



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE PLANALTINA/FUP

RODOLFO SIQUEIRA DE BRITO

**DECISÕES APROPRIADAS PARA REÚSO DE ÁGUA NA MODERNIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS DE BRAZLÂNDIA-DF**

Brasília/DF, 2025



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA– UnB
FACULDADE DE PLANALTINA/FUP
PROFÁGUA - MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO
E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

RODOLFO SIQUEIRA DE BRITO

**DECISÕES APROPRIADAS PARA REÚSO DE ÁGUA NA MODERNIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS DE BRAZLÂNDIA-DF**

Dissertação de mestrado submetida à UnB – Campus Planaltina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Roberto Felizatto

RODOLFO SIQUEIRA DE BRITO

**DECISÕES APROPRIADAS PARA REÚSO DE ÁGUA NA MODERNIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS DE BRAZLÂNDIA-DF**

Dissertação de mestrado submetida à Faculdade de Planaltina-UnB como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre do programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Banca Examinadora

Prof. Dr. Mauro Roberto Felizatto (orientador)
ProfÁgua – Universidade de Brasília (UnB)

Dr. Gustavo Carneiro (avaliador externo)
ADASA – Agência de Água e Saneamento do DF

Prof. Dra. Lucijane Monteiro (avaliador interno)
ProfÁgua – Universidade de Brasília (UnB)

Prof. Dr. Antônio Nobre (suplente)
ProfÁgua – (Universidade de Brasília)

Brasília/DF, 19 de março de 2025.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

sd	<p>Siqueira de Brito, Rodolfo DECISÕES APROPRIADAS PARA REÚSO DE ÁGUA NA MODERNIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE BRAZLÂNDIA-DF / Rodolfo Siqueira de Brito; orientador Mauro Roberto Felizatto. Brasília, 2025. 192 p.</p> <p>Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) Universidade de Brasília, 2025.</p> <p>1. Segurança Hídrica. 2. Reúso de Água. 3. PESTEL. 4. Irrigação . 5. Análise Multicritério. I. Roberto Felizatto, Mauro , orient. II. Título.</p>
----	--

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa à Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), que na sagrada missão de ofertar água, saúde e qualidade de vida aos moradores do DF, trabalha dia e noite no projeto, construção, operação e manutenção dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário da capital federal do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida.

Agradeço a Cândido Mariano da Silva Rondon que, nascido em Mato Grosso da união entre uma índia da tribo Bororo e um vaqueiro pantaneiro, se formou engenheiro civil no Exército Brasileiro em 1888 na Escola Militar da Praia Vermelha-RJ. Aos 22 anos, Rondon participou ativamente da Proclamação da República Federativa do Brasil seguindo os passos de Benjamin Constant, seu professor de matemática e astronomia. Semeou a paz e o respeito em suas missões, plantando as sementes de um país mais justo com liberdade religiosa, igualdade racial e proteção aos povos indígenas. Com visão de futuro e inspirado no legado de José Bonifácio de Andrada e Silva, Rondon instalou mais de 6.000 km de redes telegráficas com apoio de povos indígenas, integrando o Brasil pelas comunicações. Rondon criou o Serviço de Proteção ao Índio (SPI), e ao lado de Darcy Ribeiro, criador da UnB, foi um dos responsáveis pela implantação do Parque Indígena do Xingu, um exemplo para o mundo de como se deve promover o respeito aos povos originários juntamente com a preservação ambiental.

Agradeço a meu pai Milton Carpena de Brito que, nascido em São Paulo da união entre uma imigrante espanhola e um motorista cearense, em 1972 se formou oficial do Exército Brasileiro na arma de Comunicações na AMAN, e em 1988 como mestre em telecomunicações pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) na Praia Vermelha-RJ. O Coronel Brito foi um homem de paz, que apesar de sua origem humilde, conquistou seus objetivos através dos estudos, destacando-se como exemplo de honestidade e dedicação ao trabalho. Serei eternamente grato pelos momentos que tivemos juntos nos estudos, nos esportes e em família. Nos quartéis onde serviu, promoveu seu estilo de trabalho marcado pela organização e tranquilidade, sempre focado no cumprimento das missões em campo e no escritório. Com sua consciência integradora, respeitou os mais humildes e procurou ajudar as pessoas mais necessitadas, valorizando seus talentos e oferecendo oportunidades de estudo e trabalho, seguindo os passos de Rondon.

Agradeço ao meu amado filho, Igor Rabelo Nogueira de Brito, que sempre me incentiva com seus carinhos e presença iluminada. Obrigado pelo privilégio de ser seu pai, e ter a honra de compartilhar a vida ao seu lado. Papai te ama!

Agradeço à minha mãe, Maria da Graça Siqueira de Brito, e a meu irmão Rafael Siqueira de Brito e família, pelos incentivos, motivação e apoio incondicional, especialmente durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Sou grato a meus avós Messias Fialio de Brito, Dolores Carpena de Brito, Maria Isabel de Siqueira e Raul Siqueira, cujas lutas no passado me conduziram às conquistas de hoje. Também

agradeço aos padrinhos e madrinhas, Antônio Carlos Paiva, Maria José Siqueira Paiva, Antônio Martiniano Siqueira e Edilena Thomaz de Siqueira, pelos incentivos e carinhos ao longo da vida.

Meu especial agradecimento à Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), pelas conquistas e lutas diárias na missão de fornecer água, saúde e qualidade de vida para a população do Distrito Federal. Agradeço o apoio institucional durante a realização desta capacitação no mestrado profissional ProfÁgua, principalmente da Escola Corporativa da CAESB. Agradeço aos colaboradores Leila Oliveira, Stefan Muhlhofer, Renan Brites, Glênio Júnior, Cristiano Mano, Paulo Araújo, Fábio Bacellar, Marco Lúcio, Diogo Soares, Rerison Goiana, Henrique Cruvinel, Edson Brigagão, Vladimir Puntel, Luís Harada, Carlos Eduardo e Ana Mota, cuja contribuição foi essencial para a realização desta pesquisa na CAESB.

Agradeço à CAPES, ANA e FUP/UnB pela realização do mestrado profissionalizante ProfÁgua, em especial aos professores Lucijane Monteiro de Abreu e Antônio de Almeida Nobre Júnior, que com suas visões sobre as águas e o meio ambiente, foram essenciais no desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço à comunidade do assentamento rural Maranatha de Brazlândia–DF, em especial ao senhor Jailson, presidente da Associação de Produtores Rurais do Projeto Maranatha (APRPM), que apoiou e participou das atividades de campo desta pesquisa. Sua dedicação voluntária aos temas socioambientais de interesse da comunidade foram fundamentais para a mobilização do assentamento rural Maranatha.

Agradeço ao gestor público Estevão Reis, pela visão socioambiental e condução de projetos estratégicos na vice-governadoria do GDF, concretizados nesta pesquisa pelo apoio institucional na oficina socioambiental de reúso de água na agricultura realizada no assentamento rural Maranatha, que contou com a participação da Vice-Governadoria, CAESB, IBRAM, ADASA, SEMA, Administração Regional de Brazlândia e EMATER-DF, motivando a participação presencial de cinquenta produtores rurais e gestores públicos.

Agradeço ao gestor público Gustavo Carneiro pela atuação decisiva no desenvolvimento da regulamentação do reúso de água no Distrito Federal na ADASA. Agradeço pela apresentação técnica proferida aos produtores no assentamento rural Maranatha durante a oficina socioambiental de reúso de água na agricultura. Obrigado pelas contribuições conceituais sobre tecnologia apropriada e análise multicritério no saneamento, que se mostraram ferramentas efetivas na seleção de decisões apropriadas em reúso de água integrando a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o setor do saneamento ambiental no DF.

Agradeço ao professor doutor Mauro Roberto Felizatto pela orientação nesta pesquisa, marcada pelo conhecimento científico e operacional em sistemas de esgotamento sanitário. Sou

grato pela condução nos estudos sobre reúso de água, especialmente no compartilhamento de vivências profissionais como analista de sistemas de saneamento na CAESB, professor universitário, pesquisador e consultor.

Agradeço ao professor Éder de Souza Martins do PPGCA-FUP/UnB da Embrapa Cerrados, que com sua visão integradora sobre as paisagens, mostrou a importância da gestão ambiental a partir de processos cíclicos orgânicos regionais. Agradeço por apresentar a integração existente entre a agricultura regenerativa e o saneamento ambiental através da economia circular, especialmente no reúso de água para irrigação na agricultura, e na produção de fertilizantes organominerais a partir de lodos de esgotos.

Por fim, agradeço ao professor emérito da UnB Marco Antônio Almeida de Souza pelas orientações e incentivos durante a graduação no campus Darcy Ribeiro em 2001, especialmente no trabalho de conclusão de curso, quando estudamos a eficiência de um protótipo de pós-tratamento eletrolítico de esgotos para reatores UASB. Obrigado pela confiança, sem essa experiência, não seria possível ter chegado aqui.

“Morrer se preciso for, matar nunca!”

Cândido Mariano da Silva Rondon, Marechal da Paz

RESUMO

A gestão dos recursos hídricos apresenta-se atualmente como um dos maiores desafios para a humanidade, sendo a escassez hídrica uma dura realidade enfrentada por diversas nações ao redor do mundo. Diante desse cenário global, os investimentos no reúso de água têm se consolidado como estratégia eficaz para incrementar a segurança hídrica nas cidades. Nesse contexto, a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) vai investir na modernização da Estação de Tratamento de Esgotos de Brazlândia (ETE Brazlândia), que será capaz de produzir água de reúso e receberá uma unidade de gerenciamento de lodo (UGL). Diante dessa nova realidade operacional, esta pesquisa estudou os principais impactos do empreendimento no Sistema de Esgotamento Sanitário de Brazlândia (SES Brazlândia), definindo objetivos e selecionando decisões apropriadas para o reúso de água no contexto da gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas do rio Descoberto no DF e do rio Verde em Goiás. Para tanto, a pesquisa realizou duas análises multicritério pelo método da ponderação aditivo-hierárquico para selecionar alternativas nos cenários interno e externo da CAESB. No cenário externo, o reúso de água direto restrito na agricultura foi escolhido como destinação apropriada na bacia hidrográfica do rio Descoberto, adotando-se objetivos PESTEL (Política, Economia, Sociedade, Tecnologia, Meio Ambiente e Legislação) no âmbito da PNRH, enquanto no cenário interno a alternativa de remoção biológica de nutrientes (RBN) associada com manobra de gestão de nutrientes e irrigação subsuperficial foi selecionada como configuração apropriada na ETE Brazlândia para reúso de água na agricultura em propriedades do assentamento rural Maranhá, considerando os objetivos de eficiência operacional, produtividade agrícola e adequação da irrigação, integrando aspectos de saneamento ambiental, agricultura e gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: Segurança hídrica, Reúso de Água, PESTEL, Irrigação, Análise Multicritério, Decisões Apropriadas.

ABSTRACT

Water resource management is currently one of the greatest challenges facing humanity, with water scarcity being a harsh reality faced by many nations around the world. Given this global scenario, investments in water reuse have become an effective strategy for increasing water security in cities. In this context, the Environmental Sanitation Company of the Federal District (CAESB) will invest in the modernization of the Brazlândia Wastewater Treatment Plant (Brazlândia WWTP), which will be capable of producing recovery water and will receive a sludge management unit (SMU). Given this new operational reality, this research studied the main impacts of the project on the Brazlândia Sewage System (Brazlândia SWS), defining objectives and selecting appropriate decisions for water reuse in the context of water resource management in the Descoberto River basins in the Federal District and the Verde River basin in Goiás. To this end, the research carried out two multicriteria analyses using the simple additive weighting method to select alternatives in the internal and external scenarios of CAESB. In the external scenario, restricted direct water reuse in agriculture was chosen as an appropriate destination in the Descoberto River basin, adopting PESTEL (Politics, Economy, Society, Technology, Environment and Legislation) objectives within the scope of the national water resources policy (NWRP), while in the internal scenario the alternative of biological nutrient removal (RBN) associated with nutrient management maneuver and subsurface irrigation was selected as an appropriate configuration in the Brazlândia WWTP for water reuse in agriculture on properties in the Maranatha rural settlement, considering the objectives of operational efficiency, agricultural productivity and irrigation adequacy, integrating aspects of environmental sanitation, agriculture and water resources management.

Keywords: Water security, Water reuse, PESTEL, Irrigation, Multicriteria analysis, Appropriate decisions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hospital Sarah Kubitschek no Lago Norte onde a ETE CAGIF encontra-se posicionada no canto lateral direito da imagem.....	21
Figura 2 - Vista aérea do conjunto experimental montado na Estação Experimental da UnB, com as mudas recém-plantadas.....	22
Figura 3 - Tratamento terciário da pesquisa de reúso de água na Embrapa Hortaliças	23
Figura 4 - Hortaliças irrigadas na pesquisa de reúso de água na Embrapa Hortaliças	24
Figura 5 - Reúso de água no Laboratório Sabin em Brasília-DF	25
Figura 6 - ETEs da CAESB e propriedades agrícolas (pontos vermelhos).....	27
Figura 7 - Werribee Treatment Plant (WTP), reúso de água na agricultura desde 1897	30
Figura 8 - Bandeira da Região Administrativa IV – Brazlândia associada com produção agrícola e localização geográfica no mapa do DF	34
Figura 9 - Assentamento rural Maranhã localizado na área rural de Brazlândia, dentro das poligonais da Área 3 da FLONA, e da APA do rio Descoberto.....	35
Figura 10 - Ocupação do solo e vegetação da área pesquisada.....	36
Figura 11 - Processos de outorga de captação superficial (azul) e subterrânea (vermelho) no assentamento rural Maranhã.....	37
Figura 12 - Processos em andamento na EMATER de produtores rurais no assentamento rural Maranhã com processos em andamento na EMATER-DF	38
Figura 13 - Imagem da barragem do lago Descoberto, infraestrutura em concreto responsável pela formação do maior manancial do Distrito Federal	41
Figura 14 - SES Brazlândia com três elevatórias e uma estação de tratamento de esgotos, garantindo proteção sanitária para o Lago do Descoberto	43
Figura 15 - ETE Brazlândia composta por duas lagoas anaeróbicas e duas lagoas facultativas em duas linhas paralelas	44
Figura 16 - SES Brazlândia após modernização da ETE Brazlândia	46
Figura 17 - Biorreator com Membranas em fibras e em placas	50
Figura 18 - Tecnologia RBN com Bardenpho 5 estágios.....	53
Figura 19 - Tanque de flotação por ar dissolvido.....	55

Figura 20 - Desinfecção ultravioleta em funcionamento	57
Figura 21 - Planta baixa ETE Brazlândia modernizada, com RAR representado em azul	58
Figura 22 - Modernização da ETE Brazlândia e objetivos específicos da pesquisa	62
Figura 23 - Análise multicritério pelo método da ponderação aditivo-hierárquica....	63
Figura 24 - Representação da ETE Brazlândia croqui de sistema de Abastecimento de Água de Reúso (SAAR) para propriedades do assentamento rural Maranatha ..	72
Figura 25 - Formação do perfil do tomador de decisão CAESB “membro do CBH Paranaíba-DF	76
Figura 26 - Componentes das alternativas de configuração na ETE Brazlândia modernizada.....	79
Figura 27 - Tratamento terciário com a tecnologia Remoção Biológica de Nutrientes (RBN)	80
Figura 28 - Tratamento terciário com a tecnologia Biorreator com Membranas (BRM)	81
Figura 29 - Formação do perfil do tomador de decisão CAESB “eficiente operacional com reúso de água na agricultura” através de contribuição dos “analistas decisores”	91
Figura 30 - Pesos dos critérios de avaliação para seleção da destinação apropriada das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada	97
Figura 31 - Pesos médios dos objetivos/fatores PESTEL adotados no cenário externo do tomador de decisão	98
Figura 32 - Fórmula adotada para cálculo de pontuação pelo método da ponderação aditivo-hierárquica (PAH)	101
Figura 33 - Pontuação final das alternativas para destinação apropriada das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada na bacia hidrográfica do rio Descoberto	103
Figura 34 - Pesos médios dos critérios de avaliação para seleção da configuração apropriada na ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura ...	109
Figura 35 - Pesos dos critérios agrupados por objetivos do tomador de decisão no cenário interno do tomador de decisão	109

Figura 36 - Resultado final das pontuações pelo método da ponderação aditivo-hierárquico das alternativas de configuração na ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura 113

Figura 37 - Decisões apropriadas nos cenários externo e interno do tomador de decisão para o reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto após modernização da ETE Brazlândia 121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual de disponibilidade hídrica e população na Terra.....	14
Tabela 2 - Soluções para controle da demanda e garantia da oferta na bacia do rio Urussanga: compatibilização entre disponibilidades e demandas.....	17
Tabela 3 - Exemplos de legislações brasileiras sobre reúso de água com ênfase na deliberação normativa CERH-MG n.º 65, adotada como referência nesta pesquisa	19
Tabela 4 - Dados gerais da estação de tratamento de esgotos de Brazlândia	45
Tabela 5 - Contribuições per capita	47
Tabela 6 - Parâmetros para lançamento efluente tratado da ETE Brazlândia modernizada.....	48
Tabela 7 - Resumo de materiais e métodos para atendimento aos objetivos específicos da pesquisa	61
Tabela 8 - Atores participantes da pesquisa	64
Tabela 9 - Coleta de dados primários no cenário externo do tomador de decisão CAESB	65
Tabela 10 - Coleta de dados primários para cenário interno do tomador de decisão CAESB	66
Tabela 11 - Dados secundários nos cenários interno e externo do tomador de decisão	68
Tabela 12 - Passo a passo análise multicritério pelo método da ponderação aditivo-hierárquica.....	68
Tabela 13 - Novas destinações para os efluentes tratados da ETE Brazlândia na bacia hidrográfica do rio Descoberto.....	69
Tabela 14 – Dados mensais de bombeamento da elevatória de efluentes tratados de Brazlândia.....	70
Tabela 15 - Fatores PESTEL adotados como objetivos no cenário externo	73
Tabela 16 - multiobjetivos PESTEL no reúso de água com multicritérios correspondentes.....	74
Tabela 17 - Estrutura de participação dos atores “analistas” entrevistados para construção dos pesos dos critérios	75
Tabela 18 - Passos para a análise multicritério para cenário interno.....	77

Tabela 19 - Componentes das alternativas de configuração da ETE Brazlândia para reúso de água na agricultura	79
Tabela 20 - Alternativas de configuração da ETE Brazlândia modernizada com reúso de água na agricultura	86
Tabela 21 - Objetivos e critérios relacionados com a eficiência operacional da tecnologia de tratamento terciário na ETE Brazlândia modernizada (9 objetivos e 9 critérios).....	88
Tabela 22 - Produtividade agrícola na análise multicritério	89
Tabela 23 - Objetivos e critérios relacionados para adequação de sistemas de irrigação.....	90
Tabela 24 - Atores “analistas decisores” na CAESB.....	90
Tabela 25 - Valores dos atributos para avaliação dos critérios das alternativas	93
Tabela 26 - Matriz de comparação de critérios de avaliação montada	95
Tabela 27 - Matriz de comparação normalizada de um dos “analistas” com pesos dos critérios calculados	95
Tabela 28 - Pesos dos critérios de avaliação obtidos pelos “analistas” membros do CBH Paranaíba-DF	95
Tabela 29 - Pesos dos critérios de avaliação no cenário externo ordenados por relevância	96
Tabela 30 - Peso médio total dos objetivos PESTEL. A segunda letra “E” da sigla PESTEL representa a palavra Environmental, que foi traduzida na tabela para Ambiental.....	98
Tabela 31 - Valores dos atributos para viabilidade dos critérios de avaliação utilizados pelos “especialistas” para analisar alternativa	99
Tabela 32 - Médias dos atributos obtidos via questionário aplicado aos “especialistas” em recursos hídricos, saneamento e meio ambiente	100
Tabela 33 - Cálculo da pontuação das alternativas pelo método da ponderação aditivo-hierárquica (PAH)	102
Tabela 34 - Pontuações das alternativas de destinação de reúso de água analisadas em Brazlândia.....	103
Tabela 35 - Matriz de comparação de critérios de avaliação montada com dados de importância fornecidos por um dos “analistas decisores” entrevistados.....	107

Tabela 36 - Matriz de comparação normalizada de um dos “analistas decisores” com pesos dos critérios calculados	107
Tabela 37 - Pesos dos critérios de avaliação obtidos pelos “analistas decisores” da CAESB	108
Tabela 38 - Pesos médios dos critérios para escolha no cenário interno do tomador de decisão	110
Tabela 39 - Peso total dos objetivos de acordo com perfil do tomador de decisão “CAESB eficiente operacional para o reúso de água”	111
Tabela 40 - Atributos utilizados para valorar os critérios de avaliação das alternativas de configuração da ETE Brazlândia	111
Tabela 41 - Médias dos atributos obtidos via questionário aplicado aos “especialistas” em recursos hídricos, saneamento e meio ambiente	112
Tabela 42 - Pontuações das alternativas por “analista decisor” e média final adotada como pontuação das alternativas	113
Tabela 43 - Pontuação final das alternativas de configuração da ETE Brazlândia para reúso na agricultura após aplicação do método da ponderação aditivo-hierárquico	114
Tabela 44 - Análise comparativa simplificada entre as opções de tratamento terciário RBN e BRM	120

LISTA DE SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ADI	Ação Direta de Inconstitucionalidade
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APA	Área de Proteção Ambiental
APLE	Avaliação dos Padrões de Efluentes de Esgotos
APRPM	Associação de Produtores Rurais do Projeto Maranatha
RBN	Remoção Biológica de Nutrientes
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CONAM-DF	Conselho de Meio Ambiente do Distrito Federal
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DF	Distrito Federal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMATER-DF	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal
EPAR	Estação de Produção de Água de Reúso
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
ETE CAGIF	ETE Compacta Automática de Grau de Infiltração Filtrante
ETR	Empresa de Regularização de Terras Rurais
FAD	Flotação por Ar Dissolvido
FLONA	Floresta Nacional de Brasília
GDF	Governo do Distrito Federal
IBRAM	Instituto Brasília Ambiental
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
LAC	Lodos Ativados Convencional

LO	Licença de Operação
BRM	Biorreator com Membranas
MBV	Manilha de Barro Vidrado
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PAH	Ponderação aditivo-hierárquica
PDSB	Plano Distrital de Saneamento Básico
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PESTEL	<i>Political, Economic, Socio-Cultural, Technological, Environmental and Legal</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico
PICAG	Projeto Integrado de Colonização Alexandre Gusmão
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PRE	Tratamento preliminar
ProfÁgua	Mestrado em Rede Nacional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PTARH/UnB	Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
PV	Poço de Visita
PVC	Policloreto de vinila
RAR	Reservatório de Água de Reúso
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAAR	Sistema de Abastecimento de Água de Reúso
SEMA	Secretaria de Meio Ambiente
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
STF	Supremo Tribunal Federal
TA	Tecnologia Apropriada
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UC	Unidades de Conservação

UGL	Unidade de Gerenciamento de Lodos
UnB	Universidade de Brasília
UV	Ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

ha	Hectares
J/cm ²	Joule por centímetro quadrado
l	Litro
l/s	Litros por segundo
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
mca	Metros de columna d'água
µg	Micrograma

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 JUSTIFICATIVA	3
3 OBJETIVOS	
3.1. Objetivo geral	5
3.2. Objetivos específicos.....	5
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
4.1 Tecnologia Apropriada (TA)	6
4.2 Análise multicritério no saneamento ambiental	7
4.3 Método da Ponderação aditivo-hierárquico (PAH)	9
4.4 Método AHP	10
4.5 Atores participantes de análises multicritério na gestão de recursos hídricos..	11
4.6 Ferramenta PESTEL na gestão de recursos hídricos	12
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
5.1. Reúso de água no mundo	13
5.2 Reúso de água no Brasil	15
5.3 Reúso de água no Distrito Federal	20
5.4 Reúso de água indireto potável.....	27
5.5 Reúso de água direto na agricultura.....	28
5.6 Tecnologias de tratamento terciário para reúso de água	32
5.7 Caracterização da área de pesquisa	33
5.8 A modernização da ETE Brazlândia.....	45
6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
6.1 Método da ponderação aditivo-hierárquica para seleção de decisões apropriadas	62

6.2 Seleção de destinação apropriada para reúso de água no cenário externo do tomador de decisão	68
6.3 Seleção da configuração apropriada na ETE Brazlândia modernizada para reúso de água no cenário interno do tomador de decisão.....	77
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	94
7.1 Resultados no cenário externo do tomador de decisão.....	94
7.2 RESULTADOS NO CENÁRIO INTERNO DO TOMADOR DE DECISÃO.....	106
7.3 Síntese dos Resultados.....	121
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	122
REFERÊNCIAS	128

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e industrial das cidades, aliado ao aumento da demanda por água e alimentos, exerce uma pressão crescente sobre o meio ambiente e os recursos hídricos. Estima-se que, até 2050, a população mundial aumente em cerca de 2 bilhões de pessoas (ONU, 2019), o que torna a garantia da disponibilidade hídrica um desafio central para o desenvolvimento sustentável. Para suprir essa expansão, será necessário produzir mais água, alimentos e energia, exigindo soluções inovadoras para a gestão dos recursos hídricos (TOSETTO, 2005; SABESP, 2008).

No contexto do Distrito Federal (DF), essa problemática assume contornos ainda mais críticos. Situado no bioma Cerrado, o DF é caracterizado por corpos hídricos de elevada qualidade e baixa vazão, são córregos e ribeirões que formam as bacias hidrográficas dos rios Maranhão/Tocantins, Paranaíba/Paraná e Preto/São Francisco. Entretanto, conforme Rebouças et al. (1999), o DF é o terceiro pior estado brasileiro em disponibilidade hídrica per capita, o que, somado à crescente pressão antrópica, agrava os riscos à sustentabilidade dos seus recursos hídricos. Como resultado, tem-se um fornecimento de água e capacidade de diluição limitados (PINTO FILHO; BRANDÃO, 2001).

Contudo, a expansão urbana desordenada, as ocupações irregulares e a crescente degradação ambiental do bioma Cerrado comprometem a segurança hídrica da capital federal.

As queimadas e o desmatamento do Cerrado afetam diretamente as áreas de proteção de mananciais, nascentes e pontos de captação de água. Essas interferências comprometem a segurança hídrica do DF e ameaçam a efetividade dos sistemas produtores de água operados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

No período de 2016 a 2018, o DF enfrentou uma crise hídrica sem precedentes em sua história, com seus reservatórios de acumulação atingindo níveis historicamente baixos impactando diretamente no abastecimento da população. Na época, as condições climáticas do Centro-Oeste foram marcadas por baixas precipitações, ar seco e temperaturas elevadas, resultando na maior crise hídrica da

história do DF. Essa crise gerou grande comoção social e ampla cobertura midiática, pois as áreas atendidas pela CAESB enfrentaram problemas de desabastecimento inéditos na capital federal, sendo necessário estabelecer ações emergenciais de uso racional da água, controle de pressão e revezamentos entre os setores de abastecimento.

Nas cidades onde a escassez hídrica é uma realidade na gestão dos recursos hídricos, o reúso de água surge como alternativa para reduzir a pressão sobre os mananciais, especialmente em regiões com demanda superior à disponibilidade hídrica, apesar dos desafios culturais e tecnológicos relacionados à implantação dessa prática (SANTOS; VIEIRA, 2020).

Superada a crise de 2018, a ADASA intensificou suas ações regulatórias, culminando na publicação da Resolução nº 005/2022, que estabelece diretrizes para o reúso de água não potável em edificações no DF. Além disso, em 2023, a agência contratou a UNESCO para elaborar um diagnóstico sobre o potencial do reúso na agricultura, considerando os efluentes tratados pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) operadas pela CAESB.

Nesse contexto distrital regulatório relacionado ao reúso de água, a modernização da ETE Brazlândia destaca-se como solução técnica com potencial de implantação de reúso de água. Estudos recentes, como o de Brites et al. (2023), identificaram as ETEs de Brazlândia, Sobradinho, São Sebastião e Planaltina como as mais promissoras para a destinação de efluentes tratados à agricultura. Dentre as estações analisadas, a ETE Brazlândia foi a que apresentou condições mais favoráveis para o reúso de água, sendo classificada como apta para a modalidade agrossilvipastoril de uso limitado, de acordo com os critérios normativos da Deliberação CERH-MG nº 65/2020.

A decisão de modernizar a ETE Brazlândia foi impulsionada por três fatores principais: (i) a necessidade de ampliar a proteção sanitária da bacia do Rio Descoberto, (ii) o incremento da segurança hídrica no lago do Descoberto e (iii) os benefícios ambientais para o vale do Rio Verde, em Goiás. Desde os anos 2010, a CAESB planeja essa modernização, visando elevar a capacidade de tratamento da estação para o nível terciário e aumentar sua eficiência operacional.

Em 2025, após anos de planejamento e alocação de recursos, a CAESB investirá aproximadamente R\$ 32 milhões na modernização da ETE Brazlândia. Esse

investimento contemplará a introdução de processos avançados na unidade, tais como remoção de nutrientes, polimento final, desinfecção ultravioleta (UV) e a implementação de uma unidade de gerenciamento de lodos (UGL). Com essas melhorias, a estação será capaz de tratar uma vazão de 75 L/s, produzindo água de reúso para irrigação em propriedades rurais e reforço hídrico no Lago do Descoberto, além de manter a possibilidade de envio de vazões para o rio Verde na bacia hidrográfica do rio Maranhão.

A modernização da ETE Brazlândia representará uma mudança significativa na gestão dos esgotos gerados na bacia hidrográfica do rio Descoberto, trazendo novos desafios operacionais e estratégicos. O funcionamento das novas etapas de tratamento e a destinação das águas de reúso exigirão decisões técnicas embasadas em metodologias robustas.

Neste contexto, a presente pesquisa emprega o conceito de tecnologia apropriada com análises multicritério para selecionar decisões para viabilizar o melhor aproveitamento possível das águas de reúso. No cenário externo, busca-se decidir sobre a destinação apropriada para a água de reúso produzida na bacia hidrográfica do rio Descoberto, enquanto no cenário interno analisa-se a configuração apropriada na ETE Brazlândia modernizada para viabilizar o reúso direto restrito na agricultura em propriedades rurais do Assentamento Rural Maranatha.

2 JUSTIFICATIVA

O Sistema de Esgotamento Sanitário de Brazlândia (SES Brazlândia) desempenha um papel relevante no saneamento ambiental do DF. Isso ocorre porque, além de viabilizar a coleta, bombeamento, tratamento e destinação de aproximadamente 45 l/s de esgotos domésticos gerados diariamente em Brazlândia, esse sistema viabiliza a proteção das águas superficiais e subterrâneas que abastecem o lago do Descoberto juntamente com o SES Águas Lindas em Goiás, contribuindo decisivamente para a qualidade das águas do principal manancial do DF.

Desde 1983, a ETE Brazlândia realiza o tratamento secundário dos esgotos gerados na região, destinando-os posteriormente, por bombeamento, ao rio Verde, em Goiás. O tratamento secundário da estação não prevê a remoção de nutrientes, fato que ao longo dos 42 (quarenta e dois) anos de funcionamento do sistema tem

influenciado nos processos de eutrofização ocorridos no corpo hídrico receptor. Além disso, essa destinação representa uma exportação de recursos hídricos entre DF e Goiás, e uma transposição entre as bacias hidrográficas do rio Descoberto/Paranaíba e do rio Verde/Maranhão com custos energéticos e impactos ambientais.

Para deixar de bombear os efluentes tratados da ETE Brazlândia para Goiás, transformando-os em disponibilidade hídrica no DF, seria necessário destiná-los na bacia hidrográfica do rio Descoberto. Para tanto, essa possibilidade de destinação vai requer que os efluentes sejam tratados em nível terciário, com remoção de nutrientes, polimento final e desinfecção. Dessa forma, a viabilização dessa nova destinação demandará investimentos financeiros da CAESB na modernização da ETE Brazlândia. Acredita-se que os benefícios esperados para esse empreendimento terão impactos positivos na gestão dos recursos hídricos e no meio ambiente das bacias hidrográficas do rio Descoberto no DF, e do rio Verde em Goiás.

Diante disso, a modernização da ETE Brazlândia apresenta-se como uma oportunidade para a CAESB desenvolver um modelo operacional de reúso de água, associando os efluentes de uma estação de tratamento de esgotos a destinações que impactem positivamente a gestão dos recursos hídricos, o meio ambiente e a sociedade. Nesse contexto, a presente pesquisa selecionará decisões apropriadas nos cenários externo e interno da CAESB considerando o reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto por meio de análise multicritério, estimulando o debate técnico sobre o reúso de água no DF, fornecendo resultados e discussões que vão contribuir para o desenvolvimento de futuras pesquisas, projetos e investimentos em soluções para o reúso de água que poderão ser aplicadas em outras estações de tratamento de esgotos da CAESB.

