38	0,25	5,55
Ambientais	0,14	0,25	0,28	0,51	0,25	5,64
Interferências	0,11	0,13	0,14	0,25	0,15	5,55
Qualidade d'água	0,14	0,06	0,07	0,13	0,25	5,16
Econômico Financeiro	0,09	0,05	0,05	0,03	0,05	5,18
				$\lambda_{\text{máx}}$		5,42

$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n - 1)$	0,104
n	5
IR	1,12
$RC = IC/IR$	0,09

MATRIZ DE JULGAMENTO 5

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	2	3	5	5
Ambientais	0,50	1	2	4	6
Interferências	0,33	0,5	1	2	3
Qualidade d'água	0,20	0,25	0,50	1	5
Econômico Financeiro	0,20	0,17	0,33	0,20	1
SOMA	2,23	3,92	6,83	12,2	20,0

Matriz Normalizada

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	VETOR PRIORIDADE
Hidráulico/hidrológico	0,45	0,51	0,44	0,41	0,25	0,41
Ambientais	0,22	0,26	0,29	0,33	0,30	0,28
Interferências	0,15	0,13	0,15	0,16	0,15	0,15
Qualidade d'água	0,09	0,06	0,07	0,08	0,25	0,11
Econômico Financeiro	0,09	0,04	0,05	0,02	0,05	0,05

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	2	3	5	5
Ambientais	0,50	1	2	4	6
Interferências	0,33	0,5	1	2	3
Qualidade d'água	0,20	0,25	0,50	1	5
Econômico Financeiro	0,20	0,17	0,33	0,20	1
VETOR PRIORIDADE	0,41	0,28	0,15	0,11	0,05

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	AUTOVALOR
Hidráulico/hidrológico	0,41	0,56	0,44	0,56	0,25	5,39
Ambientais	0,21	0,28	0,29	0,45	0,30	5,44
Interferências	0,14	0,14	0,15	0,22	0,15	5,40
Qualidade d'água	0,08	0,07	0,07	0,11	0,25	5,24
Econômico Financeiro	0,08	0,05	0,05	0,02	0,05	5,05
				$\lambda_{\text{máx}}$		5,31

$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1)$	0,076
n	5
IR	1,12
$RC = IC / IR$	0,07

MATRIZ DE JULGAMENTO 6

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	2	3	5	6
Ambientais	0,50	1	2	3	5
Interferências	0,33	0,5	1	2	3
Qualidade d'água	0,20	0,33	0,50	1	6
Econômico Financeiro	0,17	0,2	0,33	0,17	1
SOMA	2,20	4,03	6,83	11,2	21,0

Matriz Normalizada

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	VETOR PRIORIDADE
Hidráulico/hidrológico	0,45	0,50	0,44	0,45	0,29	0,42
Ambientais	0,23	0,25	0,29	0,27	0,24	0,25
Interferências	0,15	0,12	0,15	0,18	0,14	0,15
Qualidade d'água	0,09	0,08	0,07	0,09	0,29	0,12
Econômico Financeiro	0,08	0,05	0,05	0,01	0,05	0,05

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	2	3	5	6
Ambientais	0,50	1	2	3	5
Interferências	0,33	0,5	1	2	3
Qualidade d'água	0,20	0,33	0,50	1	6
Econômico Financeiro	0,17	0,2	0,33	0,17	1
VETOR PRIORIDADE	0,42	0,25	0,15	0,12	0,05

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	AUTOVALOR
Hidráulico/hidrológico	0,42	0,51	0,45	0,62	0,28	5,39
Ambientais	0,21	0,25	0,30	0,37	0,24	5,39
Interferências	0,14	0,13	0,15	0,25	0,14	5,44
Qualidade d'água	0,08	0,08	0,07	0,12	0,28	5,25
Econômico Financeiro	0,07	0,05	0,05	0,02	0,05	5,06
				$\lambda_{\text{máx}}$		5,30