3 OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é selecionar, por meio de análises multicritério, decisões apropriadas para o reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto, após a modernização da ETE Brazlândia no Distrito Federal.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1. Definir, por meio de análise multicritério, a destinação apropriada para as águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada na bacia hidrográfica do rio Descoberto.

3.2.2. Selecionar, por meio de análise multicritério, a configuração apropriada na ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura em propriedades do assentamento rural Maranhá.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 TECNOLOGIA APROPRIADA (TA)

A busca por soluções efetivas para o reúso de água no saneamento ambiental, geralmente, requer a modernização das estações de tratamento de esgotos, especialmente diante das evoluções tecnológicas disponíveis. Esse processo representa uma transição de realidades estruturais e operacionais repletas de adaptações nas formas de pensar e de agir. Juntamente com essas adaptações, surgem situações em que decisões importantes precisam ser tomadas, e é nesse contexto que a tecnologia apropriada se apresenta como ferramenta para estruturar cenários e auxiliar o tomador de decisão.

De acordo com Carneiro et al. (2001), são encontradas na literatura utilizações do termo TA em diversas circunstâncias, onde o termo é associado às expressões: tecnologia alternativa, tecnologia ótima, tecnologia adequada, tecnologia intermediária, tecnologia modesta, tecnologia de baixo custo, entre outros. Destaca-se a definição apresentada por Willoughby (1990): “Uma tecnologia apropriada é definida como aquela que melhor se ajusta ao contexto psicossocial e biofísico prevalente em um local e um período particular”.

Vale ressaltar que, ao valorizar o fator tempo para a escolha de uma solução apropriada em saneamento ambiental, Carneiro et al. (2001) estabelece um ponto em comum com a ferramenta PESTEL (Política, Economia, Sociedade, Tecnologia, Meio Ambiente e Legislação) da administração, onde o fator tempo se apresenta como um parâmetro relevante para os negócios, especialmente ao considerar as impressões do mercado que oscilam constantemente sobre um produto ou uma determinada empresa analisada.

Carneiro et al. (2001) enfatizam que a escolha da TA ainda representa um ponto de convergência e harmonização de diferentes variáveis técnicas, econômicas, sociais, ambientais e culturais, constituindo-se em um instrumento para se alcançar a melhor aplicabilidade das tecnologias desenvolvidas.

A PNRH, instituída pela Lei n.º 9.433/1997, estabelece os comitês de bacias hidrográficas como espaços colegiados de gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos no Brasil. Esses comitês, compostos por representantes do poder público, dos usuários de água e da sociedade civil, desempenham papel fundamental

no planejamento e na gestão das águas, mas frequentemente enfrentam desafios relacionados à diversidade de interesses e à complexidade das demandas socioeconômicas e ambientais (JACOBI *et al.*, 2009; ANA, 2020).

De acordo com a ANA (2020), os conflitos existentes nesses comitês refletem a heterogeneidade dos atores envolvidos, cada qual com perspectivas distintas sobre o uso e a conservação dos recursos hídricos. Entre os principais pontos de tensão, destacam-se: (i) disputas entre setores usuários, como abastecimento público, irrigação, geração de energia e indústria, especialmente em cenários de escassez hídrica; (ii) assimetrias de poder e informação, onde grandes usuários frequentemente possuem maior influência sobre as decisões em detrimento de comunidades locais e pequenos produtores; e (iii) divergências sobre critérios de alocação de água e priorização de investimentos em infraestrutura hídrica. Além disso, a fragmentação institucional e a falta de articulação entre políticas públicas agravam os desafios de governança.

Nesse contexto, o conceito de TA emerge como uma ferramenta estratégica para a gestão e resolução de conflitos. Definida como o conjunto de tecnologias ajustadas às condições locais, que respeitam os limites ambientais, as capacidades técnicas e financeiras dos usuários, e promovem o desenvolvimento sustentável, a TA pode desempenhar um papel fundamental em processos decisórios inclusivos e racionais (SCHUMACHER, 1973; RAMOS *et al.*, 2018).

Conforme postulado por Ramos *et al.* (2018), a aplicação da TA nos comitês de bacias pode nortear a tomada de decisão ao incorporar critérios técnicos baseados em evidências científicas e soluções adaptadas às condições específicas das bacias hidrográficas. Por exemplo, tecnologias para reuso de água, manejo sustentável de solo e monitoramento hidrológico podem ser implementadas de forma colaborativa, atendendo simultaneamente às demandas dos diferentes setores e mitigando disputas por recursos escassos.

4.2 ANÁLISE MULTICRITÉRIO NO SANEAMENTO AMBIENTAL

A análise multicritério emergiu no século XX como uma resposta à crescente complexidade das decisões em sistemas que envolvem múltiplas dimensões de avaliação, como economia, meio ambiente e sociedade. Essas abordagens ganharam relevância nas décadas de 1960 e 1970, especialmente com o desenvolvimento de

métodos matemáticos voltados para a otimização em contextos de conflito entre diferentes objetivos. Segundo Keeney e Raiffa (1976), o objetivo fundamental dessas análises é permitir a estruturação e hierarquização de preferências, fornecendo suporte para decisões mais informadas e transparentes.

As teorias multicritério de auxílio à decisão propõem abordagens que permitem tratar de problemas decisórios que apresentam mais de um objetivo, de acordo com Souza (2001), o qual também aponta para a evolução teórica do tema nos anos 1980, quando foram construídos fundamentos para o surgimento de uma nova "ciência" capaz de contribuir para as tomadas de decisão.

No campo da gestão de recursos hídricos, a análise multicritério tem se destacado como uma ferramenta essencial devido à natureza multidimensional dos problemas, que frequentemente envolvem o equilíbrio entre segurança hídrica, custo econômico e sustentabilidade ambiental (MENDOZA; MARTINS, 2006). Métodos como o AHP têm sido amplamente utilizados para priorizar intervenções em sistemas hídricos e avaliar alternativas tecnológicas para o tratamento de água e esgoto. A partir das contribuições de Saaty (1980), o AHP se tornou um dos métodos mais aplicados por sua simplicidade e capacidade de lidar com critérios quantitativos e qualitativos, sendo adotado nesta pesquisa para construção dos pesos dos critérios.

No setor de saneamento, a análise multiobjetivo também se mostra útil para viabilizar escolhas em diferentes contextos socioeconômicos. O uso dessas ferramentas permite considerar fatores como eficiência técnica, viabilidade econômica, impacto ambiental e aceitação social, o que é vital para assegurar a sustentabilidade das intervenções (MOURA; SILVA; SOUZA, 2020). No Brasil, essa abordagem tem sido empregada na seleção de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto, que muitas vezes precisam atender às especificidades de comunidades rurais e regiões periféricas.

Além disso, a integração de modelos de análise multicritério com ferramentas de geoprocessamento e sistemas de informações geográficas (GIS) tem ampliado a capacidade de análise espacial e temporal em projetos de gestão hídrica e saneamento (MALCZEWSKI, 1999). Essa integração possibilita, por exemplo, identificar áreas prioritárias para intervenções com base em critérios como risco de escassez hídrica, vulnerabilidade socioambiental e eficiência no uso de recursos.

Portanto, a análise multiobjetivo e multicritério desempenha um papel estratégico na gestão de recursos hídricos e no saneamento ambiental, permitindo

que as decisões sejam mais fundamentadas e alinhadas aos princípios da sustentabilidade e da equidade. O contínuo avanço dessas metodologias, aliado ao desenvolvimento de ferramentas computacionais mais acessíveis, promete ampliar ainda mais seu impacto nos próximos anos.

4.3 MÉTODO DA PONDERAÇÃO ADITIVO-HIERÁRQUICO (PAH)

O método da ponderação aditivo-hierárquica (PAH) constitui uma ferramenta amplamente utilizada na análise multicritério de apoio à decisão, especialmente em contextos que demandam a avaliação de alternativas com base em múltiplos critérios.

Esse método permite agregar preferências individuais de critérios ponderados de forma hierárquica e compensatória, facilitando a sistematização de julgamentos e a construção de rankings mais representativos das prioridades decisórias. Conforme destaca (SOUZA, 2019), a ponderação aditivo-hierárquica é particularmente eficaz quando se busca interpretar estruturas complexas de decisão, como ocorre na gestão ambiental e nos sistemas de recursos hídricos, devido à sua capacidade de articular múltiplas escalas e níveis decisórios.

Nessa metodologia, os critérios são organizados em uma estrutura hierárquica que reflete os objetivos do decisor, sendo atribuídos pesos a cada nível da hierarquia com base na sua importância relativa. A função aditiva permite somar os valores de desempenho das alternativas ponderados pelos respectivos pesos, resultando em uma pontuação global que orienta a seleção ou ordenamento das opções. Segundo (SAATY, 1980), essa estrutura possibilita decisões mais transparentes e racionais, ao explicitar as preferências do tomador de decisão de forma lógica e estruturada.

Além disso, o método se mostra robusto em cenários de incerteza e conflitos de interesse, permitindo análises de sensibilidade quanto às ponderações atribuídas. (ALMEIDA-DIAS *et al.*, 2010) reforçam a versatilidade da PAH ao destacá-la como uma das abordagens mais adequadas para problemas de ordenação e escolha com múltiplos objetivos. Para (VINCKE, 1992), essa metodologia é especialmente útil quando os critérios são qualitativamente distintos, mas exigem tratamento equitativo na agregação.

No estudo conduzido por (SOUZA, 2019), a aplicação da PAH foi fundamental para hierarquizar alternativas de intervenção em bacias hidrográficas do Distrito Federal, incorporando aspectos técnicos, ambientais e sociais de maneira integrada.

O autor salienta que a clareza na definição dos pesos e na estruturação dos critérios é decisiva para a legitimidade do processo decisório. A ponderação aditivo-hierárquica, nesse contexto, não apenas facilita a avaliação do equilíbrio entre critérios conflitantes, mas também fortalece a governança participativa e o planejamento estratégico em políticas públicas.

Assim, esse método consolida-se como uma abordagem metodológica eficiente para problemas complexos de decisão, oferecendo suporte analítico rigoroso e flexível para o enfrentamento de desafios multidimensionais.

4.4 MÉTODO AHP

Criado por Thomas Saaty, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) utiliza escalas numéricas para refletir a importância relativa dos critérios e alternativas, permitindo decisões mais fundamentadas (SAATY, 1980), auxiliando na tomada de decisões complexas, estruturando o problema em hierarquias e priorizando alternativas com base em comparações pareadas.

O método permite estruturar problemas em forma hierárquica, facilitando a decomposição de um objetivo principal em critérios, subcritérios e alternativas. Essa estrutura hierárquica é especialmente útil em contextos que envolvem múltiplos fatores de decisão, muitas vezes conflitantes, como ocorre na gestão de recursos hídricos. O AHP combina julgamentos qualitativos e quantitativos por meio de comparações pareadas, atribuindo pesos relativos a cada critério com base na importância percebida por especialistas ou tomadores de decisão.

Na aplicação do método de análise multicritério com ponderação aditivo-hierárquica, o AHP se mostra extremamente eficaz, pois fornece uma base sistemática para definir os pesos dos critérios e subcritérios.

No campo da gestão de recursos hídricos, onde são comuns decisões envolvendo múltiplas dimensões — como disponibilidade hídrica, qualidade da água, custos, impactos ambientais e sociais — o AHP permite incorporar diferentes perspectivas de forma transparente e participativa. Além disso, possibilita o envolvimento de especialistas, gestores públicos e comunidades locais no processo decisório, promovendo maior legitimidade e aceitação das decisões. Dessa forma, o

AHP, aliado à ponderação aditivo-hierárquica, constitui uma ferramenta poderosa para apoiar políticas públicas e estratégias sustentáveis de uso e conservação da água.

4.5 ATORES PARTICIPANTES DE ANÁLISES MULTICRITÉRIO NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A análise multicritério é uma abordagem metodológica poderosa para apoiar decisões em contextos complexos, caracterizados pela multiplicidade de objetivos, incertezas e agentes envolvidos. Dentro desse escopo, a classificação dos atores constitui uma etapa estratégica e estruturante, pois permite compreender quem são os indivíduos e grupos que influenciam ou são afetados pelo processo decisório, quais seus interesses, graus de influência e responsabilidades formais ou informais.

Segundo Souza (2001), os atores são definidos como “grupos de pessoas e/ou indivíduos, perfeitamente identificáveis, que participam direta ou indiretamente do processo decisório”, podendo ser classificados em *analistas* (responsáveis pela modelagem e aplicação dos métodos) e *decisores*, que abrangem os *decisores efetivos*, os *grupos de pressão (stakeholders)* e os *especialistas* (cientistas e técnicos com influência sobre o julgamento técnico).

Em problemas de engenharia sanitária e ambiental, especialmente na seleção de tecnologias para o tratamento de efluentes, cria-se um cenário típico de *multidecisor*, com diversos interesses e critérios conflitantes, conforme postulado por Souza (2001). Nesses casos, a análise multicritério se mostra particularmente útil, pois permite integrar diferentes visões e prioridades por meio da construção de uma matriz de consequências, onde os valores atribuídos aos critérios refletem o posicionamento dos diversos atores.

Souza (2001) ainda enfatiza a importância de considerar o contexto tecnológico como um elemento que influencia diretamente a avaliação, propondo uma metodologia estruturada em cinco fases, que inclui a pré-seleção de alternativas, avaliação técnica, avaliação socioeconômica e, finalmente, a análise tecnológica global, com a aplicação de métodos como a *Ponderação Aditiva*, *Compromise Programming* e *ELECTRE III*.

Além disso, a obra de Brugha e Varvasovszky (2000) contribui ao oferecer uma ferramenta analítica para mapear atores com base em dois eixos: interesse e influência, permitindo uma tipologia clara de stakeholders e auxiliando na formulação de estratégias participativas adequadas. Já Munda (2004) propõe a incorporação da racionalidade plural, reconhecendo que a tomada de decisão em ambientes sociotécnicos deve integrar valores éticos, sociais e culturais, além de critérios técnicos. Nessa perspectiva, a inclusão dos atores não é apenas uma exigência técnica, mas um imperativo democrático, que reforça a legitimidade e a sustentabilidade das escolhas realizadas.

Portanto, a classificação dos atores em análises multicritério deve ser tratada não como um procedimento auxiliar, mas como um pilar metodológico fundamental para a construção de soluções equilibradas, negociadas e eficazes. Incorporar suas percepções, preferências e conflitos ao modelo decisório não só melhora a qualidade técnica da decisão, como também fortalece sua aceitação social e viabilidade prática.

4.6 FERRAMENTA PESTEL NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A ferramenta PESTEL, ao considerar fatores Políticos, Econômicos, Sociais, Tecnológicos, Ambientais e Legais, oferece uma abordagem estratégica essencial para a tomada de decisão em políticas públicas, como as relacionadas ao reúso de água.

No contexto da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/1997, os fundamentos e objetivos estabelecidos encontram correspondência direta com esses fatores. Politicamente, destaca-se a descentralização da gestão e a participação do poder público, usuários e comunidades, coerente com o princípio da gestão participativa. Do ponto de vista econômico, a água é reconhecida como um bem de valor econômico, o que demanda alternativas eficientes e sustentáveis, como o reúso planejado.

No aspecto social, a PNRH visa assegurar o uso múltiplo das águas e o atendimento prioritário ao consumo humano e à dessedentação de animais, o que exige justiça socioambiental e segurança hídrica. A dimensão tecnológica se reflete na necessidade de soluções inovadoras para o tratamento e monitoramento da água

reutilizada. Já os fatores ambientais e legais estão alinhados à preservação da qualidade dos recursos hídricos e à obrigatoriedade de outorga para usos significativos, conforme diretrizes legais.

Nesse sentido, Gul et al. (2021), ao analisarem a aplicação da ferramenta PESTEL para decisões de reúso de água na África do Sul, destacam que a integração desses fatores permite uma avaliação mais holística e eficaz das alternativas, especialmente em contextos de escassez hídrica e pressões socioeconômicas. Assim, a adoção da matriz PESTEL permite ao tomador de decisão avaliar com maior abrangência as alternativas de reúso de água, escolhendo aquela que melhor se harmoniza com os objetivos da PNRH: garantir água em quantidade e qualidade adequadas, promover o uso racional e integrado dos recursos hídricos, e prevenir conflitos de uso, sempre em consonância com a sustentabilidade ambiental.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. REÚSO DE ÁGUA NO MUNDO

No sumário de “Last Oasis”, Sandra Postel menciona como a Terra, vista do espaço, parece predominantemente azul, visão que nos dificulta imaginar que o planeta sofra com a escassez de água. Apesar desse azul nos remeter à presença da água, sabe-se que mais de 99% não é diretamente utilizável para o consumo humano, seja devido à salinidade ou ao alto custo de utilização.

Em muitas regiões do mundo, os recursos hídricos disponíveis são insuficientes para atender à crescente demanda das populações. Estima-se que cerca de 262 milhões de pessoas em 26 países vivam em áreas classificadas como de escassez de água. Paradoxalmente, o crescimento populacional é mais acelerado justamente nas regiões onde a falta de água é mais crítica, conforme apontado por Mancuso (2003). A crescente escassez hídrica mundial tem impulsionado avanços em pesquisas científicas e tecnológicas, especialmente em países da Comunidade Econômica Europeia e na região do Oriente Médio e norte da África (MENA), reconhecida como a mais carente de recursos hídricos no planeta (Mancuso, 2003).

Em 1958, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas definiu diretrizes para a gestão de recursos hídricos em áreas de escassez, propondo que água de boa

qualidade seja reservada para usos prioritários, enquanto usos tolerantes à qualidade inferior devem utilizar fontes alternativas (Goldenfum, 2006).

Essa diretriz visava preservar fontes de água potável e promover o uso de águas de qualidade inferior em atividades compatíveis, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos.

Para ampliar a compreensão global sobre a disponibilidade de água, a Tabela 1 compara a distribuição de recursos hídricos e população nos diferentes continentes, destacando as disparidades regionais e reforçando a necessidade de uma gestão estratégica para minimizar os impactos da escassez. Os dados evidenciam a distribuição desigual dos recursos hídricos na Terra, ilustrando, por exemplo, a grande discrepância na disponibilidade hídrica entre a América do Sul e a Ásia. Essa heterogeneidade ressalta a importância de estratégias globais para mitigar os impactos da escassez hídrica, especialmente nas regiões mais afetadas.

Tabela 1 - Percentual de disponibilidade hídrica e população na Terra

Continente	Água (%)	População (%)
América do Norte e Central	15	8
América do Sul	26	6
Europa	8	13
África	11	13
Ásia	36	60
Austrália e Oceania	5	1

Fonte: adaptado Tundisi (2011)

Nesse contexto, o reúso de água tem emergido como uma alternativa viável para atender à crescente demanda global. A reutilização de água em setores como indústria, agricultura e áreas urbanas reduz a pressão sobre fontes de água potável e contribui significativamente para a segurança hídrica em diversas regiões (SHIKLOMANOV, 2000). Inúmeras iniciativas ao redor do mundo vêm implementando abordagens específicas de reúso, adaptadas às particularidades e desafios locais.

Nos Estados Unidos, a Califórnia se destaca como referência em projetos de reúso de água, com destaque para o sistema desenvolvido pelo “*Orange County*

Water District” (OCWD). Esse projeto é considerado um dos mais avançados do mundo em purificação de águas residuárias para consumo potável indireto. Ele coleta, trata e injeta águas reutilizadas em aquíferos subterrâneos, assegurando a potabilidade por meio de tecnologias de ponta, como ultrafiltração, osmose inversa e desinfecção ultravioleta (OCWD, 2021).

Frente aos desafios globais, a prática de reúso de água se consolida como uma solução estratégica para promover segurança hídrica e sustentabilidade ambiental. O exemplo da Califórnia destaca-se pela importância de políticas públicas integradas, inovação tecnológica e conscientização social. O reúso de água não é apenas uma resposta aos desafios da mudança climática e da crescente demanda hídrica, mas também um pilar essencial para garantir um futuro sustentável para as próximas gerações.

5.2 REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL

Embora o Brasil possua cerca de 8% da reserva mundial de água doce, 80% dessa quantidade encontra-se na região Amazônica, enquanto os 20% restantes estão distribuídos nas regiões onde vivem 95% da população brasileira, conforme Mancuso (2003). Em 2001, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) criou uma equipe de estudos para desenvolver um programa nacional de reúso como solução para reduzir a pressão sobre os mananciais e prolongar as reservas hídricas dos rios.

Guimarães et al. (2007) reforçam que o Brasil avança lentamente em direção à sustentabilidade globalmente reconhecida, sobretudo no uso eficiente da água, no controle ambiental e na geração de benefícios socioeconômicos. Apesar de o reúso de água ser amplamente praticado em países como Oriente Médio, Peru, Austrália e Estados Unidos, no Brasil sua aplicação, especialmente na agricultura, ainda é incipiente. Poucas regulamentações foram publicadas, com avanços pontuais em estados como Ceará, Minas Gerais e São Paulo.

A principal preocupação das entidades gestoras de recursos hídricos está em equilibrar a oferta e a demanda, especialmente para atender às crescentes necessidades da agricultura irrigada (MANCUSO, 2003). Hespanhol (2002) também aponta que, embora muitas áreas apresentem precipitações anuais significativas, elas nem sempre conseguem gerar vazões suficientes para demandas elevadas. Isso

resulta em conflitos pelo uso da água, restrições de consumo e impactos negativos na economia e na qualidade de vida das comunidades. Nesse cenário, o conceito de “substituição de fontes” surge como uma alternativa viável, direcionando águas de qualidade inferior para demandas menos restritivas e reservando as fontes de melhor qualidade para usos prioritários, como o abastecimento doméstico (MANCUSO, 2003).

A disseminação da prática de reúso de água no Brasil e no DF enfrenta, como um dos principais entraves, a ausência de regulamentação específica, refletindo um contexto nacional mais amplo. As diretrizes e recomendações sobre essa prática começaram a ganhar corpo durante o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), especialmente no PROSAB 3, realizado nos anos 2000. Esse ciclo do programa abordou o tema do reúso de água e resultou na publicação de importantes resoluções pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Entre essas normativas, destacam-se a Resolução CNRH nº 54/2005 (BRASIL, 2005), que definiu modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reúso direto não potável, e a Resolução CNRH nº 121/2010 (BRASIL, 2010), que estabeleceu critérios específicos para o reúso nas modalidades agrícola e florestal. Apesar dos avanços nesse período, houve um intervalo significativo sem novos desenvolvimentos normativos no âmbito federal. Contudo, a pressão exercida por setores do saneamento, industrial e agrícola impulsionou a formulação de regulamentações estaduais.

No cenário estadual, destacam-se iniciativas como a do Ceará, com a Lei Estadual nº 16.033/2016, que institui a política de reúso de água não potável (CEARÁ, 2016), complementada pela Resolução COEMA nº 002/2017, que define modalidades e padrões de qualidade (FORTALEZA, 2017). Minas Gerais seguiu com a Deliberação Normativa CERH-MG nº 65/2020, abrangendo os contextos urbano, industrial, ambiental e (MINAS GERAIS, 2020). No Rio Grande do Sul, a Resolução CONSEMA nº 419/2020 regula o reúso nas modalidades urbana, industrial, agrícola e florestal (RIO GRANDE DO SUL, 2020). São Paulo também avançou com a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017, que estabelece parâmetros para o reúso urbano não potável em atividades como irrigação paisagística, lavagem de vias públicas e privadas, construção civil, entre outras.

A ANA, criada pela Lei nº 9.984/2000, desempenha um papel fundamental na promoção do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), conforme previsto no inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e na Lei nº 9.433/1997. Entre suas atribuições, destaca-se a gestão de recursos hídricos durante períodos de seca prolongada, especialmente no Nordeste, e o enfrentamento da crescente poluição dos cursos d'água no território nacional.

Apesar do avanço normativo e institucional, Salati (1999) observou que, dois anos após a criação da Lei nº 9.433/1997, os Planos Diretores de Recursos Hídricos de bacias hidrográficas ainda não incluíam incentivos ao reúso de água, possivelmente devido ao desconhecimento tecnológico e a barreiras socioculturais (GUIMARÃES *et al.*, 2007). Vinte anos depois, observa-se ainda um lento crescimento nos incentivos ao reúso de água, principalmente em relação às regulamentações e investimentos. Com os recorrentes eventos de escassez hídrica, o tema reúso de água sempre é retomado na academia e na sociedade como alternativa de disponibilidade.

Esse avanço na conscientização é exemplificado pelo Plano de Recursos Hídricos do rio Urussanga, em Santa Catarina, que apresenta recomendações voltadas ao alinhamento entre a oferta e a demanda de água na bacia, conforme demonstra a Tabela 2. Este quadro, parte integrante do Plano de Recursos Hídricos do rio Urussanga, apresenta diversas soluções voltadas à gestão eficiente dos recursos hídricos.

Tabela 2 - Soluções para controle da demanda e garantia da oferta na bacia do rio Urussanga: compatibilização entre disponibilidades e demandas

Tipo de Solução	Setor	Soluções
Controle de demanda	Abastecimento público	<ul style="list-style-type: none"> • Redução das perdas do abastecimento público • Reúso de água para fins não potáveis
	Indústria	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de eficiência em processos produtivos • Reúso de água
	Irrigação	<ul style="list-style-type: none"> • Reúso indireto na irrigação

	Mineração	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de eficiência em processos produtivos • Reúso de água
Argumento garantia da oferta	Todos os setores	<ul style="list-style-type: none"> • Reservação • Regularização de vazões • Captação de água da chuva

Dentre as cinco soluções destacadas, quatro estão diretamente relacionadas ao reúso de água, planejadas para diferentes setores da gestão ambiental. Isso evidencia como o reúso de água tem se consolidado como uma ferramenta estratégica para a segurança hídrica nos planos de recursos hídricos publicados no Brasil, contribuindo para a preservação de mananciais e a ampliação da disponibilidade hídrica para usos múltiplos em bacias hidrográficas. As diretrizes do plano estão alinhadas às tendências nacionais e globais de controle da demanda e segurança hídrica, além de seguirem as medidas estabelecidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina.

De acordo Hespanhol(1994) uma política de reúso bem planejada e implementada pode atender a dois desafios principais: a seca, ao disponibilizar volumes adicionais para atender à demanda em períodos de escassez, e a poluição, ao redirecionar descargas poluidoras para usos benéficos específicos a cada região ou bacia hidrográfica (MANCUSO, 2003). Hespanhol também ressalta que a gestão integrada entre bacias hidrográficas, com foco na redução de transposições e na busca por tecnologias ambientalmente conscientes, é uma abordagem essencial para a sustentabilidade dos recursos hídricos:

“A política de importar água de bacias cada vez mais distantes para satisfazer o crescimento da demanda remonta a mais de dois mil anos com os romanos, dando origem aos seus famosos aquedutos. Esse é o “velho paradigma” que persiste ainda hoje, resolvendo, precariamente, o problema de abastecimento de água de uma região, em detrimento daquela que a fornece. A transferência sistemática de grandes volumes de água de fontes distantes, gerando volumes adicionais de esgoto, não pode mais ser aceita, tanto do ponto de vista econômico como do ambiental. Um “novo paradigma”, baseado nos conceitos de *Conservação e Reúso de Água* deve evoluir, para minimizar os custos e os impactos ambientais associados a projetos de transposição de bacias. A tecnologia e os fundamentos ambientais, de saúde pública e gerenciais, hoje consagrados, permitem fazer uso dos recursos disponíveis localmente, mediante programas de gestão adequada da demanda, e da

implementação da prática de reúso de água” (revista *Estudos Avançados*, volume 22, número 63, de 2008, localizado nas páginas de 131 a 158)

Na bacia do Alto Tietê, que abriga mais de 15 milhões de habitantes e um dos maiores complexos industriais do mundo, a situação exemplifica esses desafios. Pela sua condição de manancial de cabeceira, a região enfrenta vazões insuficientes para atender à demanda da região Metropolitana de São Paulo e municípios vizinhos (MANCUSO, 2003). Para suprir a demanda, a solução tem sido buscar recursos hídricos complementares em bacias vizinhas por meio de transposições, uma prática que implica altos custos, além de problemas legais e político-institucionais.

Hespanhol(1994) argumenta que a crescente conscientização popular e a atuação dos Comitês de Bacias tornam a transposição uma prática cada vez mais restritiva. O reúso de água surge, então, como uma alternativa viável para incrementar a segurança hídrica, ao evitar transposições, economizar energia elétrica e garantir maior disponibilidade de água na própria bacia geradora das águas residuárias. Essa abordagem reforça a sustentabilidade hídrica, reduzindo impactos ambientais e promovendo o uso eficiente dos recursos disponíveis.

Na Tabela 3 são apresentadas algumas legislações brasileiras sobre reúso de água, da qual destaca-se a Deliberação Normativa CERH-MG n.º 65, de 18 de junho de 2020, utilizada como referência para reúso de água na agricultura para o Distrito Federal.

Tabela 3 - Exemplos de legislações brasileiras sobre reúso de água com ênfase na deliberação normativa CERH-MG n.º 65, adotada como referência nesta pesquisa

Legislação de Reúso de Água	Descrição da Legislação
Lei Estadual do Ceará n° 16.033/2016 (Ceará, 2016)	Política de reúso de água não potável no Ceará que apresenta determinações gerais quanto à prática de reúso no Estado do Ceará
Resolução COEMA n° 2/2017 do Ceará (Fortaleza (CE), 2017)	Estabelece as modalidades de reúso e estabelece os padrões de qualidade
Deliberação Normativa CERH-MG n.º 65, de 18 de junho de 2020, do estado de Minas Gerais (Minas Gerais, 2020)	Regulamenta o reúso urbano, industrial, ambiental e agrossilvipastoril

Resolução ADASA nº 005, de 09 de maio de 2022 de Brasília–DF (Distrito Federal, 2022)	Referência para reúso de água urbano e estabelece diretrizes para implantação e gestão do aproveitamento da água da chuva ou clara e do reúso da água cinza ou residuária em edificações no DF
---	--

5.3 REÚSO DE ÁGUA NO DISTRITO FEDERAL

As ações objetivando reúso de água no DF estão concentradas em iniciativas privadas e pontuais, especialmente pela regulamentação da prática ser muito recente. Destacam-se os altos índices de coleta (100%) e tratamento de esgoto (91%), cenários que podem facilitar futuros projetos em reúso de água no DF. Uma das ações mais relevantes nesse sentido foi a criação da Câmara Técnica de Reúso de Água no âmbito do Conselho de Meio Ambiente do Distrito Federal (CONAM/DF), com objetivo de desenvolver, propor e atuar para a regulamentação do reúso de água na agricultura no DF.

Na década de 1980, ocorreu um crescimento descontrolado de algas de grande proporção, demonstrando que o estado trófico do Lago era eutrófico, e que o corpo hídrico estava fora de controle (CEPIS, 1990). Diante do episódio, o hospital Sarah Kubitschek destacado na Figura 1, optou pela implantação de uma estação de tratamento de esgotos Compacta Automática de Grau de Infiltração Filtrante (ETE CAGIF), dimensionada para atender exclusivamente os efluentes do hospital, controlando o envio de nutrientes para o lago Paranoá.

Figura 1 - Hospital Sarah Kubitschek no Lago Norte onde a ETE CAGIF encontra-se posicionada no canto lateral direito da imagem



Inaugurada no início dos anos 2000, a ETE CAGIF viabiliza o reaproveitamento dos efluentes na irrigação paisagística e nos vasos sanitários, proporcionando a gestão sustentável de águas residuárias do hospital. A estação foi desenvolvida para atender cerca de 1.250 pessoas e possui uma capacidade de tratamento diário de 250 m³.

Em 1995, após intercâmbio tecnológico realizado por membros do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH/UnB) realizado na cidade de Lima, capital do Peru, pesquisas sobre fertirrigação com água de reúso foram conduzidas pela Universidade de Brasília (UnB) nos anos seguintes.

A possibilidade de aplicação desse modelo de reúso de água em projetos paisagísticos e ornamentais serviu de motivação para a realização de pesquisas sobre o tema em Brasília, onde o regime pluviométrico apresenta basicamente dois períodos, com seis meses de estiagem e seis meses chuvosos.

Figura 2 - Vista aérea do conjunto experimental montado na Estação Experimental da UnB, com as mudas recém-plantadas



Apesar das pesquisas realizadas nos últimos 30 anos sobre esse importante potencial, até os dias atuais os canteiros de flores do DF continuam a ser irrigados com água potável. As vias públicas de Brasília são compostas por extensas áreas gramadas como acontece no Eixo Monumental e no Eixo Rodoviário, que frequentemente secam e perdem o verde durante os períodos de estiagem severa.

Diante da visibilidade de Brasília como capital federal, a implantação de reúso de água na irrigação com finalidade paisagística, representaria uma oportunidade estratégica para divulgar essa prática sustentável no Brasil e no exterior, com baixo custo e segurança sanitária, comprovando a viabilidade do reúso de água apropriado de efluentes tratados para irrigação paisagística em áreas verdes públicas na cidade.

O estudo conduzido por Silva e Silva (2004), apresentado na Figura 2, teve como objetivo principal avaliar os efeitos do reúso de água no sistema solo-água-planta, além de explorar o potencial do próprio sistema experimental como uma ferramenta adicional de tratamento. Os resultados reforçaram os benefícios do reúso de água na irrigação paisagística, evidenciando sua viabilidade como uma prática segura e sustentável.

Iniciado em 2015, o estudo conduzido pelo pesquisador Carlos Pacheco da Embrapa Hortaliças visou avaliar a viabilidade do emprego de efluentes tratados para fins de irrigação agrícola. A pesquisa concentrou-se em analisar os efeitos do reúso sobre as propriedades do solo, o desenvolvimento vegetal e a inocuidade dos produtos cultivados. O tratamento implantado incluiu a filtragem biológica e a

desinfecção (PACHECO, 2016), sendo possível reutilizar a água seguramente, mitigando riscos de contaminação e assegurando a saúde dos trabalhadores atuantes e a saúde das culturas irrigadas

Figura 3 - Tratamento terciário da pesquisa de reúso de água na Embrapa Hortaliças



O trabalho foi conduzido com diferentes tipos de hortaliças, incluindo alface, rúcula e espinafre, cultivos que demandam abundância de água. Uma das principais conclusões do experimento foi a comprovação da eficiência dos efluentes tratados em manter o desenvolvimento natural das plantas, com teores de contaminantes nos limites considerados seguros pela ANA e pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (EMBRAPA, 2018). Os dados técnicos do projeto, cuja infraestrutura hidráulica é apresentada na Figura 3, indicaram uma redução de até 30% na captação de água potável para irrigação das hortaliças, comprovando relevante impacto nos custos operacionais da produção rural (PACHECO, 2020).

Os sistemas desenvolvidos tratam as águas residuárias eliminando aproximadamente 98% dos patógenos e reduzindo significativamente os níveis de nitrogênio e fósforo, elementos que, em excesso, podem ser prejudiciais ao solo e às plantas. Os resultados foram obtidos a partir de análises laboratoriais que acompanharam a evolução do solo e da qualidade das hortaliças ao longo dos ciclos

de cultivo. Na Figura 4 observa-se a infraestrutura de irrigação e o cultivo realizado na pesquisa.

Figura 4 - Hortaliças irrigadas na pesquisa de reúso de água na Embrapa Hortaliças



Em 2017, o Laboratório de Medicina Diagnóstica Sabin (SABIN) implantou sua sede nacional no DF para realizar análises de amostras laboratoriais em larga escala, viabilizando diariamente a obtenção de milhares de resultados de exames para 350 unidades de coleta distribuídas pelo Brasil. As análises das amostras são obtidas por meio da utilização de equipamentos que consomem água e reagentes durante o seu funcionamento como apresentado na Figura 5. Durante o processo de análise, são gerados 8.000 l/dia de efluentes, devidamente tratados a fim de que estejam segundo os padrões exigidos pela CAESB para viabilizar a destinação para a rede coletora de esgotos e o reúso de água.

Figura 5 - Reúso de água no Laboratório Sabin em Brasília-DF



Para viabilizar essa adequação, o Sabin implantou uma ETE compacta composta por biorreator com membranas (BRM) seguido por processo de osmose reversa, capaz de promover as adequações necessárias no efluente. Segundo informações fornecidas pelo colaborador do laboratório Sabin, os efluentes tratados têm sido destinados para reúso nas bacias sanitárias da edificação e na irrigação paisagística do edifício sede, reduzindo significativamente na conta de água e esgoto do empreendimento.

Em 2020, durante o 3º Encontro Integrado de Comitês de Bacia (EICOB) ocorreu uma mobilização integrada dos comitês de bacia hidrográfica do DF. Como resultado, foi formalizada uma moção conjunta ao Conselho de Recursos Hídricos do DF (CRH-DF) e ao Conselho de Meio Ambiente do DF (CONAM-DF), destacando a importância da regulamentação do reúso de água na agricultura. Nesse contexto, o CONAM-DF estabeleceu uma Câmara Técnica para estudar e propor regulamentações específicas sobre o reúso de água para atividades agrícolas e irrigação no DF. Essa iniciativa resultou na publicação da Resolução nº 002/2021 SEMA/DF, um marco importante para o avanço do reúso de água na agricultura.

Participam dessa Câmara Técnica a Secretaria de Meio Ambiente, a Secretaria de Agricultura (SEAGRI/DF), a Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE), a ADASA, a CAESB, o Conselho Comunitário da Asa Norte, o Fórum das ONGs do DF, a Federação das Indústrias no DF (FIBRA/DF) e a Federação de Agricultura e Pecuária do DF (FAPE/DF).

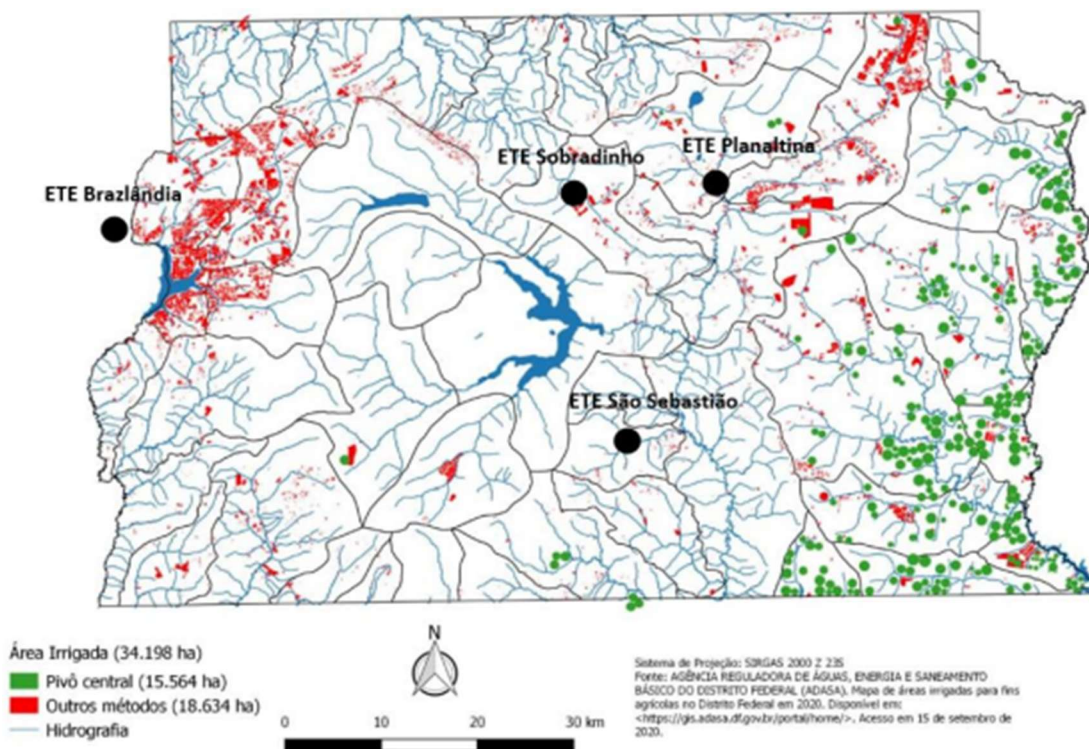
Infelizmente, apesar de os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) do DF terem desempenhado um papel fundamental na motivação para a criação dessa Câmara Técnica, não possuem representatividade nesse colegiado. Em razão da ausência de regulamentação específica para o reúso de água na agricultura no DF, a CAESB utiliza como referência a legislação mineira CERH-MG (2020) para embasar suas considerações técnicas sobre reúso de água com finalidades agrossilvipastoris.

Em 2021, especialistas da CAESB publicaram o artigo *II-1534 — Análise da Viabilidade do Reúso de Água para Irrigação no Distrito Federal*. Dentre as 16 estações de tratamento de esgotos avaliadas, as ETEs Brazlândia, Planaltina, São Sebastião e Sobradinho foram selecionadas por apresentarem maior potencial para o reúso de água na agricultura.

No que diz respeito à qualidade microbiológica dos efluentes tratados, as ETEs Brazlândia, Planaltina e São Sebastião apresentaram condições favoráveis para fertirrigação, sem necessidade de alterações no processo de tratamento, considerando os padrões da Resolução CERH/MG nº 65/2020.

Em geral, o DF apresenta condições promissoras para a prática de reúso de água em irrigação, uma vez que as áreas rurais estão próximas aos conglomerados urbanos. A ETE Brazlândia, em particular, destacou-se como a unidade com maior potencial para a implementação de um projeto-piloto envolvendo o direcionamento de efluentes tratados para o reúso na agricultura, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - ETEs da CAESB e propriedades agrícolas (pontos vermelhos)



Fonte: Brites *et al.* (2023)

No meio urbano, a Resolução ADASA nº 005, de 9 de maio de 2022, é a principal norma para o reúso de água no DF. Essa resolução estabelece diretrizes para a implantação e gestão do aproveitamento de águas da chuva ou claras, bem como do reúso de águas cinzas ou residuárias em edificações para diversas finalidades, como: descarga de bacias sanitárias e mictórios; lavagem de logradouros, pátios, garagens e áreas externas; lavagem de veículos; irrigação paisagística; uso ornamental (fontes, chafarizes e lagos); lavagem de roupas; e reserva técnica para combate a incêndios.

5.4 REÚSO DE ÁGUA INDIRETO POTÁVEL

De acordo com definição da IWA (2018), o principal benefício do reúso indireto potável é o aumento na disponibilidade hídrica de mananciais em áreas com escassez hídrica, diminuindo consideravelmente a pressão sobre as águas de fontes naturais, reforçando os sistemas de abastecimento com grande efetividade durante os períodos de seca. Atualmente, os dois maiores exemplos internacionais de reúso indireto no mundo são os sistemas *Orange County*, na Califórnia/Estados Unidos (EUA) e o

sistema *NEWater* em Singapura. Ambos os sistemas são referências mundiais na aplicação de reúso indireto potável, ajudando a garantir a segurança hídrica em áreas densamente povoadas e vulneráveis a crises hídricas.

Implementado no condado de *Orange County*, o *Groundwater Replenishment System* (GWRS) é um dos maiores projetos de reúso indireto potável do mundo. Nesse sistema, efluentes tratados em nível terciário são injetados em aquíferos para recarga e, posteriormente, captados para consumo humano, fornecendo água potável para mais de 2,5 milhões de pessoas. Lançado em 2008, o sistema tem capacidade de produzir aproximadamente 492.000 m³/dia, equivalendo a cerca de 5.694 litros por segundo. O GWRS utiliza avançados processos de purificação, como microfiltração, osmose reversa e desinfecção por UV combinada com peróxido de hidrogênio (DILLON *et al.*, 2019).

Atualmente, o GWRS é o maior sistema de reúso de água potável do mundo, contribuindo para evitar a intrusão salina e sendo utilizado no abastecimento urbano. Além disso, o sistema apresenta significativos benefícios econômicos e ambientais, com o custo da água produzida sendo competitivo em relação à importação de água de regiões distantes (GIBSON *et al.*, 2020).

5.5 REÚSO DE ÁGUA DIRETO NA AGRICULTURA

O reúso de água para irrigação agrícola é uma prática com raízes antigas, havendo indícios de que civilizações da Mesopotâmia e do Egito já utilizavam esgoto bruto em seus campos. No entanto, a adoção sistemática e planejada desse processo se consolidou apenas no século XX, principalmente em resposta à necessidade de economizar recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas.

A disponibilidade hídrica no Oriente Médio é uma das mais baixas do mundo, devido ao clima árido e semiárido que caracteriza a região, resultando em precipitações médias anuais inferiores a 250 mm (ALLAN, 2001). Entre as iniciativas mais bem-sucedidas de enfrentamento estão os projetos de reúso de água, como o desenvolvido em Israel, onde mais de 85% da água residual é tratada e reutilizada na agricultura, representando um exemplo global de eficiência hídrica (FRANKEN, 2012). Essas práticas têm mitigado os impactos da escassez e promovido a sustentabilidade dos recursos hídricos regionais.

Entre os principais desafios do reúso de água, destaca-se o risco de contaminação do solo e dos lençóis freáticos por metais pesados e patógenos, especialmente se o tratamento da água não for adequado. Além disso, questões culturais e regulatórias podem limitar a adoção do reúso em algumas regiões, como ocorreu inicialmente na Austrália e na Califórnia.

A destinação de águas de reúso para a agricultura tem se consolidado como prática sustentável e essencial em países como China, Austrália e Estados Unidos. Na Austrália, aproximadamente 4% da água é reutilizada, com diretrizes rigorosas de salinidade para irrigação agrícola, beneficiando culturas de alta necessidade hídrica (SHOUSHTARIAN & NEGAHBAN-AZAR, 2020).

Na China, cidades como Urumqi priorizam o reúso de água devido à escassez de recursos, garantindo a irrigação de cereais e vegetais em larga escala (ABOU-SHADY *et al.*, 2023). Nos Estados Unidos, cerca de 250 milhões de litros diários de água reciclada são utilizados, com destaque para a produção de alface em regiões áridas (CHEN *et al.*, 2013).

A Califórnia é pioneira no uso de águas de reúso na agricultura, especialmente devido à escassez hídrica enfrentada pelo estado. A prática começou a ser amplamente difundida a partir da década de 1970, impulsionada por avanços em tecnologias de tratamento de esgoto e programas estaduais para gestão sustentável de recursos hídricos. Entre as principais técnicas de irrigação adotadas estão a microaspersão e o gotejamento, que permitem maior eficiência no uso da água tratada. Culturas de alto valor comercial, como nozes, cítricos, uvas e hortaliças, são as principais beneficiadas pelo reúso de água.

Estudos indicam que a reutilização de água é essencial para a segurança hídrica e alimentar da região, de acordo com (ASANO & COTRUVO, 2004). Além disso, o planejamento e monitoramento adequados são necessários para garantir a conformidade com os padrões legais e evitar riscos ambientais (ANDERSON *et al.*, 2018).

Dentre os casos mais bem-sucedidos de reúso de água na agricultura, destaca-se o *Werribee Sewage Farm*, uma das mais antigas e extensas instalações de tratamento de esgoto da Austrália e do mundo. Localizado em Melbourne e inaugurado em 1897, o *Werribee Treatment Plant* (WTP) foi desenvolvido para

solucionar os graves problemas sanitários enfrentados pela cidade devido à rápida expansão urbana e à falta de métodos adequados de tratamento de esgoto na época (MELBOURNE WATER, 2023). Além do objetivo principal de tratar os esgotos, a escolha da localização de Werribee, destacada na Figura 7, visava integrar a reutilização das águas tratadas para irrigação de áreas agrícolas, promovendo uma solução sustentável que combinasse o saneamento com atividades agropecuárias regionais (DYE, 2008).

Figura 7 - Werribee Treatment Plant (WTP), reúso de água na agricultura desde 1897



Fonte: Melbourne Water (<https://www.melbournewater.com.au/>), acesso em 20 mar. 2025.

Segundo Liu *et al.* (2021), a China tem enfrentado uma crescente demanda por água devido à expansão populacional e industrial. Nesse contexto, o país adotou o reúso de esgotos tratados na agricultura como solução estratégica. Em Pequim, o sistema de reúso atingiu uma taxa de utilização de 1,2 bilhão de metros cúbicos em 2020, representando cerca de 25% da oferta hídrica urbana. Esse volume foi direcionado para a irrigação de cultivos como trigo, milho e arroz em regiões áridas.

Em Israel, que é um país predominantemente árido, são utilizadas tecnologias avançadas para otimizar o reúso de água. De acordo com Marin *et al.* (2017), o governo israelense destaca a alta eficiência dos processos de tratamento e reutilização da água, sendo que grande parte do esgoto é coletado, tratado e

posteriormente reaproveitado para fins agrícolas. Além disso, o país implementa rigorosos controles para minimizar as perdas hídricas e mantém centros de dessalinização como fonte potável alternativa, que extraem água do Mar Mediterrâneo para suprir uma parte significativa da demanda doméstica.

O reúso de água para irrigação na agricultura tem se destacado como uma alternativa importante para a gestão hídrica em regiões com escassez de recursos hídricos. Contudo, essa prática apresenta riscos sanitários que precisam ser cuidadosamente avaliados. Entre as preocupações, destaca-se a permanência de contaminantes como produtos farmacêuticos, que podem ser absorvidos pelas plantas e acumulados nas folhas dos vegetais consumidos pelos seres humanos.

Nesse contexto, compostos farmacêuticos, como antibióticos e hormônios, podem persistir na água residual tratada e serem incorporados às plantas durante a irrigação, representando um potencial risco à saúde humana (MALCHI et al., 2014). Tais compostos podem alterar a microbiota do solo e dos consumidores ao longo do tempo, gerando implicações para a saúde pública (CHRISTOU et al., 2017).

Outro risco significativo envolve a exposição dos trabalhadores agrícolas à água de reúso. Estudos indicam que patógenos, metais tóxicos e resíduos químicos presentes na água podem provocar infecções cutâneas, respiratórias e sistêmicas nos trabalhadores (MEKALA et al., 2008). A exposição crônica a esses agentes pode aumentar a incidência de doenças, especialmente em áreas onde medidas de proteção e tratamento são insuficientes (TOZE, 2006).

A segurança no uso de água de reúso para irrigação exige a implementação de práticas rigorosas de gestão, como o tratamento avançado da água e a seleção criteriosa das culturas a serem irrigadas. Além disso, a educação e o treinamento de trabalhadores agrícolas são essenciais para minimizar os riscos de exposição e garantir condições seguras de trabalho. Assim, enquanto o reúso de água para irrigação apresenta benefícios claros na conservação de recursos hídricos, os riscos sanitários associados devem ser gerenciados por meio de estratégias baseadas em evidências científicas.

5.6 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO TERCIÁRIO PARA REÚSO DE ÁGUA

A introdução das tecnologias de tratamento terciário de esgotos surgiu como resposta às demandas ambientais e de saúde pública, visando a melhoria da qualidade dos efluentes lançados em corpos hídricos. Nas décadas de 1960 e 1970, a conscientização sobre a poluição aquática e seus impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana impulsionou a adoção desses processos em diversos países. Os tratamentos terciários se tornaram essenciais para remover contaminantes específicos que os processos primário e secundário não eliminavam por completo (METCALF & EDDY, 2014; TCHOBANOGLOUS *et al.*, 2013).

De acordo com Asano *et al.* (2007), esses tratamentos avançados incluem métodos físicos, químicos e biológicos que eliminam nutrientes como nitrogênio e fósforo, sólidos suspensos e compostos orgânicos persistentes. Esses processos são fundamentais para garantir que o efluente final tenha uma qualidade adequada para reúso e descarte ambiental.

O tratamento terciário engloba diferentes processos, cada um com funções específicas na remoção de poluentes. Primeiramente, a filtração avançada e a microfiltração são empregadas para eliminar partículas finas em suspensão, reduzindo a turbidez e aprimorando a qualidade visual do efluente (TCHOBANOGLOUS *et al.*, 2013). A adsorção por carvão ativado também é uma etapa crucial por remover compostos orgânicos complexos e micropoluentes que podem ser prejudiciais tanto à vida aquática quanto à saúde humana, sendo eficaz na remoção de contaminantes emergentes, como produtos farmacêuticos e desreguladores endócrinos, comumente presentes nos efluentes das estações de tratamento (SHON; VIGNESWARAN; SNYDER, 2006).

Outro componente essencial do tratamento terciário é a remoção de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, responsáveis pela eutrofização em corpos d'água receptores. A desnitrificação biológica, que transforma nitrato em nitrogênio gasoso, é amplamente usada para evitar o crescimento excessivo de algas e conservar a biodiversidade aquática (METCALF & EDDY, 2014). Já a remoção de fósforo, geralmente realizada pela precipitação química com sais de ferro ou alumínio, é essencial para evitar o enriquecimento dos corpos d'água com nutrientes (TCHOBANOGLOUS *et al.*, 2013).

O sistema Nereda, baseado em biomassa granular aeróbica, oferece alta eficiência e baixo consumo energético (NANCHARAIH *et al.*, 2016). Já o método Bardenpho, amplamente utilizado para remoção sequencial de nutrientes, combina zonas aeróbicas e anóxicas para eficiência integrada (BARNARD, 2006). O contínuo avanço e disponibilidade dessas tecnologias tornam-nas centrais no planejamento sustentável para o tratamento de efluentes urbanos e industriais, viabilizando projetos e soluções de tratamento com a previsão de reúso de água na agricultura.

As tecnologias de biorreatores de membrana (BRM) desempenham um papel crucial no tratamento moderno de esgotos devido à sua eficiência e versatilidade. Elas combinam processos biológicos e de filtração de Membranas para remover sólidos, nutrientes e contaminantes emergentes de forma eficiente (JUDD, 2008). Entre as variantes, destacam-se as Membranas poliméricas, amplamente disponíveis no mercado por sua resistência e custo-efetividade (IORHEMEN *et al.*, 2016).

Recentemente, os avanços em módulos de Membranas de polifluoreto de vinilideno (PVDF) têm consolidado sua posição em aplicações sustentáveis, particularmente na gestão de águas residuais industriais (RAHMAN *et al.*, 2023). O uso crescente dessas tecnologias reflete sua adequação a requisitos ambientais rigorosos e à necessidade de soluções compactas em áreas urbanas densas (LE-CLECH, 2010).

5.7 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

Brazlândia foi formada em 1933, antes da criação do DF, e tornou-se a Região Administrativa IV pela Lei nº 4.545, de 10 de dezembro de 1964 (BRASIL, 1964). Quando inaugurada, possuía menos de 1.000 moradores, e atualmente sua população é estimada em 53.874 habitantes. Localizada na Região Administrativa IV do DF, Brazlândia é subdividida em Setor Tradicional, Setor Norte, Setor Sul, Vila São José, Bairro Veredas, e abrange os núcleos Alexandre Gusmão, Dois Irmãos, Engenho Queimado, Desterro, Chapadinha e Barreiro (CODEPLAN, 2011).

Figura 8 - Bandeira da Região Administrativa IV – Brazlândia associada com produção agrícola e localização geográfica no mapa do DF



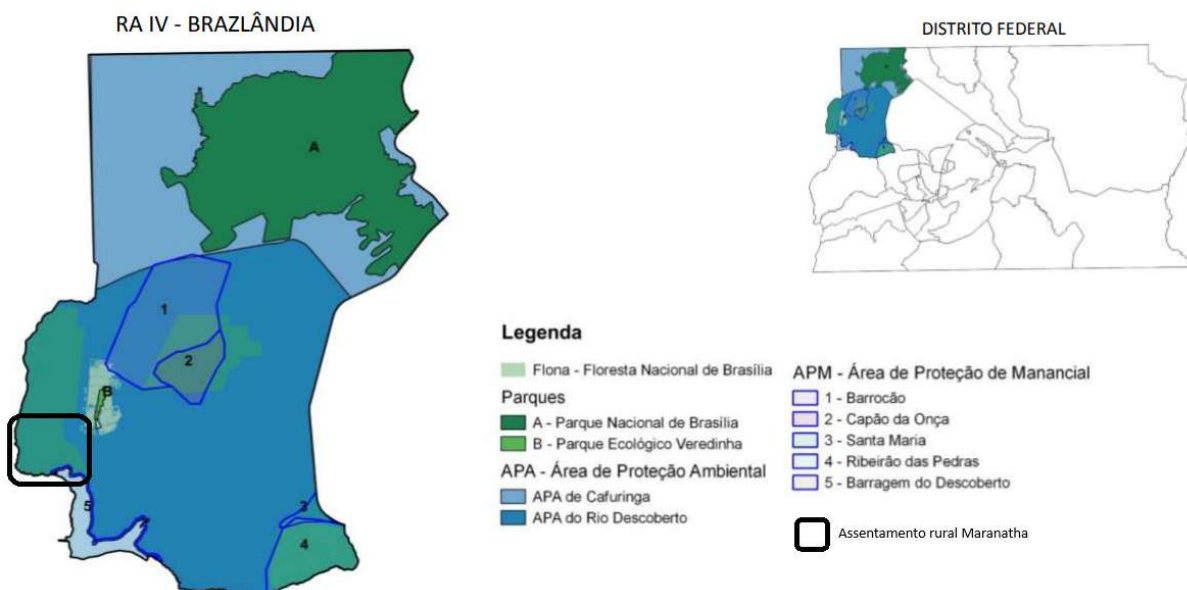
Fonte: Wikipédia (<https://pt.wikipedia.org>), acesso em 20 março de 2025.

Brazlândia destaca-se pela vocação para agricultura, que inclusive é referenciada com um trator agrícola na bandeira da região administrativa apresentada na Figura 8. Com destaque na produção de frutas e hortaliças, a Festa do Morango de Brazlândia tem projeção nacional e é muito popular no Distrito Federal, oportunidade em que reúne anualmente moradores, turistas e produtores rurais para degustar morangos e movimentar a economia local.

O clima de Brazlândia é tropical com estação seca de junho a setembro, apresentando temperatura média máxima ocorrendo no mês de setembro, atingindo 22,5 °C. A temperatura média do mês mais frio do ano ocorre em junho, alcançando 18,3 °C. A precipitação média é de 1.540 milímetros anuais, concentrados entre os meses de outubro e abril, ocorrendo sob a forma de chuva e, algumas vezes, de granizo.

A região de Brazlândia apresentada na Figura 9, responde por mais de 13% da produção total do DF, alcançando 38,73% da produção de hortaliças, respondendo ainda por quase um terço da produção de frutas do DF (ICMBIO,2008). O território contemplado por esta pesquisa equivale à bacia hidrográfica do rio Descoberto enquanto unidade de planejamento de recursos hídricos, conforme previsto na Lei nº 9.433/1997, responsável pela criação da PNRH. Em relação às áreas agricultáveis com potencial de recebimento de água de reúso produzida pela ETE Brazlândia modernizada, esta pesquisa identificou a região conhecida como assentamento rural Maranatha, que possui uma área aproximada de 930 hectares.

Figura 9 - Assentamento rural Maranhá localizado na área rural de Brazlândia, dentro das poligonais da Área 3 da FLONA, e da APA do rio Descoberto



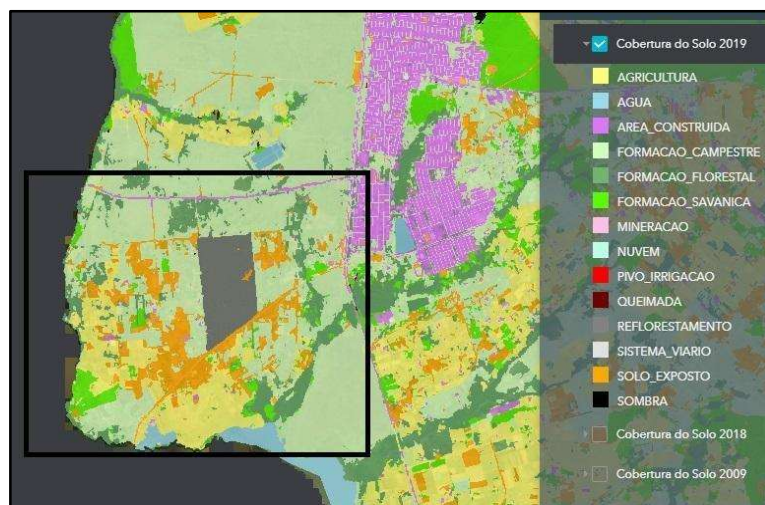
Fonte: Adaptado de CODEPLAN (<https://www.codeplan.df.gov.br>), acesso em 15 de março de 2025.

Os produtores rurais residentes no local foram assentados no início dos anos 1990, representados formalmente pela Associação de Produtores Rurais do Projeto Maranhá (APRPM).

O assentamento rural Maranhá fica inserido nas poligonais da APA da Bacia Hidrográfica do rio Descoberto e da Área 3 da Floresta Nacional de Brasília (FLONA), ambas unidades de conservação federais operadas pelo ICMBio. A região é composta por propriedades rurais com situação fundiária em fase de regularização, boa parte delas com proprietários cadastrados como produtor rural junto à EMATER-DF, da qual recebem apoio técnico por meio de visitas de campo e capacitações para auxiliar no desenvolvimento das culturas. Uma das características mais relevantes da região reside no fato de estar situada numa área ambientalmente sensível, nas margens do lago do Descoberto.

Devido à sua localização de acordo com a Figura 10, o uso do solo no Maranhá está diretamente relacionado com a segurança hídrica do lago do Descoberto, pois as águas que infiltram no solo e escoam superficialmente no Maranhá participam da formação do lago do Descoberto.

Figura 10 - Ocupação do solo e vegetação da área pesquisada



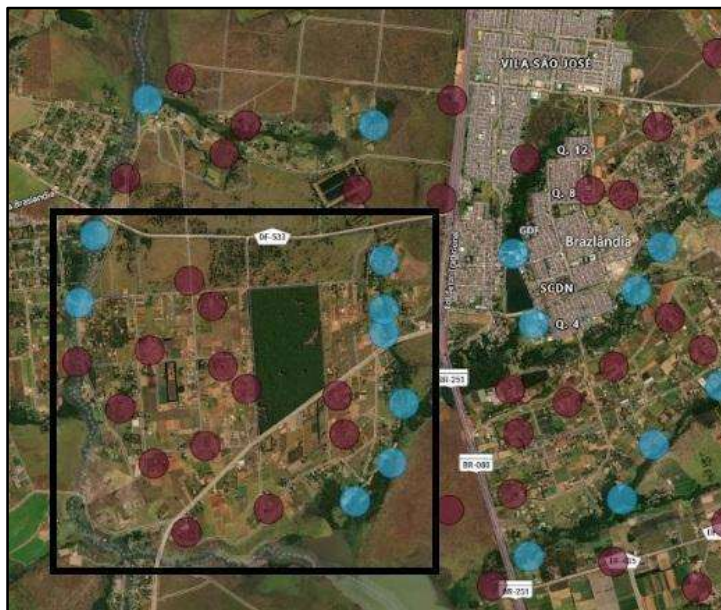
Fonte: Geoportal (<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/>), acesso em 10 de fevereiro de 2025.

O lago do Descoberto é o principal manancial do DF, sendo responsável por 55% da produção de água da CAESB. Diante desse fato, a permeabilidade dos solos no Maranatha é de extrema importância para a recarga de aquíferos às margens do lago do Descoberto, contribuindo para a produção de água do Sistema Produtor de Água do Descoberto, cuja estação de tratamento de água do Descoberto (ETA) localiza-se no M-Norte, em Ceilândia-DF.

Na Figura 6, que retrata a ocupação do solo e da vegetação, observam-se, em laranja, áreas com solo exposto, representando riscos para a permeabilidade do solo e recarga de aquíferos na região. As áreas destinadas à produção agrícola estão representadas em amarelo.

Conforme apresentado na Figura 11, já existem processos formalizados em andamento na ADASA para obtenção de outorga para captação de água. Dessa forma, é possível inferir que essas captações estão sendo monitoradas.

Figura 11 - Processos de outorga de captação superficial (azul) e subterrânea (vermelho) no assentamento rural Maranhá



Fonte: Geoportal (<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>), acesso em 2 de fevereiro de 2025.

Na primeira semana de janeiro de 2024, o autor da pesquisa foi recebido pelo presidente da APRPM para reconhecimento da região e planejamento de uma oficina socioambiental sobre reúso de água na agricultura com a participação de produtores rurais e gestores do GDF. Na oportunidade, o autor apresentou os objetivos da presente pesquisa para que o presidente da Associação pudesse transmitir aos membros da APRPM. Foram realizadas visitas presenciais a três produtores locais para conversas sobre o tema da oficina socioambiental sobre reúso de água na agricultura.

Ao percorrer a região durante a movimentação entre as propriedades, foram constatadas edificações irregulares e fracionamentos de terra típica de processos de grilagem de terra em andamento, com evidências de adensamento populacional e impermeabilização do solo. Infelizmente, a falta de regularização fundiária e de uma ação definitiva do governo federal e distrital na região, favorecem a expansão das ocupações e obras irregulares com contaminações e impermeabilizações de solo, representando um sério risco para a segurança hídrica no lago do Descoberto e da população do DF.