$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1)$	0,076
n	5
IR	1,12
$RC = IC / IR$	0,07

MATRIZ DE JULGAMENTO 7

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	2	3	5	6
Ambientais	0,50	1	2	3	5
Interferências	0,33	0,5	1	2	3
Qualidade d'água	0,20	0,33	0,50	1	6
Econômico Financeiro	0,17	0,2	0,33	0,17	1
SOMA	2,20	4,03	6,83	11,2	21,0

Matriz Normalizada

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	VETOR PRIORIDADE
Hidráulico/hidrológico	0,45	0,50	0,44	0,45	0,29	0,42
Ambientais	0,23	0,25	0,29	0,27	0,24	0,25
Interferências	0,15	0,12	0,15	0,18	0,14	0,15
Qualidade d'água	0,09	0,08	0,07	0,09	0,29	0,12
Econômico Financeiro	0,08	0,05	0,05	0,01	0,05	0,05

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	2	3	5	6
Ambientais	0,50	1	2	3	5
Interferências	0,33	0,5	1	2	3
Qualidade d'água	0,20	0,33	0,50	1	6
Econômico Financeiro	0,17	0,2	0,33	0,17	1
VETOR PRIORIDADE	0,42	0,25	0,15	0,12	0,05

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Economico Financeiro	AUTOVALOR
Hidráulico/hidrológico	0,42	0,51	0,45	0,62	0,28	5,39
Ambientais	0,21	0,25	0,30	0,37	0,24	5,39
Interferências	0,14	0,13	0,15	0,25	0,14	5,44
Qualidade d'água	0,08	0,08	0,07	0,12	0,28	5,25
Economico Financeiro	0,07	0,05	0,05	0,02	0,05	5,06
				$\lambda_{\text{máx}}$		5,30

$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n - 1)$	0,076
n	5
IR	1,12
$RC = IC/IR$	0,07

MATRIZ DE JULGAMENTO 8

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	1	2	4	3
Ambientais	1,00	1	2	3	5
Interferências	0,50	0,5	1	4	3
Qualidade d'água	0,25	0,33	0,25	1	2
Econômico Financeiro	0,33	0,2	0,33	0,50	1
SOMA	3,08	3,03	5,58	12,5	14,0

Matriz Normalizada

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	VETOR PRIORIDADE
Hidráulico/hidrológico	0,32	0,33	0,36	0,32	0,21	0,31
Ambientais	0,32	0,33	0,36	0,24	0,36	0,32
Interferências	0,16	0,16	0,18	0,32	0,21	0,21
Qualidade d'água	0,08	0,11	0,04	0,08	0,14	0,09
Econômico Financeiro	0,11	0,07	0,06	0,04	0,07	0,07

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	1	2	4	3
Ambientais	1,00	1	2	3	5
Interferências	0,50	0,5	1	4	3
Qualidade d'água	0,25	0,33	0,25	1	2
Econômico Financeiro	0,33	0,2	0,33	0,50	1
VETOR PRIORIDADE	0,31	0,32	0,21	0,09	0,07

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	AUTOVALOR
Hidráulico/hidrológico	0,309297865	0,321869293	0,416155008	0,366883563	0,207103343	5,24
Ambientais	0,309297865	0,321869293	0,416155008	0,275162672	0,345172238	5,18
Interferências	0,154648932	0,160934647	0,208077504	0,366883563	0,207103343	5,28
Qualidade d'água	0,077	0,107	0,052	0,092	0,138	5,09
Econômico Financeiro	0,103	0,064	0,069	0,046	0,069	5,09
					$\lambda_{\text{máx}}$	5,18

$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n - 1)$	0,044
n	5
IR	1,12
$RC = IC/IR$	0,04

MATRIZ DE JULGAMENTO 9

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	1	2	3	5
Ambientais	1,00	1	3	2	2
Interferências	0,50	0,33	1	4	2
Qualidade d'água	0,33	0,50	0,25	1	2
Econômico Financeiro	0,20	0,5	0,50	0,50	1
SOMA	3,03	3,33	6,75	10,5	12,0