Os produtores rurais do assentamento rural Maranatha têm buscado apoio técnico junto à EMATER-DF para o desenvolvimento de suas atividades agrícolas, evidenciado na Figura 12, que apresenta os processos de regularização dos produtores rurais no assentamento rural Maranatha.

Figura 12 - Processos em andamento na EMATER de produtores rurais no assentamento rural Maranatha com processos em andamento na EMATER-DF



Fonte: Geoportal (<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>), acesso em 10 de fevereiro de 2025.

Sem regularização fundiária definida, os produtores rurais do Maranatha não conseguem obter licenças ambientais e, conseqüentemente, não conseguem ser habilitados para contrair financiamentos junto às instituições financeiras de fomento e incentivo à produção agrícola. Esse cenário dificulta o desenvolvimento dos produtores rurais do Maranatha, que, apesar da dificuldade, conseguem viabilizar suas produções agrícolas mesmo com a falta de subsídio financeiro. Por outro lado, a comunidade é contemplada com alguns serviços públicos do GDF, tais como transporte público, saúde básica e apoio na produção agrícola.

5.7.1 Unidades de conservação (UCs)

As unidades de conservação (UCs) de Brazlândia desempenham um papel essencial na preservação ambiental e na segurança hídrica da bacia hidrográfica do

rio Descoberto. Essas áreas protegidas contribuem para a proteção dos ecossistemas naturais, garantindo a manutenção da biodiversidade e a regulação do clima local, funcionando como zonas de recarga de aquíferos e controle da vazão dos cursos d'água, fundamentais para a segurança hídrica e abastecimento da população.

Em Brazlândia existem duas UCs federais com poligonais que abrangem o assentamento rural Maranatha e a ETE Brazlândia, são elas a Floresta Nacional de Brasília (FLONA) e a Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Descoberto.

A preservação dessas unidades é estratégica para a segurança hídrica do Sistema Produtor de Água do Descoberto, responsável por abastecer aproximadamente 55% da população do DF. A vegetação nativa preservada nessas áreas minimiza os processos erosivos e promove a infiltração no solo, garantindo qualidade e quantidade de água no manancial. Ao evitar a degradação ambiental, as unidades reduzem riscos de crises hídricas em períodos de seca prolongada, oferecendo maior resiliência ao sistema de abastecimento. Sendo assim, a proteção das unidades de conservação em Brazlândia é fundamental não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para assegurar o fornecimento contínuo de água à população da região.

Em 9 de setembro de 2022 foi publicada a Lei n.º 14.447, e em seu art. 1º alterou os limites da FLONA, objetivando ampliar a área 1, desafetar as áreas 2 e 3, bem como ajustar o perímetro da área 4 (BRASIL, 2022). A principal motivação dessa legislação foi a busca pela regularização dos moradores dessas regiões, inclusive dos membros da APRPM. Três meses adiante, em 7 de dezembro de 2022, o parecer dado pelo procurador-geral da República ao Supremo Tribunal Federal (STF) na Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) 7.243 à Lei 14.447/2022, alegou que a reforma legislativa incide em retrocesso socioambiental. Ao alterar os limites da FLONA, a lei tornou-se objeto de ação de controle de constitucionalidade movida pelo Partido Verde. Na manifestação, o procurador-geral defendeu que a legislação promove a degradação ambiental, além de violar diversos princípios constitucionais como o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.

Diante do contexto da ADI 7.243 e considerando a validade das legislações ambientais vigentes em relação às dimensões da UC, bem como o respeito ao seu plano de manejo, a situação de regularização do Maranatha permanece sem previsão de solução. Localizada na área destacada na Figura 9, a regularização da região deve

conciliar a permanência da comunidade com o cumprimento das normativas da UC, além de respeitar a sensibilidade ambiental e os recursos hídricos da região.

Dentro dessa realidade, e visando a promoção da regularização do Maranatha, o GDF designou a recém-criada Empresa de Regularização de Terras Rurais (ETR) para desenvolver uma solução fundiária definitiva para os membros da APRPM. Já houve proposta inicial formalizada pela ETR há dois anos, porém foi rejeitada pela associação, que atualmente encontra-se em fase de negociação com a empresa pública para estabelecer regras e procedimentos para a regularização fundiária da região.

A área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do rio Descoberto é uma UC de uso sustentável, com 39.100 hectares de extensão, criada pelo Decreto Federal nº 88.940, de 7 de novembro de 1983. Sua superfície é ocupada principalmente por chácaras dedicadas à produção de hortifrutigranjeiros e por áreas de reflorestamento, tendo como principal objetivo a proteção do lago Descoberto e dos mananciais hídricos que o formam.

5.7.2 Infraestruturas de saneamento ambiental do DF relacionadas ao reúso de água em Brasília

Em Brasília, os sistemas de esgotamento sanitário de Brasília e produtor de água do Descoberto operados pela CAESB se encontram nas águas do lago do Descoberto, que reflete a interdependência existente entre esses sistemas. Isso porque o funcionamento adequado do SES Brasília garante proteção sanitária para o lago do Descoberto, que é o manancial do sistema produtor de água do Descoberto.

Portanto, trata-se de uma operação integrada entre dois sistemas de saneamento. Os sistemas de saneamento ambiental de água e esgoto existentes em Brasília são operados e mantidos pela CAESB, característica especial, caracterizada pela forte interdependência existente entre. Ambos estão diretamente relacionados com a segurança hídrica do lago do Descoberto, onde o SES Brasília garante a proteção sanitária do manancial, enquanto o sistema produtor do Descoberto é responsável pela captação, bombeamento, tratamento e armazenamento de água potável para o abastecimento humano de 55% da população do DF.

O sistema de esgotamento sanitário de Brazlândia é o conjunto de infraestruturas civis e equipamentos hidráulicos, civis, elétricos e mecânicos que, concebidos, projetados, construídos e operados pela CAESB, são responsáveis pela coleta, transporte, tratamento, bombeamento e disposição final dos esgotos produzidos pela população da região administrativa de Brazlândia.

A construção da barragem iniciou na década de 1970 e foi inaugurada em 1981, em resposta ao aumento contínuo da demanda por água potável na capital federal. A estação de tratamento de água do rio Descoberto foi oficialmente inaugurada em 07 de fevereiro de 1986, com capacidade de tratamento inicial de 4.000 l/s, operando com uma vazão média de 2.380 l/s. Posteriormente, em 1996, passou por uma ampliação, aumentando sua capacidade para 6.000 l/s. O Sistema Produtor de Água do Descoberto da CAESB constitui-se como o maior sistema de abastecimento operado pela empresa, sendo responsável pelo fornecimento de aproximadamente 60% da água potável consumida pela população do DF.

Em virtude de sua relevância para a produção de água para a CAESB, a barragem do Descoberto é uma infraestrutura que desempenha um papel fundamental para a gestão dos recursos hídricos do DF, uma vez que viabiliza a formação do lago do Descoberto como pode ser observado na Figura 13. Projetada no intuito de garantir armazenamento de água para consumo humano, a barragem do Descoberto é uma infraestrutura vital para garantir a segurança hídrica da região metropolitana de Brasília.

Figura 13 - Imagem da barragem do lago Descoberto, infraestrutura em concreto responsável pela formação do maior manancial do Distrito Federal



Fonte: Wikipédia (<https://pt.wikipedia.org>), acesso em 10 março de 2025.

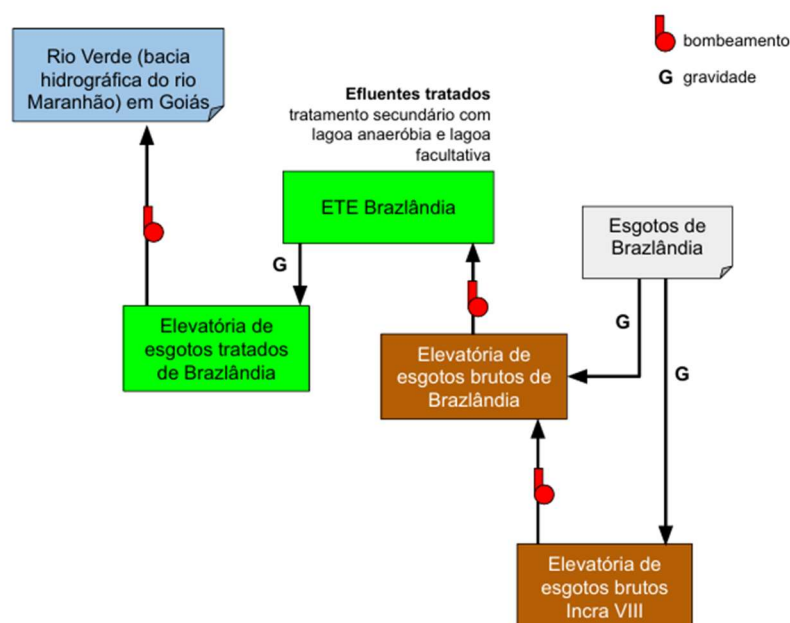
Em relação ao processo de tratamento da ETA do rio Descoberto, um ponto relevante é o reúso de água viabilizado no processo de lavagem dos filtros, que ocorre com uma vazão aproximada de 260 l/s. Esse volume é direcionado para centrífugas, onde é realizado o desaguamento e consequente geração de lodo, sendo posteriormente utilizado em iniciativas de recuperação de áreas degradadas.

O SES Brazlândia apresentado na figura 14 iniciou seu funcionamento em 1983, desde então vem realizando ininterruptamente a coleta, o transporte, o bombeamento, tratamento e a destinação final dos esgotos domésticos gerados na região administrativa IV.

O correto funcionamento desse sistema viabiliza a proteção sanitária da bacia hidrográfica do rio Descoberto, evitando que os esgotos domésticos sejam lançados no solo ou em instalações hidrossanitárias inadequadas, garantindo a qualidade das águas superficiais e subterrâneas responsáveis pela recarga do lago do Descoberto.

O parque industrial do SES de Brazlândia é composto por quatro unidades operacionais, onde cada uma delas possui suas estruturas civis, áreas verdes, infraestruturas viárias, hidráulicas, elétricas e equipamentos eletromecânicos para viabilizar transporte, tratamento e destinação dos esgotos domésticos produzidos em Brazlândia.

Figura 14 - SES Brazlândia com três elevatórias e uma estação de tratamento de esgotos, garantindo proteção sanitária para o Lago do Descoberto



Fonte: Autor, março de 2025

Contudo, é importante ressaltar que por se tratar uma estação de tratamento de efluentes em nível secundário, a ETE Brazlândia não apresenta etapas voltadas para a remoção de nutrientes e desinfecção. Dessa forma, os efluentes tratados são destinados por bombeamento ao Rio Verde em Goiás para proteger o lago do Descoberto, levando nutrientes que causam processos de eutrofização na bacia hidrográfica do rio Verde.

As elevatórias de esgoto bruto são interligadas, a elevatória de esgotos brutos de Brazlândia opera desde o início do sistema e fica localizada ao lado da lagoa Veredinha no centro da cidade. Inaugurada em 2018, a elevatória de esgotos brutos do Incra VIII fica localizada em área rural próxima ao lago do Descoberto e é responsável pelo bombeamento dos esgotos produzidos 200 loteamentos rurais ao sistema.

Atualmente, o tratamento preliminar ocorre na mesma área operacional da elevatória de esgotos brutos de Brazlândia, onde são removidos materiais grosseiros tais como estopa, plástico, resíduos sólidos urbanos e areia. Após esse tratamento preliminar, os esgotos brutos são bombeados até a ETE Brazlândia, onde é realizado tratamento secundário composto por duas etapas, a primeira com tratamento aeróbio

e a segunda com lagoa facultativa, onde algas e bactérias atuam em simbiose para remover matéria orgânica dos efluentes.

Após tratamento, os efluentes são transportados por gravidade até a elevatória de esgotos tratados de Brazlândia, localizada nas margens do rio Descoberto e a 2 km da ETE Brazlândia.

Figura 15 - ETE Brazlândia composta por duas lagoas anaeróbicas e duas lagoas facultativas em duas linhas paralelas



Fonte: Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do DF (CAESB, 2014)

Como pode ser observado na Figura 15, a ETE Brazlândia fica localizada na zona rural de Brazlândia, e encontra-se dentro das poligonais da APA do rio Descoberto e da Área 3 da FLONA, duas unidades de conservação federal monitoradas regularmente pelo ICMBio.

A estação de tratamento de esgotos conta com dois módulos paralelos iguais, porém com circuitos independentes, onde os efluentes passam inicialmente por uma lagoa anaeróbia e posteriormente por uma lagoa facultativa.

Ao chegar na estação, os esgotos, já tratados preliminarmente, são então direcionados para a lagoa anaeróbia, onde parte da matéria orgânica se sedimenta, enquanto bactérias anaeróbias digerem os compostos, reduzindo o potencial poluidor do efluente.

Verifica-se na Tabela 4, os dados gerais da ETE Brazlândia, apresentando dados básicos sobre história e tipo de tratamento da unidade.

Tabela 4 - Dados gerais da estação de tratamento de esgotos de Brazlândia

ETE	Início Operação	Descrição do sistema	Corpo Receptor	Vazão (L/s)		População
				Média anual	Projeto	Projeto
Brazlândia	1983	Tratamento secundário (02 módulos de lagoa anaeróbia com lagoa facultativa)	rio Verde, na bacia hidrográfica do rio Maranhão em Goiás	46,1	87	29.600

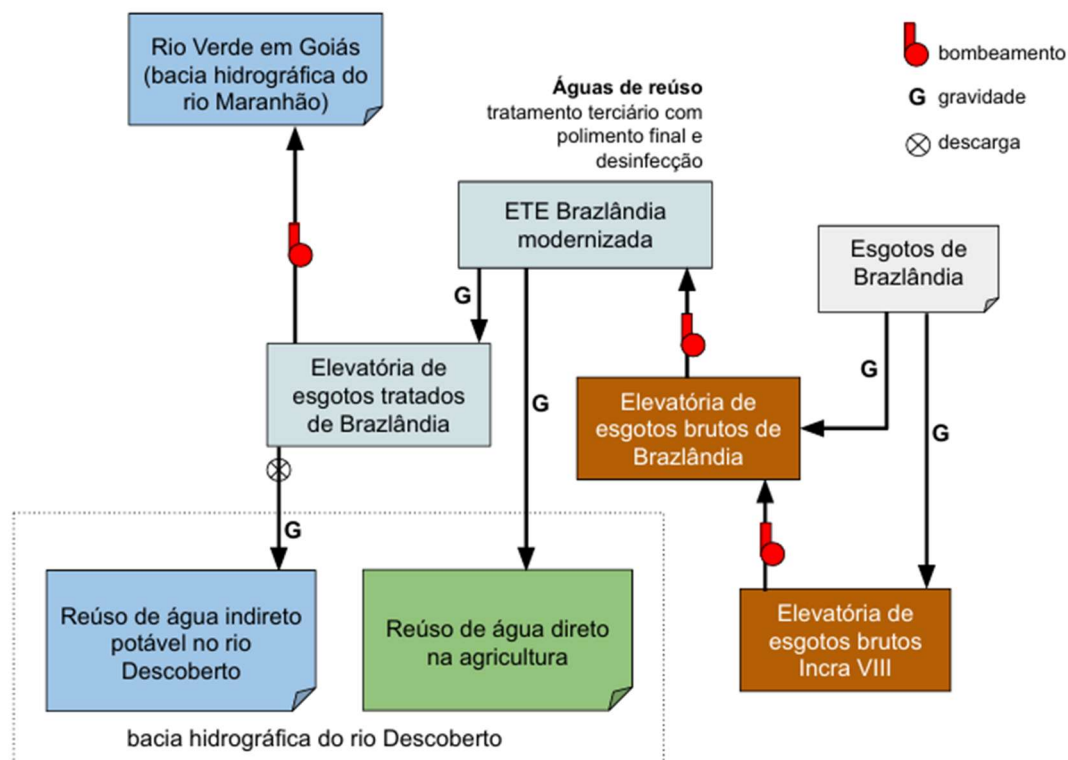
Fonte: Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do DF (CAESB,2014)

Na etapa seguinte, a lagoa facultativa promove a estabilização da matéria orgânica remanescente por meio da atuação integrada de algas e bactérias, onde as algas realizam fotossíntese e produzem oxigênio, que são consumidos por bactérias aeróbias. Em contrapartida, as bactérias aeróbias geram gás carbônico, que é utilizado pelas algas na fotossíntese para estabilizar e digerir a matéria orgânica, criando assim um ciclo simbiótico que assegura a eficiência do tratamento.

5.8 A MODERNIZAÇÃO DA ETE BRAZLÂNDIA

O projeto de modernização da ETE Brazlândia foi elaborado para um horizonte de 30 anos, considerando o ano de 2023 como início do plano e 2053 como final. A nova configuração de tratamento dimensionada para a estação prevê a implantação de novas tecnologias que elevarão a qualidade dos efluentes tratados. Para tanto, serão construídas etapas de tratamento terciário, polimento final e desinfecção ultravioleta, produzindo efluentes tratados que poderão ser destinadas ao reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 - SES Brazlândia após modernização da ETE Brazlândia



Fonte: Autor, janeiro de 2025

Com um investimento estimado em R\$ 32 milhões a partir de 2025, as obras de modernização da ETE Brazlândia incluirão melhorias nas infraestruturas civis, mecânicas e elétricas, além da introdução de novos processos que elevarão o nível de tratamento da estação de secundário para terciário, inclusive ampliando a capacidade da estação para 75 l/s.

Entre as tecnologias previstas para a estação, destacam-se o tratamento preliminar com gradeamento e desarenador com *air lift*, tratamento secundário com reatores UASB, tratamento terciário com a tecnologia biorreator com Membranas (BRM) ou remoção biológica de nutrientes (RBN), polimento final com flotação por ar dissolvido (FAD) e desinfecção por ultravioleta (UV), além de geração de metano e uma unidade de gerenciamento de lodo (UGL).

A modernização da estação de tratamento viabilizará a produção de águas de reuso, que poderão ser destinadas para o reuso indireto potável no rio Descoberto e

reúso direto restrito na agricultura para propriedades rurais no assentamento rural Maranatha.

Conforme consta no Anteprojeto da ETE Brazlândia (CAESB,2023), as contribuições per capita de esgoto foram estimadas com base no consumo médio de 125 l/hab.dia, e foram calculadas a partir de dados de volume mensal de água faturado e da população atendida, que considera a taxa de ocupação de 3,3 habitantes por domicílio. Dessa forma, a Tabela 5 apresenta as contribuições per capita da população de Brazlândia utilizadas no dimensionamento da ETE Brazlândia.

Tabela 5 - Contribuições per capita

Parâmetro	Contribuições per capita (g/hab.dia)
DBO ₅	52
DQO	77
NT	7
P _{tot}	1
SS	31
SST	73
SST _f	30
SST _v	43

Fonte: Anteprojeto ETE Brazlândia (CAESB, 2023)

Para a definição do padrão de lançamento, foram consideradas três possíveis destinações para as águas de reúso produzidas pela estação, incluindo o bombeamento para rio Verde, o reúso indireto potável no rio Descoberto e o reúso direto na agricultura.

De acordo com o Anteprojeto da ETE Brazlândia (CAESB,2023), para atender as condições do córrego Mato Grande, atual corpo hídrico receptor e tributário do Rio Verde, o Plano Distrital de Saneamento Básico (PDSB) propõe tratamento terciário, com remoção de fósforo a valores de 1,4 mg/l. Considerando uma vazão de 90% de permanência no Lago Descoberto da ordem de 3.900 l/s, a diluição da mistura seria da ordem de 0,028 mg/l, sem considerar a autodepuração, valor que se mostra compatível com o limite máximo exigido pelo CONAMA 357/2005 para águas de classe 2 em ambiente lântico, que é de 0,030 mg/l.

Ao considerar uma vazão de estiagem da ordem de 2.800 l/s, a diluição resultaria em 0,04 mg/l, superior ao que estabelece a Resolução do CONAMA. Por esse motivo, o PDSB recomenda a permanência da estação elevatória de esgotos tratados em modo de exportação dos efluentes para fora da bacia hidrográfica do rio Descoberto em época de estiagem. Dessa forma, o reúso indireto potável no rio Descoberto só poderia ser aplicado na época das chuvas.

Por outro lado, o informe técnico 02-2019 PRHR interno da CAESB, que simulou a depuração no Rio Verde para diferentes cenários de lançamento de efluente tratado, foi apresentada proposta onde a DBO máxima para esse lançamento seria de 26,8 mgDBO₅/l. Porém, a exigência da ADASA foi que se atendesse o parâmetro máximo de 15 mgDBO₅/l, que é um valor mais conservador.

Nesse contexto e visando diluir tais cargas, a Tabela 6 apresenta as eficiências estimadas para nitrogênio e fósforo indicam que para atender o enquadramento do rio Verde (classe 2), deverão ser de 94% para NTK e 98,4% para fósforo total, que é equivalente a lançamentos de 8 mg/l de NTK e 0,23 mg/l de PT. Com relação aos Coliformes Termotolerantes, o estudo determina que para atender a classe 2, a eficiência de remoção deverá ser de no mínimo 99,993%, para lançar cerca de 1,7E+03 NMP/100 ml.

Tabela 6 - Parâmetros para lançamento efluente tratado da ETE Brazlândia modernizada

Parâmetros de lançamento	
DBO ₅	15 mg DBO ₅ /l
Coliformes	1,7E+03 NMP/100 ml
Nitrogênio (TKN)	8 mgN/l
Fósforo	0,23 mgP/l

Fonte: Anteprojeto da ETE Brazlândia (CAESB, 2023)

Na configuração atual da ETE Brazlândia, o tratamento preliminar é realizado fora da estação, em uma unidade de gradeamento localizada na elevatória de esgotos brutos de Brazlândia, próxima ao lago Veredinha, no centro de Brazlândia, a aproximadamente 2,5 km da ETE. A obra de modernização prevê a implantação de

um novo sistema de tratamento preliminar a ser implantado na ETE Brazlândia, juntamente com as demais etapas.

Esse sistema incluirá um gradeamento fino do tipo *stepscreen* mecanizado, acionado por barra fixa, fabricado em aço inoxidável AISI 316, com espaçamento de 3 mm entre as lamelas. Após o gradeamento, o efluente será direcionado para desarenadores prismáticos de fluxo helicoidal com *air lift* para flotação de gordura e remoção de areia por bombeamento.

Também está prevista a implantação de tratamento primário/secundário com a tecnologia *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). Segundo Chernicharo (2007), os reatores do tipo UASB são amplamente utilizados no Brasil devido à sua eficiência no tratamento de matéria orgânica, baixa produção de lodo, simplicidade operacional e aproveitamento do biogás gerado.

A modernização da unidade também prevê a implantação de um queimador para a combustão do biogás gerado pelo UASB, evitando a liberação de metano na atmosfera e mitigando os impactos ambientais associados, já que o metano é um gás de efeito estufa significativamente mais agressivo que o dióxido de carbono (CO₂).

Em relação à etapa de tratamento terciário a ser construída na estação, duas alternativas tecnológicas que apresentam características adequadas para a estação, serão analisadas neste estudo, trata-se do Biorreator por Membrana (BRM) e da Remoção Biológica de Nutrientes (RBN).

O tratamento terciário em estações de esgoto é uma etapa avançada que remove contaminantes residuais, como nutrientes, metais pesados e micropoluentes. Sua importância reside na proteção de corpos d'água e na viabilidade de reutilizar o esgoto tratado para fins agrícolas e industriais, promovendo a sustentabilidade dos recursos hídricos (MUJERIEGO; ASANO, 1999).

5.8.1 Tratamento terciário por Biorreator com Membranas (BRM)

O Biorreator com Membranas é uma tecnologia inovadora que integra processos biológicos convencionais com barreiras físicas proporcionadas por Membranas, combinando tratamento biológico e filtração. Introduzido em 1969, o BRM

foi inicialmente utilizado para separar lodos em sistemas biológicos de tratamento de águas residuais. Seu uso ganhou viabilidade comercial na década de 1990, com o avanço das tecnologias de Membranas e a redução de custos de mercado, consolidando-se como uma solução eficiente para estações de tratamento de esgoto (JUDD, 2011).

Figura 17 - Biorreator com Membranas em fibras e em placas



O princípio do BRM consiste na degradação da matéria orgânica em um tanque biológico, onde microrganismos realizam o tratamento, seguido por uma etapa de filtração por membranas, que submersas ou externas, têm a capacidade de reter sólidos suspensos, bactérias e vírus como apresentado em esquema na Figura 17.

A tecnologia de tratamento de esgotos BRM destaca-se por sua regularidade na produção de efluentes tratados de alta qualidade, com baixos níveis de contaminantes e estabilidade mesmo diante de variações operacionais (JUDD, 2011).

Esse processo garante uma qualidade superior do efluente tratado, muitas vezes adequada para reúso, reduzindo a carga poluidora lançada em corpos hídricos e minimizando impactos ambientais. O BRM é um processo muito parecido com o sistema de lodos ativados, especialmente o de aeração prolongada, diferenciando-se

apenas na operação de separação sólido-líquido (biomassa-efluente). O dimensionamento do sistema biológico segue os mesmos conceitos, porém com ajustes em parâmetros específicos para atender às exigências do uso das Membranas.

A primeira estação em larga escala na Europa, a ETE Porlock no Reino Unido, foi comissionada em 1998. Desde então, a tecnologia tem sido amplamente adotada para atender limites de tratamento mais rigorosos e permitir instalação em áreas restritivas, com destaque para estações como a ETE Seletar em Singapura e a ETE Kaarst na Alemanha (POUSSADE *et al.*, 2010). No Brasil, o sistema BRM já foi implementado em estações como a ETE Arrudas, em Belo Horizonte, evidenciando um compromisso crescente com a sustentabilidade (SANTOS *et al.*, 2017).

Entre as vantagens do BRM estão a alta eficiência na remoção de nutrientes e contaminantes emergentes, a produção mínima de lodo e a necessidade de menor área para implantação, tornando-o ideal para promover o reúso do efluente tratado, diminuindo os custos de manejo e descarte (KIM; LEE, 2015). No entanto, desafios técnicos e econômicos persistem, como o alto custo inicial, elevado consumo energético e a necessidade de manutenção constante para evitar entupimentos e degradação das Membranas (MENG *et al.*, 2009).

O BRM representa um avanço significativo no tratamento de esgotos, integrando eficiência biológica e robustez física. Apesar dos desafios, o crescimento do reúso de água e a busca por tecnologias sustentáveis mantêm o BRM como uma solução relevante, especialmente em regiões com escassez hídrica e demanda por efluentes de alta qualidade.

Em relação à eficiência da tecnologia BRM, estudos demonstram remoções médias de DBO e DQO superiores a 95% e 90%, respectivamente, com efluentes apresentando faixa de concentrações finais entre DBO < 5 mg/l e DQO < 30 mg/l. A turbidez do efluente tratado geralmente é inferior a 1 NTU, indicando excelente clareza. A concentração de SST é praticamente nula (< 1 mg/l), devido à barreira física imposta pela membrana. Segundo (JUDD, 2011), os MBRs oferecem qualidade de efluente superior à obtida por tratamentos convencionais, sendo eficazes também na remoção de patógenos. Além disso, o MBR proporciona remoções significativas de nitrogênio total (até 80%) e fósforo (entre 40–70%) quando integrado a processos biológicos complementares. Para (SANTOS *et al.*, 2020), o desempenho estável do

sistema mesmo sob variações de carga hidráulica e orgânica o torna ideal para regiões com escassez hídrica.

A baixa geração de lodo e a compactação do sistema conferem vantagens operacionais adicionais. Dessa forma, o MBR destaca-se como tecnologia promissora e robusta para o reúso de águas residuárias, especialmente no contexto do Distrito Federal.

5.8.2 Tratamento terciário com Remoção Biológica de Nutrientes (RBN)

De acordo com (LIMA JÚNIOR,2023), os tratamentos para remoção de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, desempenham papel crucial na conservação de fontes de água, prevenindo processos eutróficos em corpos receptores com altas concentrações desses nutrientes. A tecnologia RBN surge como alternativa eficiente e ecologicamente sustentável, eliminando os inconvenientes associados à remoção química. Essa tecnologia, amplamente utilizada em sistemas de lodos ativados, combina eficiência no tratamento de matéria orgânica com a remoção de nutrientes.

O processo de RBN evoluiu a partir do sistema tradicional de lodos ativados, desenvolvido em 1914 por Edward Arden e William Lockett, no Reino Unido. Originalmente, o sistema operava por meio de ciclos em tanques, que enchiam e esvaziavam em regime de batelada, sendo posteriormente adaptado para fluxo contínuo. A necessidade de minimizar a eutrofização de corpos d'água causada pela presença excessiva de nutrientes nos esgotos tratados, impulsionada por normas ambientais mais rígidas entre as décadas de 1960 e 1970, fomentou o aprimoramento dessa tecnologia (METCALF & EDDY, 2014). A RBN otimiza a remoção de nitrogênio por meio de nitrificação e desnitrificação, além de promover a acumulação de fósforo por bactérias em fases anaeróbias, garantindo sua eliminação no efluente final.

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado no tratamento de esgotos domésticos e industriais ao redor do mundo, sendo indicado para situações que demandam elevada qualidade do efluente final, mesmo em áreas restritas.

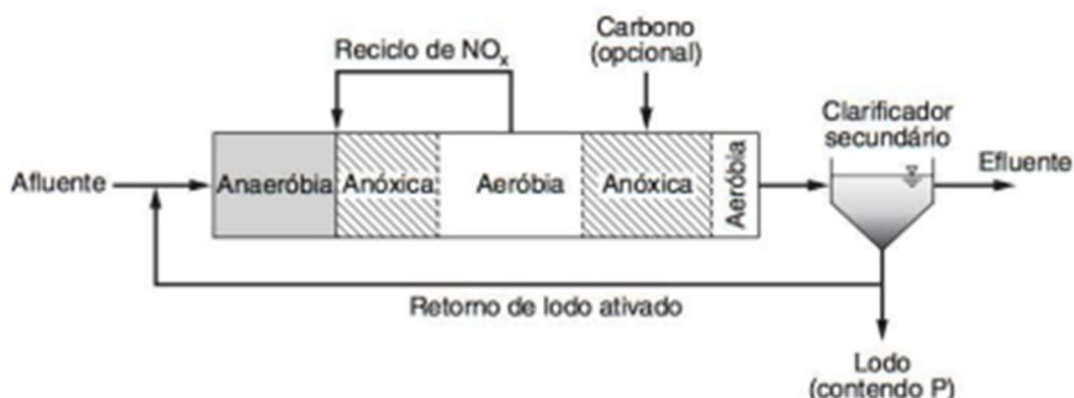
Apesar de sua eficiência, a tecnologia exige altos índices de mecanização, resultando em maior complexidade operacional e maior consumo de energia elétrica. O princípio de funcionamento do sistema baseia-se no cultivo de biomassa ativa em suspensão em um tanque de aeração, onde ocorre a floculação e decomposição biológica da matéria coloidal do esgoto.

Após esse processo, a biomassa é separada nos decantadores secundários, retornando ao reator biológico, enquanto o lodo excedente é descartado para manter a concentração celular constante (Oliveira *et al.*, 2013).

Estações de referência global, como a ETE Stickney, em Chicago, e a ETE Viikinmäki, em Helsinque, ilustram a eficácia da tecnologia em grande escala. No Brasil, a CAESB já emprega sistemas Bardenpho de cinco estágios na ETE Gama.

A configuração dos sistemas Bardenpho é organizada em série, com tanques que seguem as etapas de operação anaeróbia, anóxica 1, aeróbia 1, anóxica 2 e aeróbia 2. Conforme apresentado na Figura 18, esses tanques são interligados por recirculações e requerem decantadores secundários para garantir a eficiência do processo e a separação do lodo.

Figura 18 - Tecnologia RBN com Bardenpho 5 estágios



Entre os benefícios do RBN, destaca-se a mitigação de impactos ambientais dos despejos, a prevenção de eutrofização, a possibilidade de reaproveitamento da água tratada para usos não potáveis e o potencial reaproveitamento de lodo residual como fertilizante devido à alta concentração de nutrientes, desde que tratado adequadamente (HENZE *et al.*, 2008). Apesar das vantagens, a tecnologia enfrenta

desafios como custos elevados de instalação e operação devido à necessidade de sistemas de aeração e monitoramento constante das condições biológicas, alto consumo energético, e necessidade de manejo especializado para evitar problemas operacionais, como desequilíbrios entre as fases aeróbias e anaeróbias e produção excessiva de lodo.

Se adotada como tecnologia para o tratamento terciário da ETE Brazlândia, a configuração RBN permitirá a remoção eficiente de nitrogênio e fósforo, integrando sustentabilidade ambiental e qualidade no tratamento de esgotos. A tecnologia é particularmente indicada para situações que demandam elevada qualidade do efluente final em áreas limitadas, como no caso de Brazlândia.

A Remoção Biológica de Nutrientes (RBN) tem se mostrado uma alternativa altamente eficiente no tratamento de esgotos domésticos, especialmente em regiões com corpos hídricos sensíveis à carga de nutrientes. Esse processo integra etapas de nitrificação, desnitrificação e remoção biológica de fósforo, possibilitando remoções superiores a 90% de nitrogênio e 85% de fósforo total (HENZE *et al.*, 2008). As concentrações dos efluentes tratados geralmente se mantêm abaixo de 10 mg/l de nitrogênio total e 1 mg/l de fósforo total, atendendo aos limites mais restritivos de lançamento. Além disso, a eficiência global do sistema pode superar 95% na remoção de matéria orgânica (DBO e DQO), com sólidos suspensos totais frequentemente inferiores a 20 mg/l. O desempenho estável da RBN depende do controle de parâmetros operacionais como tempo de detenção hidráulica, relação C:N:P e oxigenação adequada (METCALF & EDDY, 2016). A adoção de etapas terciárias pode potencializar ainda mais a qualidade do efluente, tornando o sistema ideal para reuso ou lançamento em corpos receptores frágeis. A RBN, portanto, representa uma solução sustentável, alinhada às exigências ambientais contemporâneas e à preservação dos recursos hídricos.

5.8.3 Flotador com Ar Dissolvido (FAD)

A flotação é uma operação unitária amplamente utilizada para separar partículas líquidas ou sólidas da fase líquida (AISSE *et al.*, 2001). Esse processo ocorre por meio de bolhas finas introduzidas no efluente, que, ao subir, aderem às partículas e as carregam para a superfície, onde se acumulam em forma de espuma. Essa espuma é então coletada e removida por escumadeiras. No sistema FAD

representado pela Figura 19, o ar é dissolvido no esgoto sob pressão de algumas atmosferas e liberado na pressão atmosférica ao atingir a superfície. Para equilibrar a saturação, o sistema realiza uma circulação entre 5% e 10% da vazão total, utilizando compressores que demandam energia elétrica e manutenção eletromecânica constante.

Dentre as principais vantagens do sistema de FAD estão a maior remoção de algas, unidades mais compactas, menor consumo de produtos químicos e maior flexibilidade operacional. Contudo, essa tecnologia não é recomendada para mananciais com alta turbidez frequente. O funcionamento básico envolve bombas que recalcam uma porcentagem da água clarificada presente no tanque, misturando-a com ar ambiente em um vaso sob pressão, garantindo a “dissolução” do ar na água.

Figura 19 - Tanque de flotação por ar dissolvido



Fonte: EnvironQuip (<https://www.environquip.com.br/uip>), acessado em 10 de fevereiro de 2025

Essa água é então introduzida em uma câmara de descompressão juntamente com o efluente floculado, onde o ar dissolvido se expande entre os flocos presentes, promovendo a separação.

Na ETE Brazlândia, a tecnologia de FAD será utilizada para o polimento final, desempenhando papel essencial na remoção de sólidos suspensos e contaminantes

antes da liberação do efluente no meio ambiente. O sistema será composto por duas zonas: a zona de contato e a zona de flotação.

O posicionamento do FAD a montante da etapa de desinfecção por UV visa aumentar a eficiência dos raios UV, potencializando a qualidade final do efluente tratado.

5.8.4 Desinfecção por ultravioleta (UV)

Apesar da desinfecção por cloração ter sido amplamente adotada como solução de desinfecção no saneamento, o impacto químico dessa alternativa nas águas tem causado problemas ambientais de acordo com Souza *et al.* (2012):

Além da toxicidade provocada pelo lançamento de efluentes clorados às comunidades aquáticas dos corpos hídricos, a partir da década de 1970 o uso do cloro começou a ser questionado pela descoberta da formação dos trihalometanos (THMs) e outros subprodutos potencialmente cancerígenos à saúde humana e indesejáveis ao meio ambiente. Assim, a pesquisa por métodos de desinfecção alternativos ao cloro, dentre eles, a radiação ultravioleta ganhou, desde então, grande impulso na comunidade técnico-científica da área de tratamento de águas e efluentes.

O cloro é o desinfetante mais utilizado no Brasil e no mundo, tanto para desinfecção de água de abastecimento quanto de esgotos, sendo sua ampla utilização relacionada aos aspectos técnicos: facilidade de implementação, tecnologia mundialmente difundida, eficiência de inativação, principalmente bacteriana, assim como quanto ao aspecto econômico, por ser um desinfetante de baixo custo (Souza *et al.*, 2012).

Sem acréscimos de produtos químicos nos efluentes tratados, a desinfecção por UV utiliza lâmpadas especiais como pode ser notado na Figura 20, onde a radiação UV atua como mecanismo físico que provoca a inativação microbiana devido à absorção da luz, promovendo uma reação fotoquímica capaz de alterar componentes moleculares essenciais para as funções celulares, causando danos nos ácidos nucleicos (DNA e RNA) dos microrganismos inativando-os (EPA, 1999).

Figura 20 - Desinfecção ultravioleta em funcionamento



Fonte: Revista TAE (<https://www.revistatae.com.br/>), acessado em 12 de fevereiro de 2025

Em relação aos resultados alcançados pela desinfecção por UV de efluentes, verifica-se a efetividade das inativações, segundo Souza *et al.* (2012):

De acordo com Hijnen, Beerenddonk e Medema (2006) que realizaram amplo estudo de revisão de literatura em trabalhos científicos que empregaram a radiação UV para diversos grupos de microrganismos, essa tecnologia é efetiva na inativação de todos os microrganismos patogênicos de interesse para águas de abastecimento, dentre eles *Cryptosporidium* e *Giardia*, que são usados para se avaliar risco microbiológico e de segurança da qualidade da água (Souza *et al.*, 2012).

A desinfecção UV permite o controle microbiológico de organismos patogênicos das águas de reúso produzidas pela estação e lançadas diretamente no rio Descoberto. Trata-se também da etapa final já pré-definida para a configuração do tratamento de esgotos a ser adotado na ETE Brazlândia.

Para o dimensionamento das lâmpadas na modernização da estação, considerou-se uma dose mínima de radiação de 30 J/cm². No total serão dois canais, cada canal terá 2 bancos com 12 módulos, sendo cada módulo com 8 lâmpadas, totalizando 384 lâmpadas, de acordo com Anteprojeto da ETE Brazlândia (CAESB,2023).

5.8.5 Reservatório de Água de Reúso (RAR)

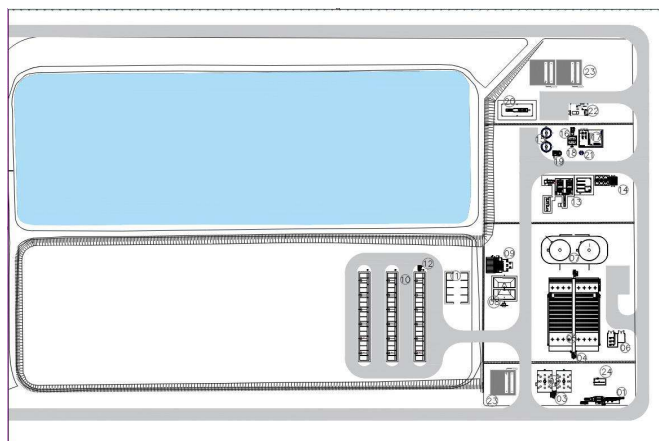
De acordo com informações do Anteprojeto da ETE Brazlândia (CAESB,2023), a reforma da unidade operacional vai descomissionar as duas lagoas facultativas

existentes, destinando uma delas ao manejo de biossólidos, enquanto a outra será convertida em reservatório de água de reúso (RAR), com capacidade para armazenar 216.000 m³. Na Figura 21 destaca-se em azul o posicionamento do reservatório na nova configuração industrial da estação.

A principal vantagem dessa infraestrutura de armazenamento será a garantia de volumes equalizados com cota suficiente para viabilizar pressão adequada na distribuição de água de reúso para irrigação na agricultura ou nos processos industriais internos.

Ao viabilizar a distribuição adequada para suas destinações, a infraestrutura vai contribuir diretamente para o reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto, seja indireto potável no rio Descoberto ou direto restrito na agricultura em propriedades do assentamento rural do Maranhá, além do aproveitamento em usos operacionais internos da estação de tratamento.

Figura 21 - Planta baixa ETE Brazlândia modernizada, com RAR representado em azul



Fonte: Anteprojeto modernização da ETE Brazlândia (CAESB, 2023)

5.8.6 Qualificação ambiental do vale do rio Verde em Goiás

Desde sua inauguração em 1983, a ETE Brazlândia destina seus efluentes tratados ao rio Verde, em Goiás. Essa destinação é realizada por meio de bombeamento, configurando uma transposição entre as bacias hidrográficas do rio Descoberto/rio Paranaíba e do rio Verde/rio Maranhão. Com a modernização da ETE

Brazlândia, essa alternativa será qualificada, uma vez que o tratamento passará a ser em nível terciário.

Atualmente, o tratamento secundário realiza apenas a digestão parcial da matéria orgânica, sem remover nutrientes como fósforo e nitrogênio, cuja concentração elevada pode causar eutrofização nos corpos hídricos receptores. A ausência de processos de desinfecção compromete a eliminação de microrganismos patogênicos, colocando em risco a saúde do ecossistema aquático e das populações ribeirinhas.

Com o tratamento terciário, será possível remover nutrientes, resíduos químicos e partículas finas que atualmente passam despercebidos. O polimento final com FAD garantirá uma clarificação adicional da água, minimizando a proliferação de algas e prevenindo a eutrofização, um dos principais fatores de degradação de ambientes aquáticos. A redução de nutrientes como fósforo contribuirá para o equilíbrio ecológico do rio Verde, beneficiando a fauna e a flora aquática, limitando o crescimento descontrolado de algas nocivas.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa buscou selecionar decisões apropriadas para o reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto, após a modernização da ETE Brazlândia, considerando os cenários externo e interno do tomador de decisão CAESB.

Para tanto, optou-se pela utilização do conceito de tecnologia apropriada no saneamento ambiental, conforme apresentado por Carneiro *et al.* (2001), quando propôs uma metodologia racional para avaliar e selecionar alternativas tecnológicas para o tratamento de águas residuais municipais, incorporando métodos de tomada de decisão multiobjetivos e multicritérios.

Para viabilizar a seleção dessas alternativas de gestão de recursos hídricos relacionadas com reúso de água, adotou-se o conceito de Tecnologia Apropriada (TA) juntamente com os métodos *Analytic Hierarchical Process* (AHP) e ponderação aditivo-hierárquica, que foram integrados neste trabalho para desenvolver as análises multicritérios realizadas nos dois cenários estudados.

No cenário externo do tomador de decisão CAESB, buscou-se a seleção da alternativa apropriada para a destinação das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada, considerado a perspectiva de um membro Comitê de Bacia Hidrográfica do Paranaíba-DF (CBH Paranaíba-DF) do setor do saneamento, cujos objetivos estão relacionados com fundamentos da PNRH, e foram organizados de acordo com os fatores da ferramenta PESTEL (Política, Economia, Sociedade, Tecnologia, Meio Ambiente e Legislação). A abordagem do cenário externo refere-se ao primeiro objetivo específico da pesquisa.

No cenário interno do tomador de decisão CAESB, buscou-se a seleção da alternativa apropriada para a configuração na ETE Brazlândia modernizada com reúso de água na agricultura para propriedades do assentamento rural Maranatha, considerando a perspectiva de uma companhia de saneamento ambiental em busca de otimizar sua eficiência operacional associada com a produtividade agrícola por meio da irrigação. A abordagem do cenário interno refere-se ao segundo objetivo específico da pesquisa.

Na Tabela 7 observa-se uma síntese dos materiais e métodos aplicados nesta pesquisa, detalhando atividades realizadas, dados coletados e resultados esperados alinhados aos objetivos específicos.

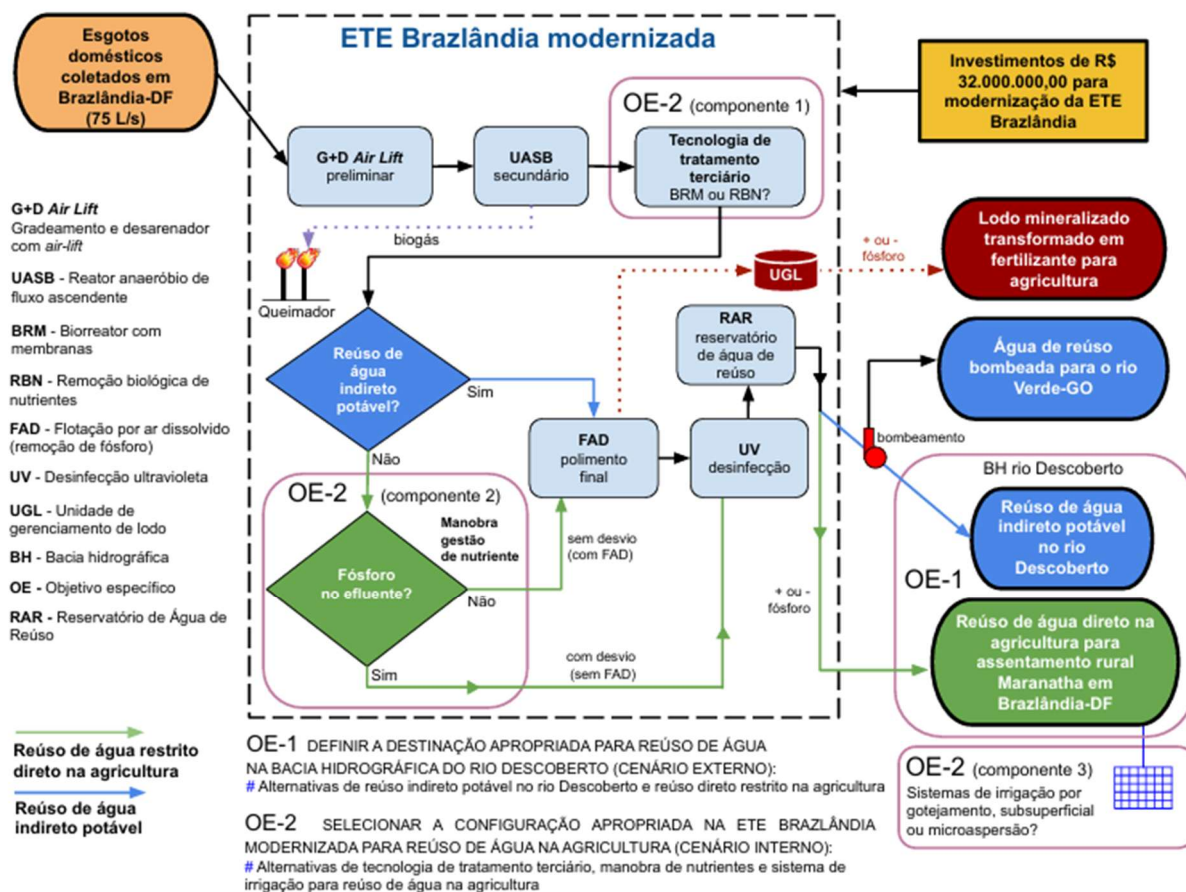
Tabela 7 - Resumo de materiais e métodos para atendimento aos objetivos específicos da pesquisa

Objetivos específicos	Atividades	Dados	Resultados esperados
<p>1-Definir, por meio de análise multicritério, a destinação apropriada para as águas de reúso produzidas pela ETE Brazilândia modernizada na bacia hidrográfica do rio Descoberto.</p> <p>☀ Cenário externo do tomador de decisão CAESB "membro do CBH Paranaíba-DF"</p>	<p>Oficina socioambiental em Brazilândia sobre reúso de água com questionário produtores rurais do assentamento rural Maranhá</p> <p>Entrevista com "analistas" membros do CBH Paranaíba-DF para calibração dos pesos dos critérios de avaliação</p> <p>Questionário para "especialistas" das áreas de saneamento, recursos hídricos e meio ambiente</p>	<p>Dados e informações sobre saneamento e reúso de água dos produtores rurais do assentamento rural Maranhá</p> <p>Valores das intensidades das importâncias dos critérios de avaliação obtidos junto aos "analistas" quando comparados dois a dois</p> <p>Atributos obtidos junto aos "especialistas" relativos aos critérios de avaliação para as alternativas de destinação do reúso de água</p>	<p>Cálculo das pontuações das alternativas consideradas utilizando o método da ponderação aditivo-hierárquica(PAH)</p> <p>Definição da destinação apropriada para as águas de reúso produzidas pela ETE Brazilândia após modernização</p> <p>Discussões e recomendações sobre a destinação das águas de reúso em Brazilândia considerando a gestão dos recursos hídricos</p>
<p>2-Selecionar, por meio de análise multicritério, a configuração apropriada na ETE Brazilândia modernizada para reúso de água na agricultura em propriedades do assentamento rural Maranhá.</p> <p>☀ Cenário interno do tomador de decisão CAESB "eficiente operacional com reúso de água na agricultura"</p>	<p>Solicitação formal de dados e informações técnicas com finalidade de pesquisa no ProfÁgua</p> <p>Entrevistas presenciais com "analistas decisores" das áreas de projeto, operação e meio ambiente da CAESB para calibração dos pesos e obtenção de atributos dos critérios de avaliação.</p>	<p>Dados secundários obtidos junto à CAESB.</p> <p>Valores das intensidades das importâncias dos critérios de avaliação obtidos junto aos "analistas decisores" quando comparados dois a dois</p> <p>Atributos obtidos junto aos "analistas decisores" relativos aos critérios de avaliação</p> <p>Pareceres, avaliações, observações e comentários técnicos obtidos nas entrevistas junto aos "analistas decisores"</p>	<p>Cálculo das pontuações das alternativas consideradas utilizando o método da ponderação aditivo-hierárquica(PAH)</p> <p>Definição da configuração apropriada na ETE Brazilândia modernizada com reúso de água na agricultura</p> <p>Discussões e recomendações relacionadas com a ETE Brazilândia e o reúso de água na agricultura em Brazilândia</p>

Para permitir uma visão geral das infraestruturas a serem implantadas e as funcionalidades da ETE Brazilândia modernizada, a Figura 22 apresenta as novas

destinações possíveis para as águas de reúso produzidas, bem como as as configurações operacionais e recursos internos da estação a serem criados, associados aos objetivos específicos da pesquisa.

Figura 22 - Modernização da ETE Brazlândia e objetivos específicos da pesquisa



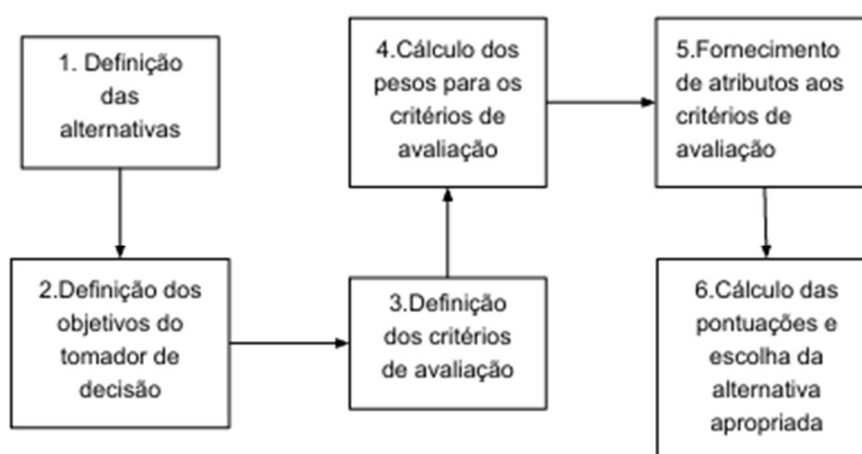
Fonte: Autor, janeiro de 2025

6.1 MÉTODO DA PONDERAÇÃO ADITIVO-HIERÁRQUICA PARA SELEÇÃO DE DECISÕES APROPRIADAS

Para selecionar alternativas apropriadas em relação ao reúso de água com na ETE Brazlândia modernizada, esta pesquisa adotou a metodologia de análise multicritério com aplicação das metodologias AHP e ponderação aditivo-hierárquico. Para tanto, deve-se seguir os passos do roteiro apresentado na Figura 21.

A utilização da análise multicritério é especialmente útil em situações de elevada complexidade onde é necessário escolher entre alternativas com base em diferentes objetivos e critérios de avaliação estabelecidos. Nesse sentido, esta pesquisa respeitou a perspectiva do tomador de decisão de acordo com o cenário analisado, atribuindo pesos aos critérios de avaliação com o método AHP. Com definição dos pesos e coleta de atributos via questionário, aplicou-se o método da ponderação aditivo-hierárquico e finalmente obteve-se a alternativa apropriada, seguindo os passos apresentados na Figura 23.

Figura 23 - Análise multicritério pelo método da ponderação aditivo-hierárquica



Fonte: Autor, janeiro de 2025

6.1.1 Atores da análise multicritério e dados utilizados

Em problemas de análise multicritério é fundamental a participação dos “atores”, pois são responsáveis pela interface humana e institucional envolvidos numa tomada de decisão construção de critérios técnicos, pressões e decisões a serem tomadas.

De acordo com Souza *et al.* (2001) O conceito de "atores" abrange grupos de pessoas, indivíduos e instituições perfeitamente identificáveis, que participam direta ou indiretamente do processo decisório. No artigo apresentado, Souza *et al.* (2001)

classificam os “atores” em “analistas”, que são responsáveis pela modelagem dos processos decisórios, em “decisores”, que podem ser pessoas ou instituições que influenciam direta ou indiretamente nas tomadas de decisão, e em “especialistas”, que podem influenciar decisivamente no rumo de uma decisão.

Adotando essas definições ao contexto das análises multicritérios a serem desenvolvidos nesta pesquisa, a Tabela 8 apresenta os atores envolvidos nas tomadas de decisão relacionados com o aproveitamento das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada.

Tabela 8 - Atores participantes da pesquisa

Atores	Definição	Atuação	Participação na pesquisa
“analistas”	Modelagem dos processos decisórios	Representantes da UnB, ADASA e CAESB no CBH Paranaíba-DF	Pesos dos critérios de avaliação
“especialistas”	Influência no rumo de uma decisão	Profissionais e graduados da sociedade civil nas áreas de recursos hídricos, saneamento e meio ambiente	Respostas para questionário de alternativas de destinação das águas de reúso da ETE Brazlândia modernizada
“analistas decisores”	Modelagem dos processos decisórios e influência direta e indiretamente na tomada de decisão	Analistas de Sistemas de Saneamento Ambiental da CAESB em atuação nas áreas de projeto, operação e meio ambiente	Pesos dos critérios de avaliação e atributos para as alternativas de configuração da ETE Brazlândia modernizada com reúso de água na agricultura
“decisor”	Sociedade de economia mista responsável pelas decisões no SES Brazlândia	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB)	Tomador de decisões apropriadas. Cenário externo: “Membro do CBH Paranaíba-DF” e cenário interno: “Eficiente operacional com reúso de água na agricultura”

No desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados dados primários obtidos por meio de questionários e dados secundários fornecidos pela CAESB. Os dados secundários incluíram informações e dados operacionais, bem como diretrizes estratégicas e especificações de projeto provenientes das áreas de projeto, meio ambiente e operação. Essas informações foram vitais para a condução da pesquisa, mostrando-se imprescindíveis para sua realização.

Os dados primários utilizados nesta pesquisa foram coletados por meio de entrevistas e questionários aplicados a diferentes grupos de atores relacionados aos cenários externo e interno da CAESB, como apresentado a seguir nas Tabelas 9 e Tabela 10, respectivamente. Esses questionários foram fundamentais para subsidiar as análises multicritério e enriquecer as discussões da pesquisa.

Tabela 9 - Coleta de dados primários no cenário externo do tomador de decisão CAESB

Tabela 9 - Coleta de dados primários no cenário externo do tomador de decisão CAESB

Instrumento de coleta de dados	Público-alvo	Justificativa	Formato	Período	Obs
Questionário da oficina socioambiental	Produtores Rurais do Projeto Maranatha (APRPM)	Conhecer a aceitação da comunidade em relação ao reúso de água na agricultura	Formulário físico e virtual	Janeiro 2024	14 respostas
Questionário sobre destinação do reúso de água em Brazlândia	“especialistas” em meio ambiente, saneamento e recursos hídricos	Avaliar as duas destinações de reúso de água em Brazlândia com critérios alinhados com os objetivos PESTEL	Formulário virtual	Julho de 2024	49 respostas
Entrevista com coleta de dados para construir pesos dos critérios de avaliação	“analistas” membros do CBH Paranaíba	Calibração dos pesos dos critérios de avaliação confrontados dois a dois (AHP)	Preenchimento de tabela comparativa virtual de critérios 2 a 2	agosto de 2024	3 respostas

Instrumento de coleta de dados	Público-alvo	Justificativa	Formato	Formulário	Período	Respostas	O
Questionário da oficina socioambiental	Produtores Rurais do Projeto Maranhá (APRPM)	Conhecer a aceitação da comunidade em relação ao reúso de água na agricultura	Formulário físico e virtual	2024	Janeiro	4 respostas	1
Questionário sobre destinação do reúso de água em Brazlândia	“especialistas” em meio ambiente, saneamento e recursos hídricos	Avaliar as duas destinações de reúso de água em Brazlândia com critérios alinhados com os objetivos PESTEL	Formulário virtual	de 2024	Julho	9 respostas	4
Entrevista com coleta de dados para construir pesos dos critérios de avaliação	“analistas” membros do CBH Paranaíba	Calibração dos pesos dos critérios de avaliação confrontados dois a dois (AHP)	Preenchimento de tabela comparativa virtual de critérios 2 a 2	de 2024	agosto	3 respostas	3

O primeiro questionário foi aplicado presencialmente durante oficina socioambiental realizada com produtores rurais da Associação de Produtores Rurais do Projeto Maranhá (APRPM), e seu objetivo foi simplesmente o de identificar o interesse dos produtores em adotar o reúso de água em suas propriedades agrícolas, utilizando água de reúso produzida pela ETE Brazlândia modernizada. Conforme pode ser observado no Apêndice, esse questionário também forneceu informações sobre infraestruturas sanitárias de algumas propriedades rurais do Maranhá. Os dados coletados desse questionário fizeram parte de uma apresentação enviada para os “especialistas” juntamente com o formulário virtual do questionário sobre as destinações das águas de reúso.

Tabela 10 - Coleta de dados primários para cenário interno do tomador de decisão CAESB

Tipo	Público-alvo	Justificativa	Período	OBS
Entrevista presencial e virtual com preenchimento de tabela comparativa de critérios 2 a 2	Atores “analistas-decisores” Analistas da CAESB com vasta	Construção dos pesos dos critérios	agosto de 2024	3 respostas
Entrevista presencial e virtual com coleta de atributos análises, comentários e relatos	experiência nas áreas de meio ambiente, operação e projeto de esgotos	Fornecimento de atributos para os critérios de avaliação considerados	setembro de 2024	3 respostas

Nas entrevistas presenciais foram abordadas questões sobre as configurações da ETE Brazlândia com foco na eficiência operacional, sempre com a premissa de que os efluentes tratados seriam destinados ao reúso de água na agricultura. Dessa forma, surgiram contribuições e relatos importantes para a construção dos resultados, discussões e conclusões da pesquisa.

Entre os dados fornecidos pela CAESB, destacam-se as informações sobre a concepção e o projeto de modernização da ETE Brazlândia, incluindo especificações técnicas detalhadas e projetos estruturais. Essas informações permitiram analisar as infraestruturas dimensionadas para a estação, identificar rotinas de manutenção projetadas, compreender o funcionamento das elevatórias e avaliar as estratégias adotadas pela companhia para a gestão eficiente dos recursos hídricos na bacia do rio Descoberto.

Nesse contexto, a Tabela 11 apresenta as áreas da CAESB que contribuíram diretamente para esta pesquisa, com suas respectivas atividades institucionais, justificativas para a participação no estudo e os dados secundários fornecidos, os quais foram fundamentais para a viabilização e aprofundamento deste trabalho.

Tabela 11 - Dados secundários nos cenários interno e externo do tomador de decisão

Tabela 11 - Dados secundários nos cenários interno e externo do tomador de decisão

Unidade da CAESB	Atividade	Justificativa	Dados secundários
Gerência de Projetos de Esgotos	Concepção, projetos e soluções tecnológicas para a modernização da ETE Brazlândia.	Viabilizar a caracterização da ETE Brazlândia modernizada	Projeto e especificações técnicas da ETE Brazlândia modernizada
Gerência de Operação de Esgotos	Operação e manutenção da ETE Brazlândia	Dados e informações operacionais do SES Brazlândia	Dados de infraestrutura e operação
Gerência de Meio Ambiente	Meio ambiente, gestão de recursos hídricos e estudos sobre reúso de água na CAESB.	Estratégias e informações socioambientais sobre a gestão dos recursos hídricos	Atuação da CAESB nos CBHs e na gestão dos recursos hídricos do DF

6.2 Seleção de destinação apropriada para reúso de água no cenário externo do tomador de decisão

Ao aplicar a metodologia para o primeiro objetivo específico, a Tabela 12 detalha os passos a serem seguidos para desenvolver a análise multicritério pelo método da ponderação aditivo-hierárquica.

Tabela 12 - Passo a passo análise multicritério pelo método da ponderação aditivo-hierárquica

Roteiro ponderação aditivo-hierárquica	Cenário Externo do tomador de decisão
Passo 1 (5.2.1)	Destinações possíveis para as águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada na bacia hidrográfica do rio Descoberto.
Passo 2 (5.2.2)	Objetivos relacionados com a PNRH adaptados aos fatores PESTEL, totalizando 6 (seis) objetivos
Passo 3 (5.2.3)	Para cada objetivo PESTEL foram definidos dois critérios de avaliação, perfazendo um total de 12 (doze).

Passo 4 (5.2.4)	Caracterização dos atores e cálculo dos pesos dos critérios de avaliação com a utilização do método AHP, que prevê a comparação desses critérios dois a dois, realizada por 3 (três) membros do CBH Paranaíba-DF, qualificados como atores “analistas” no cenário externo do tomador de decisão.
Passo 5 (5.2.5)	Obtenção de atributos através de aplicação de questionário sobre as alternativas de reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto junto ao público-alvo “especialistas”, composto por graduados e profissionais das áreas de meio ambiental, recursos hídricos e saneamento.
Passo 6 (5.2.6)	Totalização da pontuação total de cada alternativa adotando-se o método da ponderação aditivo-hierárquico, onde cada critério de avaliação apresenta seu respectivo atributo e peso hierarquizado pelo método AHP, que foram multiplicados e somados para fornecer a pontuação final das alternativas. Definição da alternativa apropriada

6.2.1 Definição das alternativas no cenário externo

A estação modernizada vai permitir duas novas alternativas de destinação dos efluentes tratados no Distrito Federal, ambas configurando reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto, uma delas é o reúso indireto potável no rio Descoberto e a outra o reúso direto restrito na agricultura em propriedades do assentamento rural Maranatha, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Novas destinações para os efluentes tratados da ETE Brazlândia na bacia hidrográfica do rio Descoberto

Alternativas de destinação das águas de reúso	Tipo de destinação de reúso	Consumo de energia	Impactos na bacia do rio Verde	Impactos na bacia hidrográfica do rio Descoberto	Gestão de recursos hídricos
Rio Descoberto	Reúso indireto potável	Economia mensal de energia elétrica para a CAESB (R\$ 24.080,00)	Preservação ambiental com redução nos processos eutrofização	Vazão adicional de 75 l/s no lago do Descoberto	Segurança hídrica

Dessa forma, ambas alternativas de reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto levarão a uma redução nos custos de energia elétrica utilizados no funcionamento da elevatória de efluentes tratados conforme Tabela 14, além de incrementarem a disponibilidade hídrica no lago do Descoberto, gerando benefícios socioambientais para agricultura familiar com redução nos custos para o produtor rural.

Tabela 14 – Dados mensais de bombeamento da elevatória de efluentes tratados de Brazlândia

Destinação de exportação	Volume mensal bombeado	Consumo específico	Custo unitário energia elétrica	Custo total mensal
Bombeamento para o rio Verde em Goiás	115.326 m ³	0,24 KWh/m ³	R\$ 0,87/KWh	R\$ 24.080,00

Portanto, as alternativas constantes na Tabela 13 foram consideradas na análise multicritério do primeiro objetivo específico o qual busca selecionar a tomada de decisão apropriada para a CAESB no cenário externo da CAESB em relação ao reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto.