Matriz Normalizada						
CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro	VETOR PRIORIDADE
Hidráulico/hidrológico	0,33	0,30	0,30	0,29	0,42	0,33
Ambientais	0,33	0,30	0,44	0,19	0,17	0,29
Interferências	0,16	0,10	0,15	0,38	0,17	0,19
Qualidade d'água	0,11	0,15	0,04	0,10	0,17	0,11
Econômico Financeiro	0,07	0,15	0,07	0,05	0,08	0,08

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Econômico Financeiro
Hidráulico/hidrológico	1	1	2	3	5
Ambientais	1,00	1	3	2	2
Interferências	0,50	0,33333333	1	4	2
Qualidade d'água	0,33	0,50	0,25	1	2
Econômico Financeiro	0,20	0,5	0,50	0,50	1
VETOR PRIORIDADE	0,33	0,29	0,19	0,11	0,08

CRITÉRIOS	Hidráulico/hidrológico	Ambientais	Interferências	Qualidade d'água	Economico Financeiro	AUTOVALOR
Hidráulico/hidrológico	0,33	0,29	0,38	0,34	0,42	5,38
Ambientais	0,33	0,29	0,58	0,22	0,17	5,52
Interferências	0,16	0,10	0,19	0,45	0,17	5,55
Qualidade d'água	0,11	0,14	0,05	0,11	0,17	5,19
Econômico Financeiro	0,07	0,14	0,10	0,06	0,08	5,28
				$\lambda_{m\acute{a}x}$		5,38

$IC = (\lambda_{m\acute{a}x} - n)/(n - 1)$	0,096
n	5
IR	1,12
$RC = IC/IR$	0,09

APÊNDICE B – Questionário Aplicado

Avaliação de Critérios para Seleção do Local de Implantação de uma Barragem- AHP

Maria Belen Marin
Graduanda do Curso de Engenharia Civil
Instituto Federal de Santa Catarina-IFSC
Matrícula: 201810205207

Prezado(a) avaliador(a) Na seleção de um local para a implantação de uma barragem, a multiplicidade de critérios frequentemente resulta em divergências e conflitos, o que nos leva a verificar a necessidade de se realizar uma análise comparativa entre alternativas de outros locais, considerando-se alguns critérios de análise envolvidos. Para otimizar este processo de decisão, optou-se por realizar uma pesquisa acadêmica, com a utilização do método multicritério de tomada de decisão, focado especificamente no AHP (Analytic Hierarchy Process), conforme metodologia proposta por Saaty (1980). Esta metodologia visa hierarquizar critérios de escolha, a partir de um grau de importância a eles atribuídos, e, para tornar este processo idôneo, consulte-se especialistas (como o Sr.(a)) para, a partir da sua avaliação às perguntas deste questionário, determinar, para os critérios pré-estabelecidos, qual o local mais adequado para a implantação de uma barragem.

Resumo do método:

Após a identificação do problema de decisão (seleção do local mais adequado para a implantação de uma barragem), foram definidos os critérios e as alternativas. Posteriormente, organizamos esses elementos em uma classificação, com o objetivo no topo, seguidos pelos critérios em níveis inferiores e, por último, como alternativas. Com os concursos serão realizados as comparações pares a par, onde os responsáveis pela decisão indicam a significância relativa entre os critérios, e especificam as suas preferências (por exemplo, se o seleções x é melhor do que o seleções y). Para cada par de critérios faça comparações de importância utilizando uma escala de 1 a 9, onde 1 significa igual importância e 9 significa extrema importância. Utilize a escala de Saaty para realizar essas comparações. Com base nas comparações por par serão geradas as matrizes de comparação, uma para cada nível da hierarquia. Cada matriz é avaliada pelo seu autovalor para verificar a coerência dos julgamentos. Este procedimento gera uma "razão de coerência" que será igual a 1 se todos os julgamentos forem coerentes entre si. Se um tomador de decisão disser que prefere X a Y, Y a Z, mas ele preferir Z a X, então a razão de coerência será maior do que 1,2 e os julgamentos deverão ser revistos. O sigilo dos nomes será mantido, sem a possibilidade de identificação pessoal. Em caso de dúvida entre em contato pelos endereços abaixo. Desde já, agradeço pela valiosa colaboração