Na alternativa de destinação da água de reúso produzida pela ETE Brazlândia modernizada para o reúso indireto potável no rio Descoberto, as águas de reúso serão inicialmente reservadas no reservatório de água de reúso (RAR), e posteriormente destinadas ao emissário de concreto armado com diâmetro de 400 mm, por onde serão transportadas por gravidade até chegarem na elevatória de efluentes tratados de Brazlândia. A partir desse ponto, ao invés de serem bombeadas para o rio Verde como ocorre atualmente, as águas de reúso serão lançadas no rio Descoberto através de descarga existente na estação elevatória.

Quando ocorre o lançamento no rio Descoberto a partir da elevatória, as águas percorrerem uma distância de 6 km pelo corpo hídrico até alcançarem o lago do Descoberto, sendo necessário mais 26 km até atingirem a captação da Barragem do rio Descoberto. Durante o trajeto, as águas de reúso serão depuradas, melhorando sua qualidade através de processos físicos, químicos e biológicos, sendo finalmente

captadas e bombeadas para a ETA Descoberto, onde receberão tratamento convencional.

Ao chegar na estação de tratamento de água, ocorre tratamento por etapas passando pela filtração, desinfecção, fluoretação e correção do pH, para posteriormente serem consideradas potáveis e distribuídas para abastecimento humano em todo Distrito Federal.

Ao adotar o reúso indireto potável no rio Descoberto com água de reúso de Brazlândia, o lago Descoberto terá uma contribuição de 75 l/s para sua segurança hídrica. Essa contribuição com o manancial do rio Descoberto, representa um ganho em disponibilidade hídrica para o sistema produtor de água do Descoberto e para o Distrito Federal.

Vale ressaltar que, conforme recomendado no PDSB, essa alternativa deverá ser adotada somente nos períodos de chuva, tendo em vista restrições da CONAMA 357/2005 para águas de classe 2 em ambiente lântico, onde o limite máximo para a concentração de fósforo é de 0,030 mg/l. Em períodos de estiagem, o reúso de água indireto potável resultaria numa concentração de 0,040 mg/l, superando o limite autorizado.

Na segunda alternativa de destinação para as águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada, é previsto o aproveitamento por meio do reúso restrito direto na agricultura em propriedades do assentamento rural Maranatha

Para viabilizar a distribuição das águas para irrigação no assentamento rural Maranatha, seria necessário a construção de uma rede de distribuição exclusiva para atender os irrigantes da APRPM, inicialmente com aproximadamente 5 km de acordo com rede de distribuição estimada por esta pesquisa. Essa rede seria projetada, construída e operada pela CAESB com um traçado que buscasse percorrer a testada dos terrenos, fornecendo água de reúso para irrigação por meio de ramais de irrigação, com cavaletes e hidrômetros customizados para essa finalidade.

Na prática, seria necessária a implantação do conceito de SAAR (Sistema de abastecimento de águas de reúso), prevendo a elaboração de normas internas específicas na CAESB para viabilizar a implantação dessa nova modalidade de atendimento ao cliente na companhia.

Ao considerar a alternativa de destinação do reúso de água direto restrito na agricultura no assentamento rural Maranhá, foram levantadas questões socioambientais ligadas à saúde pública, socioambientais, produtividade agrícola, infraestrutura e planejamento territorial, além de questões operacionais e de manutenção relacionadas com as redes de distribuição da água de reúso nas propriedades.

Com a previsão de incremento da vazão na ETE Brazlândia para 75 l/s, adotou-se uma vazão de irrigação de 1 l/s por hectare (CODEVASF, 2018). Dessa maneira, seria possível atender uma área de 75 Ha conforme destacado na Figura 24, sendo viável o atendimento de aproximadamente 30 produtores rurais membros da Associação de Produtores Rurais do Projeto Maranhá (APRPM) em culturas de frutíferas.

Figura 24 - Representação da ETE Brazlândia croqui de sistema de Abastecimento de Água de Reúso (SAAR) para propriedades do assentamento rural Maranhá



Fonte: Autor, janeiro de 2024

Vale ressaltar que, essa disponibilidade hídrica adicional de 75 l/s na bacia hidrográfica do rio Descoberto, representará a possibilidade de oferta de água perene para irrigação, inclusive durante os períodos de estiagem. Outra questão relevante a ser pontuada, refere-se à potencial economia de energia elétrica para os produtores

rurais, uma vez que com fornecimento de água de reúso via rede de distribuição da CAESB, não será necessário utilizar poços profundos para irrigação.

Para estabelecer uma estimativa das áreas irrigáveis para este estudo, foram selecionadas duas áreas agrícolas totalizando 75 hectares, onde ambas seriam destinadas à produção de frutíferas com irrigação proveniente das águas de reúso produzidas pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Brazlândia após modernização. As culturas agrícolas adotadas como referência foram o limão e o milho.

6.2.2 Definição dos objetivos

Para correlacionar o conceito entre tecnologia apropriada com a gestão de recursos hídricos, esta pesquisa utilizou a ferramenta PESTEL para estabelecer os objetivos e critérios de avaliação adotados para o tomador de decisão CAESB no cenário externo. Dessa forma, os objetivos adotados estão apresentados na Tabela 15, perfazendo um total de seis (6) objetivos

Tabela 15 - Fatores PESTEL adotados como objetivos no cenário externo

Fatores PESTEL adotados como objetivos para o tomador de decisão no cenário externo					
Política	Economia	Sociedade	Tecnologia	Ambiental	Legislação
<i>Politics</i>	<i>Economics</i>	<i>Society</i>	<i>Technology</i>	<i>Environment</i>	<i>Legislation</i>

Ao adotar os fatores PESTEL como objetivos, entende-se que o tomador assume a forma como eles são fundamentados na PNRH para que seja aplicado em suas decisões.

Um aspecto em comum existente entre a tecnologia apropriada e os fatores PESTEL, refere-se ao fato de que ambas traduzem o cenário de uma empresa ou de uma tecnologia num determinado tempo. Como todos os fatores são alterados ao longo do tempo, também os resultados PESTEL fazem uma fotografia que representa um registro temporal de uma determinada situação analisada.

6.2.3 Definição dos critérios de avaliação

Para desenvolver os critérios de avaliação aderentes aos objetivos, foram criados dois critérios de avaliação para cada um dos objetivos PESTEL no reúso de água, adotando-se questões relacionados com a gestão de recursos hídricos e o reúso de água em Brazlândia, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 - multiobjetivos PESTEL no reúso de água com multicritérios correspondentes

Objetivos PESTEL no reúso de água	Critérios de avaliação criados a partir dos objetivos
Política	PP1 - Incentivo a políticas públicas
	PP2 - Credibilidade do governo perante a comunidade
Economia	PE3 - Investimentos na ETE Brazlândia
	PE4 - Custos de operação e manutenção
Sociedade	PS5 - Repulsa causada pelas águas de reúso
	PS6 - Educação, interesse e consciência da comunidade
Tecnologia	PT7 - Desempenho das tecnologias de tratamento
	PT8 - Tecnologias de tratamento como fator de marketing
Meio Ambiente	PA9 - Riscos à saúde dos usuários
	PA10 - Aumento de segurança hídrica
Legislação	PL11 - Regulamentação existente no DF para reúso de água
	PL12 - Impacto no planejamento e regularização do território

6.2.4 Cálculo dos pesos para os critérios de avaliação

No cenário externo do reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto, os pesos atribuídos aos critérios de avaliação foram calculados com a contribuição de membros dos setores sociedade civil, usuários e poder público do CBH Paranaíba-DF, visando criando uma visão ética e respeitosa em relação aos interesses de todos

os setores, promovendo uma visão horizontal na gestão dos recursos hídricos do comitê.

Dessa forma, o tomador de decisão CAESB “membro do CBH Paranaíba-DF” buscou respeitar os fundamentos, objetivos e diretrizes gerais de ação da PNRH para selecionar a destinação apropriada para as águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada.

Para atribuir pesos aos critérios de avaliação, este estudo entrevistou três membros participantes do CBH Paranaíba-DF que representaram a CAESB como usuário do setor saneamento, a UnB como sociedade civil e a ADASA como poder público como detalhado na Tabela 17. Dessa forma, buscou-se refletir a estrutura tripartite dos comitês de bacia hidrográfica, conforme previsto na Lei Federal 9433/1997(PNRH).

Nas entrevistas realizadas, obteve-se a relação de importância entre os critérios de avaliação quando comparados dois a dois, conforme metodologia AHP. Os resultados dessas comparações encontram-se no Apêndice e foram utilizadas para construir uma matriz de comparação, de onde foi possível estabelecer os pesos dos critérios para cada entrevistado. Ao final, foi calculada a média dos pesos dos três representantes das instituições que foi utilizada como peso final dos critérios.

Tabela 17 - Estrutura de participação dos atores “analistas” entrevistados para construção dos pesos dos critérios

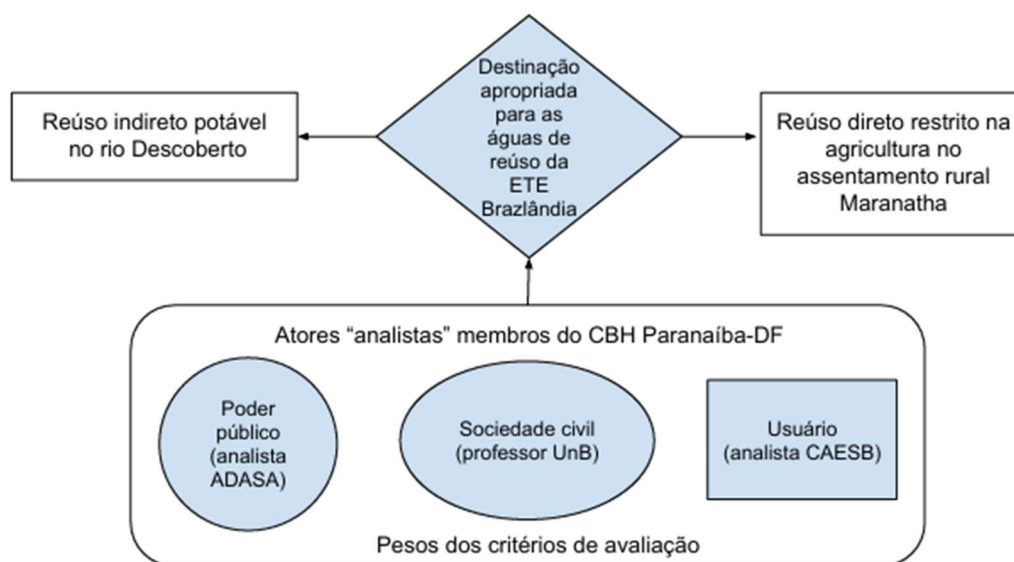
Estrutura tripartite do CBH Paranaíba-DF	Instituições membro do CBH Paranaíba-DF	Atores “analistas” membros do CBH Paranaíba-DF
Sociedade civil	UnB	Professor da área de meio ambiente
Poder público	ADASA	Analista de recursos hídricos
Usuário do setor saneamento	CAESB	Analista de sistemas de saneamento

Foram estabelecidos 12 (doze) critérios de avaliação para a análise multicritério na busca da destinação apropriada das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada. Ao combiná-los dois a dois, obteve-se 66 (sessenta e seis)

comparações realizadas por cada ator “analista”, subsidiando a montagem da matriz de comparação.

Após normalização da matriz, obteve-se os pesos relativos de cada um dos critérios de avaliação considerados. As tabelas de comparação completas preenchidas pelos três atores “analistas” encontram-se no apêndice, cujos pesos finais adotados corresponderam às médias dos pesos atribuídos pelos três membros do CBH Paranaíba-DF entrevistados representados na Figura 25.

Figura 25 - Formação do perfil do tomador de decisão CAESB “membro do CBH Paranaíba-DF



6.2.5 Fornecimento de atributos para os critérios de avaliação das alternativas

Para coletar atributos referentes aos 12 (doze) critérios de avaliação na análise multicritério com ponderação aditivo-hierárquica, foi aplicado um questionário virtual sobre a viabilidade das duas alternativas previstas para a destinação das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada.

O questionário foi enviado via correio eletrônico aos atores “especialistas” das áreas de recursos hídricos, saneamento e meio ambiente, sendo composto por 12(doze) perguntas, onde cada uma delas foi especialmente elaborada para referenciar um dos critérios de avaliação elencados.

As telas contendo as perguntas do questionário foram inseridas no Apêndice.

6.2.6 Cálculo das pontuações e escolha da alternativa apropriada

Após coleta dos atributos e cálculo das médias entre os atores entrevistados, os valores obtidos foram multiplicados pelos pesos respectivos de cada critério de avaliação, que posteriormente somadas, fornecerem as pontuações das alternativas consideradas. Concluídas as pontuações de cada alternativa, foi possível verificar a alternativa com maior pontuação, que de acordo com o método da ponderação aditivo-hierárquica foi selecionada como destinação apropriada para as águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada. Os cálculos realizados serão apresentados no capítulo 6.

6.3 SELEÇÃO DA CONFIGURAÇÃO APROPRIADA NA ETE BRAZLÂNDIA MODERNIZADA PARA REÚSO DE ÁGUA NO CENÁRIO INTERNO DO TOMADOR DE DECISÃO

Tabela 18 - Passos para a análise multicritério para cenário interno

Roteiro ponderação aditivo-hierárquica	Cenário Interno do tomador de decisão
Passo 1 (5.3.1)	Configurações possíveis na ETE Brazlândia modernizada através da combinação de 3 (três) componentes apresentados como OE-2 na Figura 22, sendo dois operacionais internos na estação com 2 (duas) possibilidades cada, e um externo referente ao sistema de irrigação adotado nas propriedades rurais do assentamento rural Maranatha com três possibilidades, totalizando 12 (doze) alternativas.
Passo 2 (5.3.2)	Objetivos relacionados com o saneamento ambiental e agricultura, agrupados em três objetivos: 9(nove) de eficiência operacional, 1(um) de produtividade agrícola e 4 (quatro) de adequação de sistema de irrigação, compondo um total de 14 (doze) objetivos
Passo 3 (5.3.3)	Para contemplar os objetivos no cenário interno, foram adotados 9 (nove) critérios de avaliação de eficiência operacional, 1 (um) de produtividade agrícola e 4 (quatro) de adequação de sistemas de irrigação, totalizando 14 (catorze) critérios de avaliação. Dessa forma, foi criado um critério de avaliação por cada objetivo considerado.
Passo 4 (5.3.4)	Caracterização dos atores e cálculo dos pesos dos critérios de avaliação com a utilização de método AHP, que prevê a comparação de critérios dois a dois, realizada por 3 (três) engenheiros civis analistas de sistema de saneamento ambiental da CAESB, qualificados como “analistas-decisores” no cenário interno do tomador de decisão.
Passo 5 (5.3.5)	Obtenção de atributos através da aplicação de questionário sobre as configurações na ETE Brazlândia ao público-alvo “analistas-decisores” da CAESB envolvidos no projeto, operação e gestão ambiental da modernização da ETE Brazlândia.

Passo 6] (5.3.6)	Totalização da pontuação total de cada alternativa adotando-se o método da ponderação aditivo-hierárquico, onde cada critério de avaliação apresenta seu respectivo atributo e peso hierarquizado pelo método AHP, que foram multiplicados e somados para fornecer a pontuação final das alternativas. Definição da alternativa apropriada
---------------------	--

Nesse contexto, a seleção da tecnologia de tratamento terciário juntamente com mais duas opções operacionais e de infraestrutura de irrigação, compõe a configuração apropriada na ETE Brazlândia voltada para o reúso de água na agricultura.

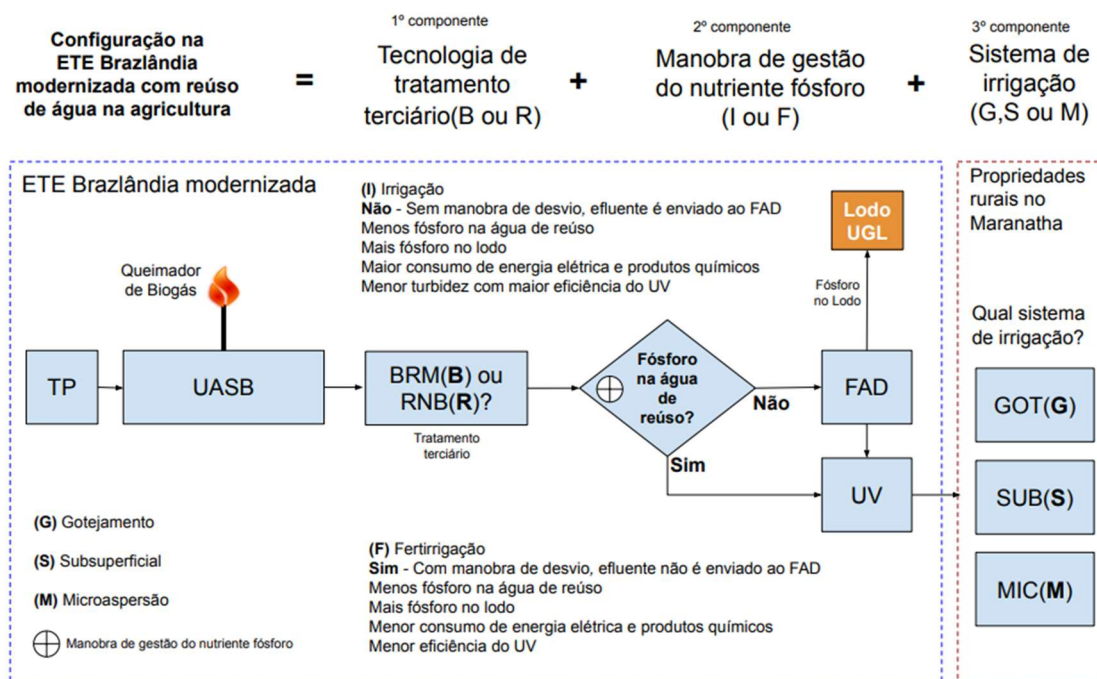
A análise multicritério realizada no cenário interno para selecionar a configuração apropriada seguiu os passos apresentados na Tabela 19, adotando-se objetivos que combinam aspectos de saneamento ambiental e produtividade agrícola.

6.3.1 Definição das alternativas no cenário interno

As alternativas adotadas para a configuração da ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura foram elaboradas a partir da combinação de três componentes: tecnologia de tratamento terciário, manobra de gestão de nutrientes e um sistema de irrigação conforme apresentado na Figura 26. A integração desses componentes constitui uma solução operacional para viabilizar o reúso de água na agricultura.

Adotando-se essa lógica, as alternativas de configuração foram representadas nesta pesquisa pela combinação de três letras, criando-se um código específico para cada alternativa de configuração. As letras representam escolhas entre as possibilidades de combinação de duas tecnologias de tratamento terciário, duas de manobra de gestão de nutrientes e três de sistemas de irrigação nas propriedades do assentamento rural Maranatha.

Figura 26 - Componentes das alternativas de configuração na ETE Brazlândia modernizada



Fonte: Autor, janeiro de 2025

De maneira simplificada, a Tabela 20 apresenta as possibilidades de combinações que resultam em 12 (doze) alternativas de configuração, que são montadas através da união das letras referentes aos componentes escolhidos.

Tabela 19 - Componentes das alternativas de configuração da ETE Brazlândia para reúso de água na agricultura

1º componente da alternativa tecnologia de tratamento terciário	2ª componente da alternativa manobra de gestão de nutrientes	3ª componente da alternativa sistemas de irrigação
B - Biorreator com membrana (BRM) R - Remoção biológica de nutriente (RBN)	F - Fertirrigação (realização da manobra de desvio do FAD) I - Irrigação (não realização da manobra de desvio do FAD)	G - Gotejamento S - Subsuperficial M - Microaspersão

Ao compor a configuração associada ao fluxograma operacional da ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura, verifica-se que dois

componentes fazem parte da área interna da estação de tratamento, enquanto o terceiro componente refere-se ao sistema de irrigação adotado no cultivo agrícola dentro da propriedade rural beneficiada. A combinação desses componentes para irrigação na agricultura cria um cenário que combina aspectos de saneamento ambiental e produtividade agrícola, trazendo questões relacionadas à eficiência no tratamento da estação, custos, segurança sanitária, produtividade agrícola e manutenção de sistemas de irrigação para viabilizar a utilização das águas de reúso na agricultura.

O primeiro componente da alternativa de configuração na ETE Brazlândia para reúso de água na agricultura tem duas opções, o tratamento terciário RBN ou BRM (R ou B), apresentados pelas Figuras 27 e 28, respectivamente.

Diante dos recursos e infraestruturas operacionais a serem criados na ETE Brazlândia modernizada, o primeiro componente considerado na configuração da estação foi o componente referente às tecnologias de tratamento terciário que poderão ser adotadas entre as etapas UASB e FAD.

Figura 27 - Tratamento terciário com a tecnologia Remoção Biológica de Nutrientes (RBN)



Fonte: Reid Engineering (<https://reideng.com/>), acessado em 12 de dezembro de 2024

Nesse contexto, os efluentes tratados pela etapa terciária poderão seguir ou não para a etapa de polimento final, a depender da opção do operador da unidade. Porém, certamente serão encaminhados para a desinfecção ultravioleta.

Figura 28 - Tratamento terciário com a tecnologia Biorreator com Membranas (BRM)



Fonte: Digital Water (<https://www.digitalwater.com.br/>), acessado em 05 de novembro de 2024

Para compor o segundo componente das alternativas de configuração na ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura, foi considerada a realização ou não de uma ação operacional na estação.

Esse componente foi criado para representar a realização ou não de uma manobra operacional capaz de realizar a gestão do fósforo (P) na ETE Brazlândia modernizada. Trata-se de uma manobra que permite o desvio da etapa de polimento final (FAD), selecionando o enriquecimento de fósforo para o efluente tratado ou para o lodo produzido.

A inserção da manobra de desvio do FAD vislumbrou a criação de um recurso operacional que fosse capaz de reduzir ou manter a concentração de fósforo nos efluentes em tratamento, permitindo que sejam produzidas águas de reúso destinadas para a fertirrigação na agricultura.

Portanto, a segunda letra na nomenclatura da alternativa informa se a manobra de gestão de nutrientes foi realizada ou não. A manobra de gestão de nutrientes corresponde à decisão de realizar ou não o desvio da etapa de polimento final, correspondente ao FAD. Se a manobra de desvio for realizada, a alternativa terá a

segunda letra “F” de fertirrigação, pois o fósforo existente no efluente em tratamento não será removido pelo FAD.

Ao realizar a manobra de gestão de nutrientes (manobra de desvio), destacam-se as seguintes consequências para a estação de tratamento, água de reúso e lodos:

- Menor consumo de energia elétrica e produtos químicos ao evitar a etapa de polimento final (FAD)
- Maior quantidade do nutriente fósforo no efluente tratado
- Menor eficiência da desinfecção ultravioleta devido à maior turbidez dos efluentes
- Menor segurança aos trabalhadores do Sistema de Abastecimento de Água de Reúso (SAAR)

Menor quantidade de fósforo nos lodos transformados em adubos

Esta é a condição operacional dimensionada originalmente para o tratamento de esgotos na estação, ou seja, sem a realização de manobra de gestão de nutrientes, onde é previsto o polimento final dos efluentes, com flotação por ar dissolvido e remoção de fósforo juntamente com o lodo gerado.

Caso a manobra não seja realizada e o efluente seguir seu caminho padrão, ocorrerá remoção de fósforo e será utilizada a letra “I” que significa irrigação, pois ao passar pelo FAD, o fósforo do efluente é removido e transferido para o lodo.

A realização ou não dessa manobra impactará diretamente na quantidade de fósforo agregado no efluente final da ETE Brazlândia modernizada, bem como no lodo de esgotos gerados ao final do processo. Nos efluentes, a manutenção do fósforo pode viabilizar a fertirrigação na agricultura, enquanto o direcionado aos lodos vai permitir a produção de fertilizantes com maior concentração de fósforo, com potencial de distribuição para a agricultura familiar em Brazlândia.

A não realização da manobra foi associada como sendo uma configuração de Irrigação (I). Nessa condição operacional destacam-se as seguintes consequências:

- Maior consumo de energia elétrica e produtos químicos ao utilizar a etapa de polimento final (FAD)
- Menor quantidade do nutriente fósforo no efluente tratado
- Maior eficiência da desinfecção ultravioleta devido à menor turbidez dos efluentes
- Maior segurança aos trabalhadores do Sistema de Abastecimento de Água de Reúso (SAAR)
- Maior quantidade de fósforo nos lodos transformados em fertilizantes

O terceiro componente considerado na montagem da alternativa de configuração na ETE Brazlândia para reúso de água na agricultura refere-se aos sistemas de irrigação implantados na propriedade rural. Para tanto, foram considerados três sistemas que apresentam maior segurança sanitária aos trabalhadores rurais, são eles: gotejamento, subsuperficial e microaspersão, respectivamente representados pelas letras (G), (S) e (M).

O reúso de água para irrigação agrícola é uma prática que tem ganhado destaque em regiões com escassez hídrica ou alta demanda por recursos hídricos. Nesse contexto, o uso de efluentes tratados em nível terciário para irrigação surge como uma alternativa sustentável para a agricultura.

Andrade (2001) alega não existir um sistema de irrigação que seja capaz de atender todas as condições e interesses envolvidos numa produção agrícola. Nesse contexto, Brites (2009) elucida que ao selecionar um sistema de irrigação, deve-se buscar o sistema que seja mais adequado para certa condição e para atender os objetivos desejados, alertando também que o processo de seleção requer a análise detalhada das condições apresentadas, em função das exigências de cada sistema de irrigação, de forma a permitir a identificação das melhores alternativas.

Dentre os métodos de irrigação que se mostram mais adequados para essa prática, destacam-se os sistemas de irrigação por gotejamento, subsuperficial e microaspersão, amplamente utilizados tendo em vista sua eficiência e capacidade de direcionamento das vazões de irrigação. Sendo assim, esses três sistemas de

irrigação foram considerados adequados para compor as configurações das alternativas em análise.

A irrigação por Gotejamento, representada pela letra (G), é caracterizada pela eficiência no uso da água. O sistema de gotejamento tem como ponto positivo a capacidade de entregar água diretamente na zona radicular das plantas, minimizando as perdas por evaporação e escoamento superficial, comum em métodos de irrigação por aspersão. Esse controle preciso do volume de água aplicado é particularmente vantajoso quando se utiliza efluentes, pois evita o acúmulo excessivo de nutrientes e sais no solo, que podem ocorrer quando a aplicação é feita de maneira mais difusa. Outra vantagem relevante é o baixo risco de contaminação da produção agrícola quando comparado a sistemas de irrigação por aspersão.

No gotejamento, a água é aplicada diretamente no solo, sem contato com as partes aéreas das plantas, o que reduz a possibilidade de contaminação por patógenos remanescentes nos efluentes, ainda que tratados. Esse controle é essencial, especialmente em culturas sensíveis ou de consumo direto, como hortaliças e frutas.

Uma questão relevante em relação ao gotejamento é o risco de entupimentos, causado pela presença de sólidos suspensos ou precipitados de nutrientes, como cálcio e magnésio, nos efluentes, mesmo após o tratamento terciário. Esses sólidos podem se acumular nos emissores, comprometendo a eficiência do sistema e exigindo manutenção frequente.

Além disso, existe a preocupação com a salinização do solo. Embora o tratamento terciário remova grande parte dos contaminantes, o acúmulo de sais, presentes nos efluentes, pode ser um problema em regiões áridas, onde a lixiviação natural é limitada. O uso contínuo de efluentes pode aumentar a concentração de sais no solo, afetando a produtividade das culturas a longo prazo. Esse fator exige um monitoramento rigoroso e, em alguns casos, a implementação de práticas de manejo adicionais, como a aplicação de água de boa qualidade para a lavagem dos sais acumulados.

O uso de sistemas de irrigação por gotejamento com efluentes tratados em nível terciário oferece diversas vantagens, como a eficiência no uso da água e a economia de fertilizantes, ao mesmo tempo em que apresenta desafios técnicos,

como o risco de entupimento e salinização do solo. O sucesso dessa prática depende de um planejamento cuidadoso, com base nas características do solo, tipo de cultura e qualidade dos efluentes, além de políticas públicas que incentivem seu uso de forma segura e sustentável.

A segunda opção do segundo componente é a irrigação subsuperficial, representada pela letra (S), que consiste na aplicação de água abaixo da superfície do solo, tem se mostrado uma alternativa promissora para o uso de efluentes tratados em nível terciário na agricultura. Essa técnica apresenta uma série de vantagens em relação aos sistemas de irrigação convencionais, mas também possui algumas desvantagens que devem ser consideradas.

Em relação à questão da segurança sanitária, apresenta-se como sistema mais seguro, devido ao fato de as tubulações ficarem enterradas e afastadas do contato com trabalhadores. Esse benefício também traz o aspecto positivo do direcionamento da irrigação. Apesar dos fortes argumentos favoráveis relacionados com a segurança sanitária e eficiência do sistema, a irrigação subsuperficial apresenta problemas em relação à dificuldade para manutenção e elevado risco de entupimento por influência do solo em torno dos emissores enterrados.

Como terceira opção do segundo componente da alternativa, a microaspersão representada pela letra (M), trata-se de um sistema de irrigação que prevê a aplicação da água em pequenas gotículas sobre a superfície do solo. A tecnologia tem sido amplamente utilizada na agricultura, inclusive em situações com o reúso de efluentes tratados. É considerada uma tecnologia que apresenta boa precisão na aplicação da irrigação, sendo flexível e capaz de promover uma distribuição homogênea no cultivo, podendo ser aplicada em diversas culturas.

Uma questão problemática em relação à microaspersão reside na sua sensibilidade em relação à atuação dos ventos, que podem desviar o direcionamento planejado, e no caso do reúso, aumentar a chance de oferecer risco de doenças aos trabalhadores da agricultura. Outra questão problemática reside no fato de que os emissores da microaspersão são mais suscetíveis ao entupimento.

Determinados os três componentes, é possível verificar na Tabela 21 as 12 (doze) alternativas possíveis para a configuração da ETE Brazlândia modernizada com reúso de água na agricultura.

Tabela 20 - Alternativas de configuração da ETE Brazlândia modernizada com reúso de água na agricultura

Alternativas de configuração	Descrição da alternativa
RIS	RBN sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação subsuperficial
RIG	RBN sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação por gotejamento
RIM	RBN sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação por microaspersão
RFM	RBN com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação por microaspersão
RFG	RBN com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação por gotejamento
RFS	RBN com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação subsuperficial
BIS	BRM com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação subsuperficial
BIG	BRM sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação por gotejamento
BIM	BRM sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação por microaspersão
BFM	BRM com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação por microaspersão
BFG	BRM com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação por gotejamento
BFS	BRM com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação subsuperficial

Nesse contexto, esta pesquisa buscou conciliar aspectos internos da estação de tratamento com o reúso de água na agricultura, representando uma configuração de objetivos, onde o tomador de decisão deverá integrar suas análises considerando aspectos operacionais de tratamento, relacionando-os com questões de irrigação.

Dessa forma, será realizada a análise multicritério para escolha da configuração mais apropriada para tecnologia de tratamento terciário na ETE Brazlândia modernizada associada com a manobra de gestão de nutrientes e o sistema de irrigação na agricultura a ser adotado nas propriedades rurais do Maranatha.

6.3.2 Definição dos objetivos do tomador de decisão

O perfil do tomador de decisão CAESB no cenário interno foi definido como o de uma companhia de saneamento ambiental interessada em implantar soluções tecnológicas eficientes para viabilizar a distribuição das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia na irrigação de culturas agrícolas do assentamento rural Maranatha, levando produtividade através de sistemas de irrigação apropriados.

Para tanto, foram estabelecidos três objetivos principais para essa finalidade seriam a garantia de eficiência operacional no tratamento de esgotos, a produtividade agrícola e a adequação dos sistemas de irrigação.

Para tanto, foi adotado na análise multicritério o perfil denominado “CAESB eficiente operacional com reúso de água na agricultura.

6.3.3 Definição dos critérios de avaliação

Os critérios de avaliação foram definidos com a participação direta dos “analistas decisores” por meio de entrevistas presenciais e virtuais, buscando representar da melhor forma possível, as realidades operacionais de saneamento ambiental juntamente com o reúso de água na agricultura.

6.3.3.1 Critérios de avaliação de eficiência operacional para tecnologia de tratamento terciário

Com a finalidade de definir os critérios de avaliação a serem adotados para análise multicritério do cenário interno do tomador de decisão, foram analisadas duas tecnologias de tratamento terciário com características potenciais para atender os objetivos de na ETE Brazlândia modernizada com potencial para viabilizar o reúso de água na agricultura.

Para levantar os multiobjetivos e critérios relacionados com a eficiência operacional do tipo de tratamento terciário a ser adotado na ETE Brazlândia, foi realizada reunião presencial com o “analista decisor” da área de operação de esgotos da CAESB.

Na oportunidade, foram discutidos aspectos técnicos relacionados com a eficiência das estações de tratamento de esgotos da CAESB. Ao longo da entrevista,

o “analista decisor” forneceu elementos essenciais para a construção dos critérios de avaliação para seleção de tecnologia apropriada para o tratamento terciário da ETE Brazlândia modernizada. Como resultado dessa entrevista, a Tabela 22 apresenta os multiobjetivos considerados e os critérios de avaliação desenvolvidos.

Tabela 21 - Objetivos e critérios relacionados com a eficiência operacional da tecnologia de tratamento terciário na ETE Brazlândia modernizada (9 objetivos e 9 critérios)

Códigos	Objetivos	Critérios	Importância na eficiência operacional da ETE
EO1	Maximizar a capacidade de remoção de efluentes	Remoção de nutrientes	crescente
EO2	Minimizar problemas de manutenção na estação de tratamento	Quantidade de infraestruturas com necessidade de manutenção preventiva e corretiva	crescente
EO3	Minimizar a dependência de fornecedores	Quantidade de fornecedores necessários para viabilizar o funcionamento da tecnologia	crescente
EO4	Maximizar conhecimento acumulado de tecnologia de tratamento na empresa	Cultura de utilização da tecnologia	crescente
EO5	Maximizar automação da estação de tratamento	Mão-de-obra necessária para utilizar a tecnologia	crescente
EO6	Minimização de custos de implantação	custo de implantação	crescente
EO7	Minimização de custos de operação e manutenção	custo de operação e manutenção	crescente
EO8	Minimização da produção de biossólidos	Volume de biossólidos produzidos	crescente
EO9	Maximização da eficiência do tratamento	Eficiência global do tratamento	crescente

6.3.3.2 Critérios de avaliação de produtividade agrícola

Para o objetivo de produtividade na agricultura, conforme representado na Tabela 23, foi considerado apenas um único critério, diretamente relacionado com a quantidade do nutriente fósforo na água de reúso produzida pela ETE Brazlândia modernizada.

Foi considerado de maneira simplificada, que quanto maior for a quantidade de nutrientes disponibilizados nas águas de reúso produzidas, maior será a produtividade agrícola nas propriedades fertirrigadas do assentamento rural Maranatha.

Nesse sentido, o aumento da produtividade agrícola estaria relacionado com a realização ou não da manobra de gestão de nutrientes, que na prática considera o acionamento ou não da manobra de desvio do FAD, que após tratamento terciário, transfere a vazão do efluente em tratamento diretamente para a desinfecção ultravioleta.

Tabela 22 - Produtividade agrícola na análise multicritério

Códigos	Objetivo	Critério	Importância na produtividade agrícola
MN1	Produtividade na agricultura	Realização ou não da manobra de gestão de nutrientes que consiste no desvio da etapa de polimento final (FAD)	crecente

6.3.3.3 Critérios de avaliação para adequação de sistemas de irrigação

Segundo Brites (2009), os sistemas de irrigação voltados para a irrigação na agricultura devem abordar aspectos de eficiência, custos, segurança sanitária, manutenção e operação. Esses critérios são de extrema importância para a concepção de um sistema de irrigação apropriado para a distribuição das águas de reúso produzidos pela ETE Brazlândia modernizada.

Apesar desta análise multicritério ser associada ao cenário interno da CAESB, os critérios de avaliação referentes ao terceiro componente da alternativa remetem às infraestruturas instaladas em propriedades rurais do assentamento rural Maranatha, conforme apresentado na Tabela 24.

Dessa forma, os objetivos e critérios elencados do terceiro componente abordam questões cuja responsabilidade é do produtor rural contemplado pelo fornecimento de água de reúso.

Apesar desse componente parecer desconectar do cenário interno da CAESB, na realidade está intimamente relacionado com resultados internos, pois a combinação dos sistemas de irrigação com a eficiência operacional da ETE Brazlândia é o que viabiliza a solução de reúso de água na irrigação. A irrigação na agricultura com efluentes tratados é uma extensão do trabalho realizado internamente na estação

Tabela 23 - Objetivos e critérios relacionados para adequação de sistemas de irrigação

Códigos	Objetivos	Critérios	Importância no reúso de água na agricultura
RI1	Maximizar eficácia na irrigação	Eficiência do uso da água	crescente
RI2	Minimização de custos	Custos de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	crescente
RI3	Minimização de impactos à saúde pública	Exposição ao público	crescente
RI4	Minimização das dificuldades para instalação, manutenção e operação	Facilidades de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	crescente

6.3.4 Cálculo dos pesos para critérios de avaliação

Para atribuir pesos aos critérios de avaliação no cenário interno, foram convidados engenheiros civis da CAESB em atividade na carreira de analista de sistemas de saneamento ambiental apresentados na Tabela 25, todos com mais de 20 (vinte) anos de experiência em sistemas de esgotamento sanitário.

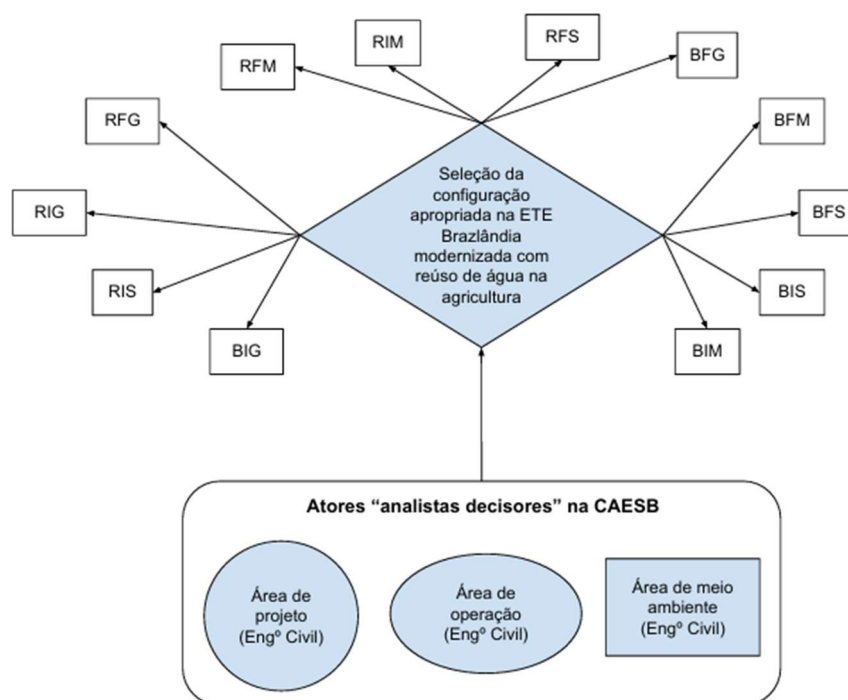
Tabela 24 - Atores “analistas decisores” na CAESB

“analistas decisores”	Cargo dos “analista decisores” CAESB
-----------------------	--------------------------------------

Operação	Analista de sistemas de saneamento (Eng.º civil)
Projeto	Analista de sistemas de saneamento (Eng.º civil)
Ambiental	Analista de sistemas de saneamento (Eng.º civil)

Esses profissionais foram referenciados nesta pesquisa como atores do tipo “analistas decisores” como exemplificado na Figura 29. Pois ao atuar nas áreas de projeto, operação e meio ambiente, participam diariamente em atividades para as quais possuem atribuições técnicas e de gestão administrativa nas tomadas de decisões dos sistemas de esgotamento sanitário.

Figura 29 - Formação do perfil do tomador de decisão CAESB “eficiente operacional com reúso de água na agricultura” através de contribuição dos “analistas decisores”



Ao comparar as importâncias entre os critérios de avaliação aos pares, esses profissionais viabilizaram a elaboração de uma matriz de comparação, que ao ser normalizada, permite o cálculo dos pesos dos critérios de avaliação, em alinhamento com o tomador de decisão CAESB “eficiente operacional com reúso de água na agricultura”.

Foram estabelecidos 14 (catorze) critérios de avaliação na análise multicritério para a seleção da configuração apropriada na ETE Brazlândia para reúso de água na agricultura, e ao combiná-los dois a dois como proposto por Saaty (1980), obteve-se 91 (noventa e uma) comparações entre as importâncias dos critérios de avaliação, que foram registradas em tabelas apresentadas no Apêndice.

Com os dados disponíveis foi possível montar três matrizes de comparação, que após normalização, obteve-se os pesos relativos de cada um dos critérios de avaliação considerados. Os pesos finais adotados para os critérios foram calculados a partir das médias dos pesos obtidos para cada um dos “analistas decisores” da CAESB entrevistados.

6.3.5 Fornecimento de atributos aos critérios de avaliação

Para coletar os atributos referentes aos critérios de avaliação das alternativas de configuração, esta pesquisa realizou entrevistas presenciais e virtuais com os mesmos “analistas decisores” da CAESB responsáveis pela calibração dos pesos dos critérios.

Dessa forma, buscou-se calcular os pesos de cada critério de avaliação, a fim de que reflitam as prioridades do tomador de decisão, necessariamente comprometidas com a eficiência operacional, com a produtividade agrícola e finalmente com a adequação dos sistemas de irrigação implantados nas propriedades para distribuir as águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia.

Com o levantamento dos pesos de cada critério, foi possível elaborar um ordenamento dos critérios por importância. Esse ranqueamento dos critérios ajudou a construir o perfil do tomador de decisão no cenário interno, uma vez que as prioridades do tomador de decisão CAESB passaram a ser conhecidas.

Para fornecer os atributos dos critérios de avaliação para cada uma das alternativas, foi disponibilizada uma planilha aos “analistas decisores”, que forneceram atributos de 1 a 5 para a importância dos critérios de avaliação de cada uma das 12 (doze) alternativas consideradas, de acordo com a Tabela 26.

Vale ressaltar que os valores dos desempenhos atribuídos aos critérios de avaliação foram obtidos apenas através das impressões e experiências dos entrevistados em relação à destinação das águas de reúso da ETE Brazlândia modernizada para irrigação na agricultura.

Tabela 25 - Valores dos atributos para avaliação dos critérios das alternativas

Atributos dos critérios de avaliação	Importância do critério
5	muito alta
4	alta
3	média
2	baixa
1	muito baixa

Para cada um dos critérios associados com as alternativas de configuração, foram atribuídos valores de 1 a 5. Com as respostas obtidas, foi calculada a média dos valores atribuídos para cada um dos critérios.

6.3.6 Cálculo das pontuações e escolha da alternativa apropriada

Após coleta dos atributos e cálculo das médias entre os atores entrevistados, os valores obtidos foram multiplicados pelos pesos respectivos de cada critério de avaliação, que posteriormente somadas, fornecerem as pontuações das alternativas consideradas.

Concluídas as pontuações de cada alternativa, foi possível verificar a alternativa com maior pontuação, que de acordo com o método da ponderação aditivo-hierárquica foi selecionada como configuração apropriada na ETE Brazlândia modernizada com reúso de água na agricultura para propriedades do assentamento rural Maranatha. Os cálculos realizados serão apresentados no capítulo 6.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussões do presente trabalho foram organizados de acordo com a sequência dos objetivos específicos, respeitando a ordem em que estes foram apresentados e desenvolvidos nesta pesquisa. Cada um destes objetivos específicos apresentam uma subseção com resultados e outra com discussões, respectivamente.

Essencialmente, este capítulo apresenta os resultados obtidos após a aplicação de análise multicritério pelo método da ponderação aditivo-hierárquica para a seleção de alternativas apropriadas para o reúso de água após a modernização da ETE Brazlândia.

7.1 RESULTADOS NO CENÁRIO EXTERNO DO TOMADOR DE DECISÃO

No cenário externo do tomador de decisão CAESB, onde aspectos da PNRH são relevantes para a definição de decisões relacionadas com a gestão dos recursos hídricos, foi estabelecido que seu perfil de atuação seria a de um membro do CBH Paranaíba-DF.

Sendo assim, para selecionar uma alternativa apropriada para a destinação das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada, “analistas” membros do CBH Paranaíba-DF forneceram dados para construção dos pesos dos critérios de avaliação no método da ponderação aditivo-hierárquica (PAH).

Com esses dados disponíveis, foi possível elaborar as matrizes de comparação dos “analistas”. Em seguida, foi realizada a normalização dessas matrizes e obtenção dos pesos dos critérios de avaliação. Após cálculo dos pesos médios dos critérios de avaliação, obteve-se o valor a ser utilizado na fórmula no método da ponderação aditivo-hierárquica.

Nas Tabelas 27 e 28 observa-se, respectivamente, a matriz de comparação e sua respectiva normalização com peso dos critérios referentes a um dos “analistas” entrevistados. As tabelas e dados completos das matrizes de comparação encontram-se no Apêndice.

Os pesos de critérios de avaliação de todos os “analistas” estão relacionados na Tabela 29, trazendo valores calculados pelos representantes da UnB, ADASA e CAESB.

Tabela 26 - Matriz de comparação de critérios de avaliação montada

	PP1	PP2	PE3	PE4	PS5	PS6	PT7	PT8	PA9	PA10	PL11	PL12
PP1	1	1	3	0,33	0,33	0,33	0,2	3	0,14	0,33	1	0,33
PP2	1	1	3	0,33	1	0,33	0,33	1	0,14	0,33	0,33	3
PE3	0,33	0,33	1	0,33	3	5	0,33	5	0,33	0,33	1	3
PE4	3	3	3	1	3	3	3	3	0,33	3	3	3
PS5	3	1	0,33	0,33	1	0,33	0,33	1	0,11	0,33	1	0,33
PS6	3	3	0,2	0,33	3	1	0,33	3	0,14	0,33	0,33	0,33
PT7	5	3	3	0,33	3	3	1	3	0,2	3	0,33	3
PT8	0,33	1	0,2	0,33	1	0,33	0,33	1	0,33	0,33	0,33	0,33
PA9	7	7	3	3	9	7	5	3	1	5	3	5
PA10	3	3	3	0,33	3	3	0,33	3	0,2	1	0,33	3
PL11	1	3	1	0,33	1	3	3	3	0,33	3	1	3
PL12	3	0,33	0,33	0,33	3	3	0,33	3	0,2	0,33	0,33	1

Tabela 27 - Matriz de comparação normalizada de um dos “analistas” com pesos dos critérios calculados

	PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO												
PP1	0,03	0,04	0,14	0,05	0,01	0,01	0,01	0,09	0,04	0,02	0,08	0,01	0,045
PP2	0,03	0,04	0,14	0,05	0,03	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,12	0,047
PE3	0,01	0,01	0,05	0,05	0,10	0,17	0,02	0,16	0,10	0,02	0,08	0,12	0,073
PE4	0,10	0,11	0,14	0,14	0,10	0,10	0,21	0,09	0,10	0,17	0,25	0,12	0,136
PS5	0,10	0,04	0,02	0,05	0,03	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,08	0,01	0,037
PS6	0,10	0,11	0,01	0,05	0,10	0,03	0,02	0,09	0,04	0,02	0,03	0,01	0,051
PT7	0,16	0,11	0,14	0,05	0,10	0,10	0,07	0,09	0,06	0,17	0,03	0,12	0,100
PT8	0,01	0,04	0,01	0,05	0,03	0,01	0,02	0,03	0,10	0,02	0,03	0,01	0,030
PA9	0,23	0,26	0,14	0,41	0,29	0,24	0,34	0,09	0,29	0,29	0,25	0,20	0,253
PA10	0,10	0,11	0,14	0,05	0,10	0,10	0,02	0,09	0,06	0,06	0,03	0,12	0,081
PL11	0,03	0,11	0,05	0,05	0,03	0,10	0,21	0,09	0,10	0,17	0,08	0,12	0,095
PL12	0,10	0,01	0,02	0,05	0,10	0,10	0,02	0,09	0,06	0,02	0,03	0,04	0,052

Tabela 28 - Pesos dos critérios de avaliação obtidos pelos “analistas” membros do CBH Paranaíba-DF

Crítérios	UnB	ADASA	CAESB	Média dos pesos dos critérios
PP1	0,111	0,032	0,045	0,063
PP2	0,110	0,045	0,047	0,067
PE3	0,111	0,056	0,073	0,080
PE4	0,082	0,070	0,136	0,096
PS5	0,033	0,160	0,037	0,077
PS6	0,085	0,031	0,051	0,056
PT7	0,070	0,110	0,100	0,093
PT8	0,111	0,011	0,030	0,051
PA9	0,044	0,175	0,253	0,157
PA10	0,063	0,185	0,081	0,109
PL11	0,101	0,118	0,095	0,105

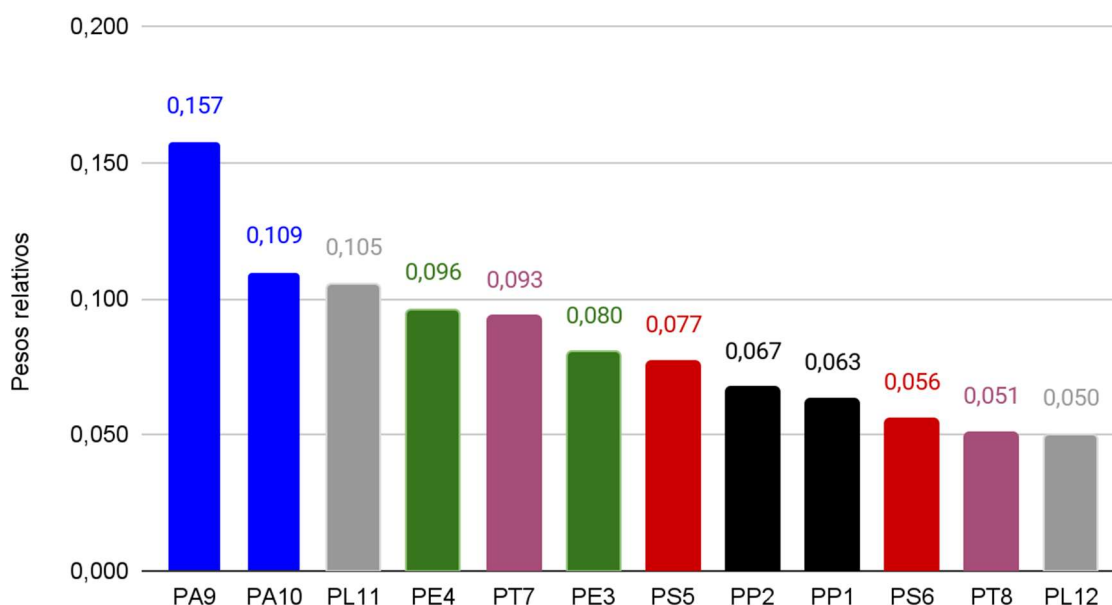
Tabela 29 - Pesos dos critérios de avaliação no cenário externo ordenados por relevância

Ranking critérios	Código critérios	Objetivos PESTEL	Descrição dos critérios	Pontos
1º	PA9	Ambiental	Riscos à saúde e contaminações ambientais	0,157
2º	PA10	Ambiental	Segurança hídrica do Distrito Federal	0,109
3º	PL11	Legislação	Regulamentação existente de reúso de água	0,105
4º	PE4	Economia	Custos de operação e manutenção	0,096
5º	PT7	Tecnologia	Desempenho das tecnologias de tratamento	0,093
6º	PE3	Economia	Sistema de tratamento de esgotos da ETE Brazlândia	0,080
7º	PS5	Sociedade	Rejeição e repulsa causada pela água de reúso	0,077
8º	PP2	Política	Nível de credibilidade do governo perante a comunidade	0,067
9º	PP1	Política	Incentivo a políticas públicas	0,063
10º	PS6	Sociedade	Educação, consciência e interesse da comunidade rural de Brazlândia-DF em fazer reúso de água	0,056
11º	PT8	Tecnologia	Uso das tecnologias de tratamento como fator de marketing	0,051
12º	PL12	Legislação	Planejamento e regularização do território	0,050

Ao observar a Tabela 30, os pesos dos critérios de avaliação ambientais destacaram-se pela elevada importância, especialmente por abordarem os temas de saúde pública e segurança hídrica.

Ao verificar a Figura 30, percebe-se que após os critérios ambientais, surgem alternadamente critérios econômicos, legais e tecnológicos, e posteriormente com menor relevância, critérios políticos e sociais se apresentam, até chegar aos menos relevantes que foram os de marketing da tecnologia de tratamento e planejamento e regularização do território. As cores dos critérios por tipo de objetivos/fatores PESTEL ajudam a perceber sua relevância no gráfico apresentado.

Figura 30 - Pesos dos critérios de avaliação para seleção da destinação apropriada das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada



Ao reunir os resultados dos pesos dos critérios de avaliação agrupados por fatores/objetivos PESTEL, como apresentado na Figura 31, verifica-se a relevância dos objetivos considerados pelo tomador de decisão.

Figura 31 - Pesos médios dos objetivos/fatores PESTEL adotados no cenário externo do tomador de decisão

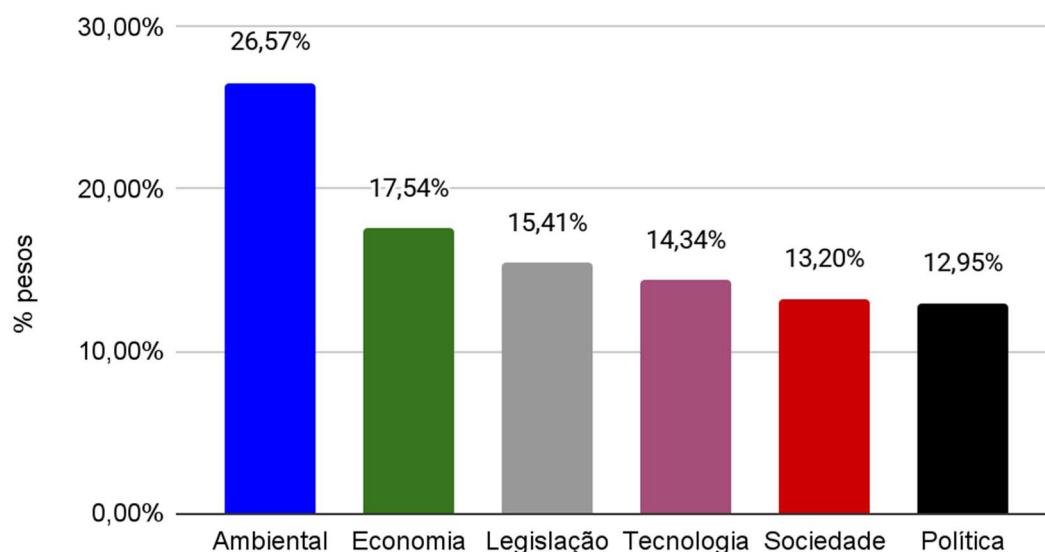


Tabela 30 - Peso médio total dos objetivos PESTEL. A segunda letra “E” da sigla PESTEL representa a palavra Environmental, que foi traduzida na tabela para Ambiental

Objetivos	Percentual de prioridade	Posicionamento dos critérios de avaliação por objetivo
Ambiental (A)	26,57%	1º e 2º - Risco para a saúde e segurança hídrica são, respectivamente, os principais problema e benefício associados ao reúso de água na prioridade do tomador de decisão
Economia (E)	17,54%	5º e 6º - Após consideração do principal benefício e risco, o tomador de decisão considera relevante a análise econômica de implantação e operação ao optar por uma destinação dos efluentes tratados.
Legislação (L)	15,41%	3º e 8º - Questões legais de regulamentação ocupam uma posição relevante para o tomador de decisão, especialmente em relação à regulamentação, fator que pode inviabilizar uma destinação pretendida para o efluente tratado.

Tecnologia (T)	14,34%	4º e 12º - O peso maior reside na efetividade da tecnologia de tratamento em relação ao funcionamento da estação. O marketing associado à tecnologia apresentou a menor importância para o tomador de decisão.
Sociedade (S)	13,20%	7º e 11º - Em relação à repulsa e falta de consciência por parte dos usuários em relação ao reúso de água, foram consideradas com baixa prioridade para o tomador de decisão nas duas alternativas analisadas.
Política (P)	12,95%	9º e 10º - O tomador de decisão considerou as duas questões políticas pouco relevantes na viabilidade das alternativas de destinação estudadas.

Após considerações sobre os pesos dos critérios de avaliação, foi realizada pesquisa virtual com atores “especialistas” das áreas de recursos hídricos, saneamento e meio ambiente. No questionário enviado, os “especialistas” forneceram atributos associados com o grau de viabilidade de reúso para os 12 (doze) critérios de avaliação adotados para as duas alternativas de destinação das águas de reúso produzidas pela ETE Brazilândia modernizada. Na Tabela 32 constam os valores utilizados para qualificar os critérios de avaliação.

Tabela 31 - Valores dos atributos para viabilidade dos critérios de avaliação utilizados pelos “especialistas” para analisar alternativa

Viabilidade	Valor do atributo
Excelente	5
Boa	4
Regular	3
Ruim	2
Péssima	1
Não sei	0

O público-alvo do questionário sobre destinações para as águas de reúso, qualificado nesta pesquisa como “especialistas”, é composto por graduados e profissionais das áreas de recursos hídricos, meio ambiente e saneamento. Para nivelar informações sobre o empreendimento e subsidiar o preenchimento do questionário, foi encaminhada juntamente com o questionário, uma apresentação de *slides* contendo informações básicas sobre o esgotamento sanitário de Brazlândia e a modernização da ETE Brazlândia, especialmente sobre as novas características do efluente tratado, que poderá ser utilizado como água de reúso.

O questionário realizado junto aos “especialistas” encontra-se no Apêndice, e é composto por doze questões, onde cada uma delas contempla um dos critérios de avaliação adotados. Na Tabela 32 são apresentadas as médias dos atributos fornecidos pelos entrevistados no questionário, que foram utilizados nos cálculos da metodologia da ponderação aditivo-hierárquica.

Tabela 32 - Médias dos atributos obtidos via questionário aplicado aos “especialistas” em recursos hídricos, saneamento e meio ambiente

Destinações das águas de reúso	Questões do questionário associadas aos critérios de avaliação											
	PP1	PP2	PE3	PE4	PS5	PS6	PT7	PT8	PA9	PA10	PL11	PL12
Médias dos atributos para reúso indireto potável no rio	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
Descoberto												
Médias dos atributos para reúso direto restrito na agricultura	5	4	5	4	4	5	5	5	4	5	4	4
	Política		Economia		Sociedade		Tecnologia		Ambiental		Legal	

Após obtenção dos pesos dos critérios e atributos dos “especialistas”, foram realizadas as multiplicações e somatórias em conformidade com a metodologia da ponderação aditiva simples. Dessa forma, a Tabela 32 apresenta os dados que serão multiplicados aos pesos dos critérios e posteriormente somados para obtenção das pontuações das duas alternativas de destinação de reúso de água consideradas

Figura 32 - Fórmula adotada para cálculo de pontuação pelo método da ponderação aditivo-hierárquica (PAH)

$$V(a) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i(a)$$

Onde:

- $V(a)$ = valor global da alternativa a ;
- w_i = peso associado ao critério i , tal que $\sum w_i = 1$;
- $v_i(a)$ = valor normalizado da alternativa a com respeito ao critério i ;
- n = número total de critérios.

Fonte: Autor, março/2025

Tabela 33 - Cálculo da pontuação das alternativas pelo método da ponderação aditivo-hierárquica (PAH)

Critérios	Pesos dos Critérios (PC)	Média dos atributos A1	PC*A1	Média dos atributos A2	PC*A2
PP1	0,063	4	0,252	5	0,315
PP2	0,067	3	0,201	4	0,268
PE3	0,080	4	0,32	5	0,4
PE4	0,096	4	0,384	4	0,384
PS5	0,077	3	0,231	4	0,308
PS6	0,056	4	0,224	5	0,28
PT7	0,093	4	0,372	5	0,465
PT8	0,051	4	0,204	5	0,255
PA9	0,157	4	0,628	4	0,628
PA10	0,109	4	0,436	5	0,545
PL11	0,105	4	0,42	4	0,42
PL12	0,050	4	0,2	4	0,2
Pontuação final das alternativas Somatória de atributos ponderados pelos pesos dos critérios de avaliação			3,872		4,468

Alternativa 1 (A1): Destinação ao reúso de água indireto potável no rio Descoberto

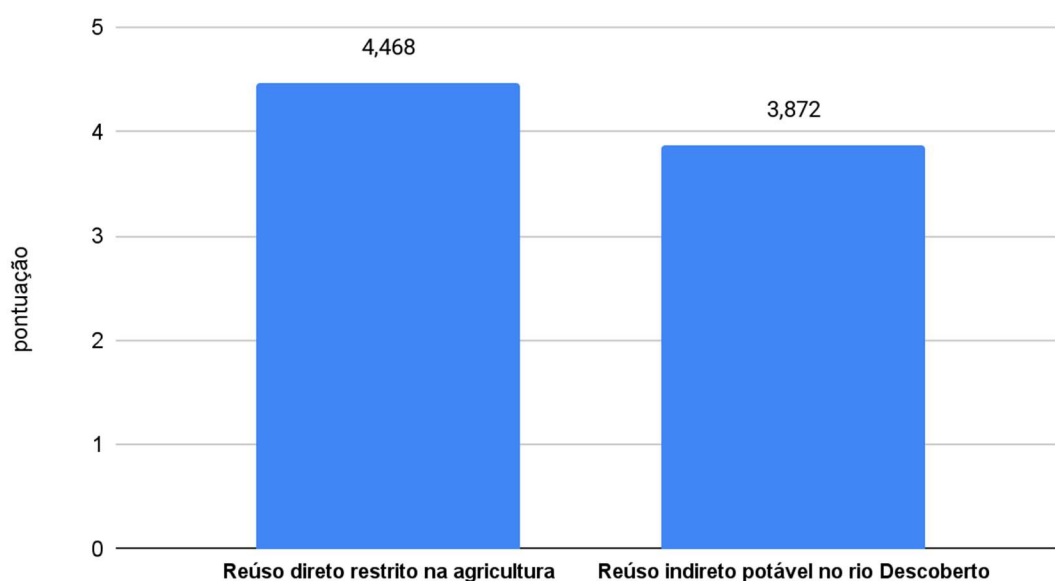
Alternativa 2 (A2): Destinação ao reúso de água restrito direto na agricultura em propriedades do assentamento rural Maranhá

Conforme estipulado pelo primeiro objetivo específico desta pesquisa, a Tabela 34 traz o ranqueamento das alternativas de destinação para as águas de reúso da ETE Brazilândia modernizada com suas respectivas pontuações, na qual observa-se que alternativa para o reúso direto restrito na agricultura foi selecionada como destinação apropriada.

Tabela 34 - Pontuações das alternativas de destinação de reúso de água analisadas em Brazlândia

Decisão apropriada	Alternativas de destinação para reúso de água	Pontuação total
1 ^a	Reúso restrito direto na agricultura em propriedades do assentamento rural Maranatha	4,468
2 ^a	Reúso indireto potável no rio Descoberto	3,872

Figura 33 - Pontuação final das alternativas para destinação apropriada das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada na bacia hidrográfica do rio Descoberto



A Figura 33 apresenta o resultado encontrado após aplicação da metodologia de análise multicritério, onde o reúso de água na agricultura mostrou-se apropriada diante dos desafios políticos, econômicos, sociais, tecnológico, ambiental e legal da bacia hidrográfica do rio Descoberto no âmbito da PNRH.

7.1.2 Discussão sobre a destinação apropriada para a água de reúso produzida pela ETE Brazlândia modernizada na bacia hidrográfica do rio Descoberto

Após verificar os resultados obtidos, a análise multicritério demonstrou que a alternativa reúso de água direto restrito na agricultura em propriedades do assentamento rural Maranatha foi selecionada como destinação apropriada para as águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada, totalizando uma 4,468 pontos, superando a alternativa reúso indireto potável no rio Descoberto que obteve 3,872 pontos.

Além de fornecer maior disponibilidade hídrica para a irrigação, o reúso de água na agricultura traz a perspectiva de redução nos custos de energia elétrica para bombeamento na elevatória de esgotos tratados de Brazlândia, e para o funcionamento dos poços profundos de irrigação nas propriedades, contribuindo para a recarga de aquíferos subterrâneos que ajudam a complementar o maior manancial de abastecimento humano do Distrito Federal, responsável por 55% da produção de água potável da CAESB.