Maria Belen Marin

Contato: +55 (48) 9.8470-7603
E-mail: mariabmarin@gmail.com
www.linkedin.com/in/maria-belenmarin
Instituto Federal de Santa Catarina-IFSC
Avenida Mauro Ramos 950 - Centro, Florianópolis (SC)
CEP:88020-300

Para responder o questionário deve-se pensar nos critérios e na comparação entre os mesmos observe o que deve ser levado em consideração no momento da análise conforme descrito na tabela da seção 1 e tabela fundamental de Saaty, apresentada na seção 2

* Este formulário registrará seu nome. Preencha-o.

Tabela 1: Critérios a serem observados ao responder o questionário

Critérios	Subcritérios	Relação geral dos critérios
Hidráulico/hidrológico	Vazão Captada (m ³ /s)	Quantidade de água retirada de uma fonte hídrica, parâmetro é crucial para avaliar o uso e a gestão dos recursos hídricos.
Ambientais	Meio Biótico	Aspectos ambientais associados a APPS, AFF, AS.
	Meio Físico	Aspectos ambientais relacionados diretamente à área alagada, processos minérios na ADA e trecho do rio alagado.
	Meio socioeconômico	Aspectos ambientais ligados à dinâmica populacional e de infraestrutura pública, bem como ao patrimônio cultural, histórico, artístico, espeleológico e arqueológico da área diretamente e indiretamente influenciada.
Interferências	Rede de Transmissão	Redes de transmissão dentro de uma bacia antes da implantação de uma barragem é fundamental para garantir a eficiência, segurança e viabilidade do projeto, além de facilitar a integração da energia hidrelétrica na rede elétrica região.
Qualidade d'água	Vazão Incremental	Referente ao ponto de captação, que em termos de qualidade d'água é mais favorável.
Financeiro	Custo (mi R\$)	Corresponde ao somatório dos custos supracitados, ou seja, os custos socioambientais e compensatório, de construção da barragem, de remoção da vegetação.

Tabela 2: Escala Fundamental de Saaty.

Para pontuar o questionário composto por perguntas de 1 a 10, utiliza-se a técnica de comparação par a par das alternativas, empregando a Escala Fundamental de Saaty, que varia de 1 a 9. Nesse processo, cada pergunta requer que se atribua valores de 1 a 9.

Níveis numéricos e seus graus de importância pelo método AHP	
Nível	Grau de importância
1	Igual
3	Pouco mais
5	Mais
7	Muito mais
9	Extremamente mais
2,4,6,8	Valores intermediários

1

Qual importância tem o critério Hidráulico/hidrológico em relação ao Ambiental?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

2

Qual importância tem o critério Hidráulico/hidrológico em relação a Interferência?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

3

Qual importância tem o critério Hidráulico/hidrológico em relação ao Qualidade d'água?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

4

Qual importância tem o critério Hidráulico/hidrológico em relação ao Econômico Financeiro?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

5

Qual importância tem o critério Ambiental em relação a Interferência?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

6

Qual importância tem o critério Ambiental em relação a Qualidade d'água?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

7

Qual importância tem o critério Ambiental em relação ao Econômico Financeiro?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

8

1 Qual importância tem o critério Interferência em relação a Qualidade d'água?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

9

Qual importância tem o critério Interferência em relação ao Econômico Financeiro?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

10

Qual importância tem o critério Qualidade d'água em relação ao Econômico Financeiro?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Este conteúdo não é criado nem endossado pela Microsoft. Os dados que você enviar serão enviados ao proprietário do formulário.