Os pesos relativos dos critérios de avaliação foram agrupados por objetivos PESTEL, sendo possível verificar os pesos totais de cada um dos objetivos PESTEL da seguinte forma: Ambiental (26,57%), Economia (17,54%), Legislação (15,41%), Tecnologia (14,34%), Sociedade (13,20%) e Política (12,95%), refletindo as prioridades do tomador de decisão, que foram construídas a partir das comparações entre critérios realizadas via questionário preenchido pelos três membros do CBH Paranaíba-DF entrevistados.

Destaca-se a centralidade dos aspectos ambientais, que ocuparam o maior peso (26,57%), refletindo a preocupação com a segurança hídrica e os riscos à saúde pública, e prioridades compatíveis com os princípios da PNRH. Apesar de a dimensão legal representar apenas 15,41% do peso total, seu posicionamento como 3º e 8º critérios mais relevantes evidencia que a regulamentação é uma variável crítica para viabilizar o reúso, como preconiza o princípio da descentralização com participação do poder público e dos usuários. Já a baixa valorização das esferas política e social sugere desafios à efetiva implementação do reúso, sobretudo no que tange à

aceitação pública e apoio institucional, pontos que devem ser superados para garantir a sustentabilidade do recurso.

Esse panorama reforça a necessidade de integração entre as esferas técnicas, legais e sociais para consolidar práticas alinhadas à gestão eficiente da água, conforme orienta a Lei nº 9.433/1997.

Verificou-se que o critério de avaliação da saúde dos usuários e trabalhadores rurais (PA9) ficou posicionada em primeiro lugar com o peso relativo de 0,157, seguida pela oportunidade ambiental de incrementar a segurança hídrica (PA10) na bacia hidrográfica do rio Descoberto que obteve peso relativo de 0,109.

Após essas considerações iniciais, foi pontuada em terceiro lugar com peso relativo de 0,105 a necessidade de regulamentação para o reúso de água (PL11), com normas e orientações sobre parâmetros de variáveis de qualidade da água, bem como procedimentos para a produção e destinação das águas de reúso. Em quarto lugar e com peso relativo de 0,096 na sequência decrescente das prioridades, o tomador de decisão considerou os custos de operação e manutenção (PE4) necessários para implantá-las.

Posteriormente, em quinto lugar, foi considerado o critério de avaliação do desempenho da tecnologia de tratamento adotada (PT7) para a produção da água de reúso, com peso relativo de 0,093. Na sequência, o critério de avaliação investimentos necessários (PE3) para implementação da solução ficou em sexto lugar com o peso relativo de 0,080.

Ainda na diminuição da importância dos critérios de avaliação, em sétimo lugar e com peso relativo de 0,077, o critério de avaliação de repulsa e rejeição das águas de reúso (PS5) foi posicionado.

Posteriormente, em oitavo lugar e peso relativo 0,067 foi considerado o critério de credibilidade do governo perante a comunidade (PP2). Em nono lugar e peso relativo de 0,063 foi posicionado o critério de incentivo às políticas públicas (PP1).

Ao considerar o critério de educação, consciência e interesse da comunidade (PS6), verificou-se que ficou posicionado em décimo lugar com peso de 0,056. Nesse critério, buscou-se avaliar a importância da estratégia de educação ambiental a ser empregada em cada alternativa. Ao analisar os dados fornecidos pela CAESB e coletadas junto aos produtores rurais do assentamento Maranatha, verificou-se que a

destinação ao reúso direto restrito na agricultura vai requerer ações continuadas de educação ambiental, apesar do interesse demonstrado pelos produtores rurais.

Em décimo primeiro lugar e peso relativo de 0,051, o critério de avaliação (PT8) foi considerado a viabilidade de utilização da tecnologia de tratamento como elemento de marketing para a alternativa de destinação analisada teria.

Em décimo segundo lugar e peso relativo de 0,050, o critério de avaliação (PL12) foi considerado a contribuição que cada alternativa de destinação teria a contribuir com o planejamento territorial da área rural de Brazlândia, especialmente em relação à destinação das águas de reúso, principalmente no que se refere à função ambiental da sua destinação.

Ao considerar os valores atribuídos a cada critério de avaliação, observa-se que a alternativa agrícola obteve notas superiores em dez dos doze critérios analisados, refletindo maior aderência às exigências de viabilidade técnica, econômica, ambiental e social. Os critérios mais relevantes na ponderação, como “Riscos à saúde e contaminações ambientais” (PA9) e “Segurança hídrica do Distrito Federal” (PA10), receberam notas 4 em ambas as alternativas, indicando percepção similar quanto à sua importância. No entanto, em aspectos como “Desempenho das tecnologias de tratamento” (PT7), “Sistema de tratamento de esgotos da ETE Brazlândia” (PE3) e “Educação e interesse da comunidade rural” (PS6), a destinação para a agricultura apresentou desempenho superior. Essa tendência indica maior aceitação social, facilidade de implementação e menor resistência legal e institucional, principalmente em contextos rurais. Além disso, o reúso direto restrito está mais alinhado às tecnologias disponíveis e ao atual nível de regulamentação, tornando-se, portanto, a alternativa mais promissora para aplicação prática no curto e médio prazo.

7.2 RESULTADOS NO CENÁRIO INTERNO DO TOMADOR DE DECISÃO

Para selecionar a alternativa de configuração apropriada na ETE Brazlândia modernizada para o reúso de água na agricultura, também foi realizada análise multicritério pelo método da ponderação aditivo-hierárquico, desta vez no cenário interno do tomador de decisão CAESB, que enquanto companhia de saneamento ambiental, busca se tornar “eficiente operacional com reúso de água na agricultura”.

7.2.1 Resultados da análise multicritério para seleção de configuração apropriada na ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura

Para selecionar uma alternativa apropriada para a configuração da ETE Brazlândia modernizada, os “analistas decisores” da CAESB participaram da construção dos pesos dos critérios de avaliação. Para tanto, compararam os critérios de avaliação dois a dois, atribuindo valores de importância de acordo com a tabela de Saaty(1980). Os atributos fornecidos pelos “analistas decisores” para calibração dos critérios de avaliação encontram-se no Apêndice.

Com esses dados disponíveis, foi possível elaborar as matrizes de comparação dos “analistas decisores”. Em seguida, foi realizada a normalização dessas matrizes e obtenção dos pesos dos critérios de avaliação. Após cálculo dos pesos médios dos critérios de avaliação, obteve-se o valor a ser utilizado na fórmula no método da ponderação aditivo-hierárquica.

Nas Tabelas 35 e 36 observa-se, respectivamente, a matriz de comparação e sua respectiva normalização com pesos dos critérios referentes a um dos “analistas decisores” entrevistados.

Tabela 35 - Matriz de comparação de critérios de avaliação montada com dados de importância fornecidos por um dos “analistas decisores” entrevistados

	EO1	EO2	EO3	EO4	EO5	EO6	EO7	EO8	EO9	MN1	RI1	RI2	RI3	RI4
EO1	1	0,2	5	3	0,20	5	0,14	5	0,2	0,33	5	0,2	0,2	0,2
EO2	5	1	0,33	3	0,20	0,2	0,2	3	0,2	5	0,14	0,2	0,14	0,33
EO3	0,2	3	1	5	0,33	7	3	7	0,2	3	0,14	5	0,2	5
EO4	0,33	0,33	0,2	1	0,33	5	0,14	5	0,2	3	0,2	5	5	5
EO5	5	5	3	3	1,00	5	0,2	5	0,14	3	0,2	5	0,33	5
EO6	0,2	5	0,14	0,2	0,20	1	0,14	5	0,2	5	0,14	5	3	3
EO7	7	5	0,33	7	5,00	7	1	7	5	5	5	7	3	5
EO8	0,2	0,33	0,14	0,2	0,20	0,2	0,14	1	0,2	0,33	0,33	3	0,2	3
EO9	5	5	5	5	7,00	5	0,2	5	1	5	5	5	0,33	5
MN1	3	0,2	0,33	0,3	0,33	0,2	0,2	3	0,2	1	0,33	0,2	0,33	0,2
RI1	0,2	7	7	5	5,00	7	0,2	3	0,2	3	1	3	0,33	5
RI2	5	5	0,2	0,2	0,20	0,2	0,14	0,2	3	5	0,33	1	0,33	1
RI3	5	7	5	0,2	3,00	0,33	0,33	5	3	3	3	3	1	3
RI4	5	3	0,2	0,2	0,20	0,33	0,33	0,2	0,33	5	0,2	1	0,33	1

Tabela 36 - Matriz de comparação normalizada de um dos “analistas decisores” com pesos dos critérios calculados

Pesos dos critérios

EO1	0,02	0,00	0,18	0,09	0,01	0,12	0,02	0,09	0,02	0,01	0,24	0,00	0,01	0,01	0,059
EO2	0,12	0,02	0,01	0,09	0,01	0,00	0,03	0,05	0,02	0,11	0,01	0,00	0,01	0,01	0,035
EO3	0,00	0,06	0,04	0,15	0,01	0,16	0,48	0,13	0,02	0,06	0,01	0,12	0,01	0,13	0,099
EO4	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,12	0,02	0,09	0,02	0,06	0,01	0,12	0,34	0,13	0,070
EO5	0,12	0,11	0,11	0,09	0,04	0,12	0,03	0,09	0,01	0,06	0,01	0,12	0,02	0,13	0,076
EO6	0,00	0,11	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,09	0,02	0,11	0,01	0,12	0,20	0,08	0,057
EO7	0,17	0,11	0,01	0,21	0,22	0,16	0,16	0,13	0,45	0,11	0,24	0,17	0,20	0,13	0,175
EO8	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,07	0,01	0,08	0,020
EO9	0,12	0,11	0,18	0,15	0,30	0,12	0,03	0,09	0,09	0,11	0,24	0,12	0,02	0,13	0,129
MN1	0,07	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,021
RI1	0,00	0,15	0,25	0,15	0,22	0,16	0,03	0,05	0,02	0,06	0,05	0,07	0,02	0,13	0,098
RI2	0,12	0,11	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,27	0,11	0,02	0,02	0,02	0,03	0,053
RI3	0,12	0,15	0,18	0,01	0,13	0,01	0,05	0,09	0,27	0,06	0,14	0,07	0,07	0,08	0,102
RI4	0,12	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,00	0,03	0,11	0,01	0,02	0,02	0,03	0,035

Os pesos de critérios de avaliação de todos “analistas decisores” da CAESB estão relacionados na Tabela 37, trazendo valores calculados pelos representantes das áreas de projeto, operação e meio ambiente.

Tabela 37 - Pesos dos critérios de avaliação obtidos pelos “analistas decisores” da CAESB

critérios	ambiental	projeto	operação	Médias dos pesos dos critérios analistas decisores
EO1	0,059	0,131	0,189	0,126
EO2	0,035	0,047	0,076	0,053
EO3	0,099	0,103	0,074	0,092
EO4	0,070	0,052	0,072	0,064
EO5	0,076	0,043	0,054	0,058
EO6	0,057	0,032	0,032	0,040
EO7	0,175	0,070	0,039	0,095
EO8	0,020	0,059	0,046	0,042
EO9	0,129	0,172	0,218	0,173
MN1	0,021	0,025	0,010	0,019
RI1	0,098	0,077	0,023	0,066
RI2	0,053	0,026	0,012	0,030
RI3	0,102	0,163	0,142	0,135
RI4	0,035	0,025	0,018	0,026

Com o cálculo dos pesos dos critérios de avaliação, foi possível construir o gráfico apresentado na Figura 34, bem como o gráfico dos objetivos correspondentes aos critérios de avaliação conforme mostrado na Figura 35. As cores ajudam na visualização da importância dos critérios, e os valores dos pesos dos critérios de avaliação serão utilizados na ponderação aditivo-hierárquica.

Figura 34 - Pesos médios dos critérios de avaliação para seleção da configuração apropriada na ETE Brazilândia modernizada para reúso de água na agricultura

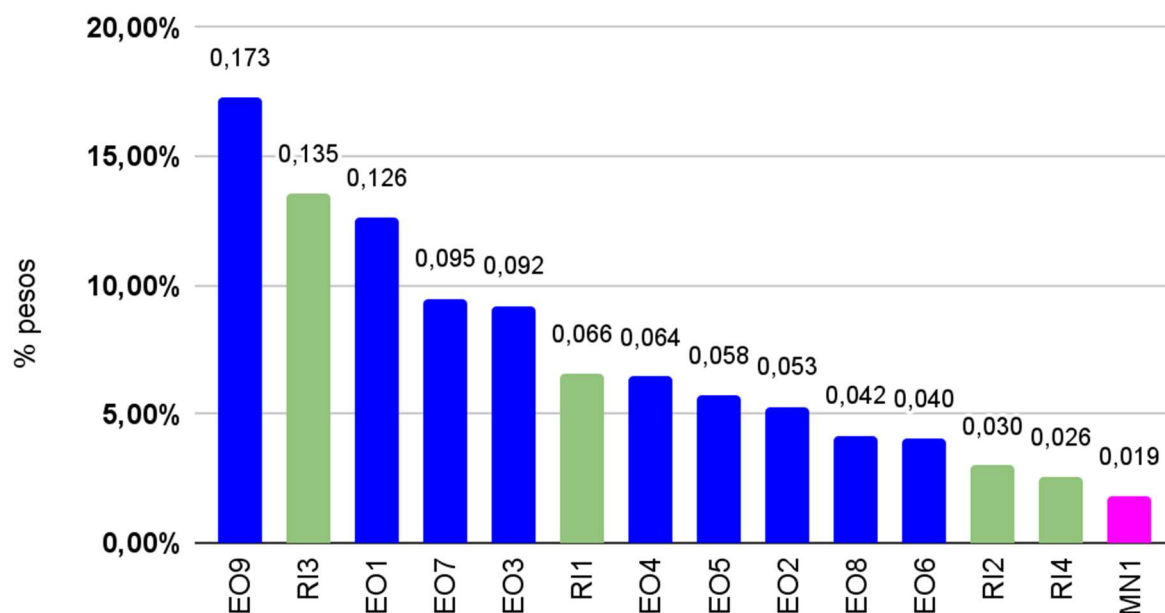
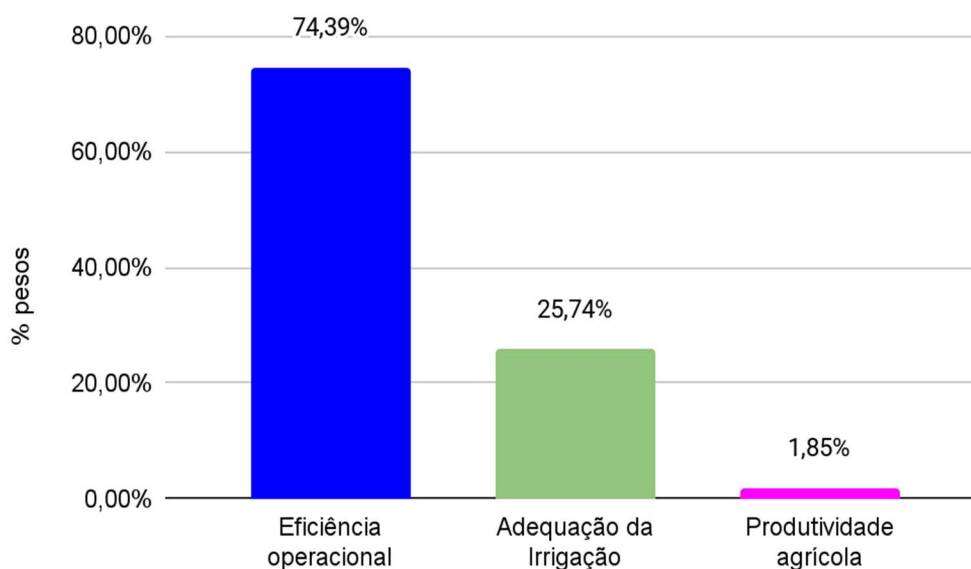


Figura 35 - Pesos dos critérios agrupados por objetivos do tomador de decisão no cenário interno do tomador de decisão



De acordo com os dados da Tabela 38, os pesos dos critérios de avaliação que apontam para a importância da eficiência operacional, seguida pela questão da segurança sanitária da população e dos trabalhadores envolvidos na operação dos sistemas de irrigação implantados nas propriedades rurais beneficiadas para viabilizar a irrigação e fertirrigação nos cultivos agrícolas.

Tabela 38 - Pesos médios dos critérios para escolha no cenário interno do tomador de decisão

Importância do critério de avaliação	Código do critério	Descrição do critério	Peso
1º	EO9	Eficiência Global do Tratamento	0,173
2º	RI3	Exposição ao público	0,135
3º	EO1	Remoção de nutrientes	0,126
4º	EO7	Custo de operação e manutenção	0,095
5º	EO3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	0,092
6º	RI1	Eficiência no uso da água	0,066
7º	EO4	Cultura de operação e manutenção da tecnologia na CAESB	0,064
8º	EO5	Mão-de-obra necessária	0,058
9º	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	0,053
10º	EO8	Volume de biossólidos produzidos	0,042
11º	EO6	Custo de implantação	0,040
12º	RI2	Custos de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	0,030
13º	RI4	Facilidade de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	0,026
14º	MN1	Produção de frutíferas	0,019

A Tabela 38 traz os dados referentes aos pesos dos critérios de avaliação agrupados por multiobjetivos adotados no cenário interno, possibilitando a observação das importâncias dos objetivos considerados pelo tomador de decisão CAESB “eficiente operacional com reúso de água na agricultura”.

Tabela 39 - Peso total dos objetivos de acordo com perfil do tomador de decisão “CAESB eficiente operacional para o reúso de água”

Objetivos	Soma das pontuações dos critérios por objetivo	Percentual de prioridade dos objetivos do tomador de decisão
Eficiência Operacional	0,743	74,39%
Adequação dos sistemas de irrigação	0,2574	25,74%
Produtividade agrícola	0,0185	1,85%

Além do resultado parcial representado pelos pesos dos critérios de avaliação, foi realizada entrevista para obtenção de atributos junto aos “analistas decisores”, que também calibraram os pesos dos critérios de avaliação. No questionário, os entrevistados forneceram atributos utilizando valores da Tabela 40 para catorze (14) critérios de avaliação nas doze (12) alternativas de configuração da ETE Brazlândia modernizada com reúso de água na agricultura.

Tabela 40 - Atributos utilizados para valorar os critérios de avaliação das alternativas de configuração da ETE Brazlândia

Importância	Valor do atributo
Muito alta	5
Alta	4
Regular	3
Baixa	2
Muito baixa	1

Após os “analistas decisores” atribuírem valores de importância aos critérios de avaliação para todas as alternativas de configuração na ETE Brazlândia modernizada,

a Tabela 41 disponibiliza os dados coletados de um dos “analistas decisores” entrevistados. A organização dos atributos em tabela facilitou os cálculos e a visualização das respostas fornecidas. As tabelas respostas dos outros entrevistados encontram-se no Apêndice. Com essa tabela é possível realizar os cálculos necessários para obtenção das pontuações das alternativas de configuração da ETE Brazlândia modernizada pelo método da ponderação aditivo-hierárquica (PAH).

Tabela 41 - Médias dos atributos obtidos via questionário aplicado aos “especialistas” em recursos hídricos, saneamento e meio ambiente

	EO1	EO2	EO3	EO4	EO5	EO6	EO7	EO8	EO9	MN1	RI1	RI2	RI3	RI4
MFG	5	2	2	2	3	2	1	3	5	5	5	3	3	2
MFS	5	2	2	2	3	2	1	3	5	5	5	5	4	4
MFM	5	2	2	2	3	2	1	3	5	5	4	4	1	3
MIG	5	2	2	2	3	2	1	3	5	4	5	3	3	2
MIS	5	2	2	2	3	2	1	3	5	4	5	5	4	4
MIM	5	2	2	2	3	2	1	3	5	4	4	4	1	3
BFG	4	4	3	5	3	3	3	3	4	5	5	3	3	2
BFS	4	4	3	5	3	3	3	3	4	5	5	5	4	4
BFM	4	4	3	5	3	3	3	3	4	5	4	4	1	3
BIG	4	4	3	5	3	3	3	3	4	4	5	3	3	2
BIS	4	4	3	5	3	3	3	3	4	4	5	5	4	4
BIM	4	4	3	5	3	3	3	3	4	4	4	4	1	3
Pesos critérios	0,126	0,053	0,092	0,064	0,058	0,040	0,095	0,042	0,173	0,019	0,066	0,030	0,135	0,026

Após obtenção dos pesos dos critérios e atributos dos “especialistas”, foram realizadas as multiplicações e somatórias em conformidade com a metodologia da ponderação aditivo-hierárquica.

Dessa forma, a Tabela 41 apresenta os dados que serão multiplicados aos pesos dos critérios e posteriormente somados para obtenção das pontuações das 12 (doze) alternativas de configuração da ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura para propriedades do assentamento rural Maranatha.

Tabela 42 - Pontuações das alternativas por “analista decisor” e média final adotada como pontuação das alternativas

Alternativas de configuração da ETE Brazilândia modernizada	Ponderação aditivo-hierárquica			
	Analista decisor Ambiental	Analista decisor Operação	Analista decisor Projeto	Média dos analistas decisores
BFG	3,360	4,145	4,251	3,919
BFS	3,608	4,145	4,251	4,001
BFM	3,080	4,145	4,251	3,825
MIG	3,342	4,145	4,207	3,898
BIS	3,590	4,145	4,207	3,981
BIM	3,061	4,145	4,207	3,804
RFG	3,684	4,171	4,754	4,203
RFS	3,931	4,306	4,754	4,330
RFM	3,403	4,171	4,754	4,109
RIG	3,665	4,171	4,710	4,182
RIS	3,913	4,306	4,710	4,310
RIM	3,385	4,171	4,710	4,089

Figura 36 - Resultado final das pontuações pelo método da ponderação aditivo-hierárquico das alternativas de configuração na ETE Brazilândia modernizada para reúso de água na agricultura

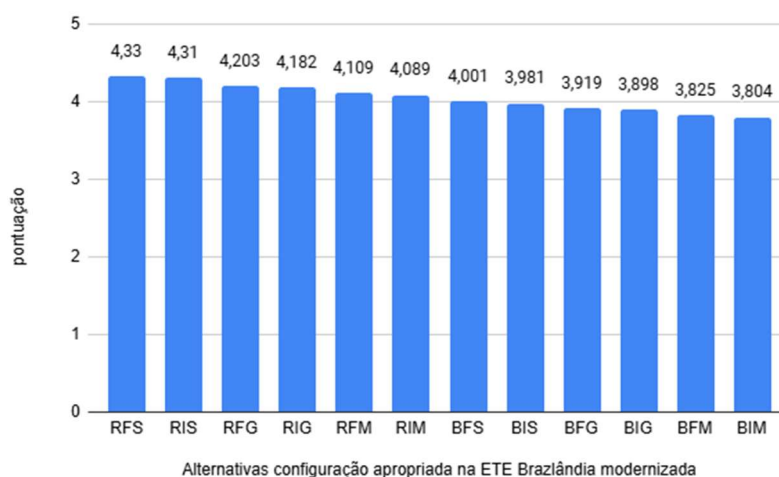


Tabela 43 - Pontuação final das alternativas de configuração da ETE Brazlândia para reúso na agricultura após aplicação do método da ponderação aditivo-hierárquico

Decisão apropriada	Alternativa	Descrição da configuração na ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura	Pontos
1º	RFS	RBN com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação subsuperficial	4,330
2º	RIS	RBN sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação subsuperficial	4,310
3º	RFG	RBN com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação por gotejamento	4,203
4º	RIG	RBN sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação por gotejamento	4,182
5º	RFM	RBN com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação por microaspersão	4,109
6º	RIM	RBN sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação por microaspersão	4,089
7º	BFS	BRM com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação subsuperficial	4,001
8º	BIS	BRM sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação subsuperficial	3,981
9º	BFG	BRM com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação por gotejamento	3,919
10º	BIG	BRM sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação por gotejamento	3,898
11º	BFM	BRM com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação por microaspersão	3,825
12º	BIM	BRM sem manobra de gestão de nutrientes e irrigação por microaspersão	3,804

Ao concluir os cálculos das pontuações das alternativas, a Tabela 43 aponta os resultados obtidos, bem como ordena as alternativas em ordem decrescente, sendo possível definir a alternativa de configuração apropriada no cenário interno. Como é possível observar, trata-se da configuração RFS, que corresponde ao tratamento de RBN com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação subsuperficial

7.2.2 Discussão da análise multicritério para seleção da configuração apropriada na ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura

Ao realizar os cálculos necessários para selecionar a configuração apropriada na ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura com auxílio do método da ponderação aditivo-hierárquico, restou verificado que a alternativa selecionada seria composta pela tecnologia RBN no tratamento terciário, manobra de gestão de nutrientes e sistema de fertirrigação subsuperficial. Essa alternativa foi codificada como RFS (RBN com manobra de gestão de nutrientes e fertirrigação subsuperficial) e obteve a maior pontuação dentre as alternativas, alcançando o valor de 4,330.

Na análise multicritério, foram considerados 3 (três) objetivos para o tomador de decisão CAESB no cenário interno, os quais deram origem aos 14 (quatorze) critérios de avaliação, sendo que 9 (nove) foram relacionados à eficiência operacional, 4 (quatro) associados à adequação da irrigação, enquanto apenas 1 (um) relativo à produtividade agrícola. Ao calcular e separar os pesos relativos dos critérios de avaliação por objetivos, foi possível levantar os pesos totais de cada um dos objetivos. Dessa forma, o objetivo eficiência operacional correspondeu a 74,39% das prioridades do tomador de decisões, enquanto a adequação da irrigação totalizou 25,74% e a produtividade agrícola 1,85%.

Após o cálculo dos pesos relativos dos critérios de avaliação, estes foram organizados em ordem decrescente para a elaboração de um ranking de importâncias. Algumas discussões sobre esses critérios de avaliação serão conduzidas a seguir seguindo a ordem de importância do ranking, e serão realizadas através da inserção de contribuições obtidas nas entrevistas presenciais, onde os analistas apresentaram suas experiências profissionais adquiridas nos sistemas de esgotamento sanitário do DF e em outras praças, viabilizando discussões compatíveis com as infraestruturas, situações e desafios reais das áreas de projeto, operação e meio ambiente na CAESB.

Avaliado com o peso relativo de 0,173, o critério de avaliação E09 (Eficiência global do tratamento) foi calculado como mais importante para o tomador de decisão “CAESB eficiente operacional para reúso de água na agricultura”.

A importância desse critério deve-se ao fato de avaliar uma tecnologia de tratamento terciário e sua influência na qualidade final atingida pelas águas de reúso produzidas, pois a partir da etapa, a tecnologia apresenta-se como determinante para o alcance desejado no nível de tratamento, sendo valorizada conforme seu desempenho e regularidade de seus resultados ao longo do histórico de funcionamento e ciclo de vida operacional da estação. Este critério está relacionado com a garantia no cumprimento dos parâmetros de qualidade da água exigidos para a viabilização do reúso de água na agricultura, bem como pelo licenciamento, legislação vigente e órgãos fiscalizadores das atividades de saneamento ambiental.

Os entrevistados relataram que, de acordo com sua percepção da tecnologia BRM, sua aplicação tende a garantir mais segurança operacional aos gestores responsáveis pela operação da ETA Brazlândia, uma vez que reduziria os riscos de não conformidade nos parâmetros de qualidade atingidos, mitigando a possibilidade de contaminação no solo, e problemas relacionados à saúde dos trabalhadores responsáveis pela operação e manutenção na rede de distribuição de água de reúso para irrigação. Essa rede vai interligar a ETE Brazlândia modernizada ao hidrômetro de irrigação a ser instalado na frente de cada propriedade rural beneficiada.

De acordo com respostas dadas pelos analistas, a oportunidade de simular o dimensionamento e a operação de uma ETE voltada para o reúso de água na agricultura, foi considerada como exercício de dimensionamento que combinou questões operacionais tradicionais com sistemas de irrigação e produtividade agrícola. A possibilidade de direcionar o fósforo para os efluentes ou para o lodo gerou reflexões sobre qual seria a melhor forma de encaminhamento desse nutriente para a agricultura, se via água de reúso ou via fertilizantes em forma de adubo.

Apesar do foco principal de todos os entrevistados ter sido a eficiência operacional da ETE Brazlândia modernizada, a qual está diretamente relacionada ao negócio principal da CAESB ao operar o SES Brazlândia, outros aspectos de adequação dos sistemas de irrigação foram abordados de maneira integrada das águas de reúso com a produtividade agrícola, seja na influência da turbidez nas incrustações das tubulações de irrigação, ou nos riscos sanitários associados.

A perspectiva dos riscos sanitários por parte dos analistas foi refletida no peso relativo alcançado pelo critério de avaliação RI3 (Exposição ao público) que ficou em segundo lugar no ranking de importância dos critérios com peso relativo de 0,135.

Posicionado em terceiro lugar, o critério de avaliação E01 (Remoção de nutrientes) foi valorizado com peso relativo de 0,126, estando diretamente associado com a escolha da tecnologia de tratamento terciário a ser adotada na estação, e que também corresponde ao primeiro dos três componentes da codificação das alternativas de configuração na ETE Brazlândia modernizada para reúso de água na agricultura.

A remoção de nutrientes é um processo responsável pela caracterização de um tratamento como terciário (WHITTON et al., 2015), pois garante que os nutrientes serão retidos na estação de tratamento de esgotos e não chegarão aos corpos hídricos destinados à disposição final, evitando processos de eutrofização em rios e lagos.

Situada na quarta posição, o critério de avaliação E07 (Custo de operação e manutenção) obteve o peso de 0,095, contemplou os recursos necessários para operar e manter uma tecnologia de tratamento terciário, onde os principais custos levantados foram os custos de energia elétrica, insumos e mão-de-obra, onde mais de 98% seriam referentes aos custos operacionais na ETE Brazlândia modernizada, e 2% estariam relacionados com a operação e manutenção da rede de distribuição das águas de reúso que se seria composta por uma malha de tubulações de aproximadamente 5 Km, interligando a estação de tratamento às propriedades do assentamento rural Maranatha.

Outro aspecto relevante comentado pelos entrevistados foi a importância em garantir na escolha de uma tecnologia de tratamento terciário que apresente a maior variedade possível de fornecedores de insumos e mão-de-obra disponíveis no mercado, refletido na quinta posição de importância do critério E03 (Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento), que com peso relativo de 0,092, avaliou as dependências de fornecedores relacionadas a cada uma das alternativas.

Em relação a esse critério quando comentado nas entrevistas, o BRM foi apresentado como exemplo cujos processos são extremamente dependentes de automação industrial devido à necessidade de monitoramento e controles precisos.

Dessa forma, a resolução dos problemas técnicos na tecnologia BRM geralmente é uma combinação de disponibilidade de componentes eletromecânicos associada à mão-de-obra especializada, que muitas vezes torna-se difícil viabilizar, podendo inclusive ocorrer situações indesejadas com fornecedores exclusivos. Os

“analistas decisores” informaram que essa questão pode ter custos elevados em momentos de emergência operacional ou ambiental.

Ao vislumbrar as ocorrências emergenciais de uma estação de tratamento de esgotos, essa perspectiva levaria a situações de interrupções indefinidas no tratamento, fato que prejudicaria a segurança operacional da ETE Brazlândia modernizada, com potencial de gerar graves riscos ambientais, bem como notificações e multas por parte dos órgãos de fiscalização ambiental.

Um dos aspectos enfatizados pelos analistas entrevistados foi a necessidade de desenvolver uma estrutura sólida para as manutenções industriais necessárias ao bom funcionamento da tecnologia BRM.

Nesse contexto, os “analistas decisores” concordam que atualmente, a CAESB possui equipe com capacidade técnica suficiente para as manutenções inerentes à tecnologia BRM, porém ressaltam a necessidade de mais investimentos em treinamento continuado da mão-de-obra, bem como em instrumentos e equipamentos em novas tecnologias de tratamento terciário.

Segundo os entrevistados, uma outra forma de viabilizar a manutenção do BRM seria através do investimento na cultura corporativa de manutenção industrial de etapas de tratamento por filtração com membranas. Para tanto, bastaria adaptar as experiências adquiridas na ETA Gama e na ETA Lago aos procedimentos desenvolvidos para as condições operacionais das estações de tratamento de esgotos que implantem a tecnologia BRM. Inaugurada em 2017, a vida útil das membranas completou 8 anos na CAESB com o início da operação da ETA Lago Norte em 2017, superando a indicada pelo fornecedor.

Por outro lado, os “analistas decisores” informaram que a capacitação e a cultura de manutenção industrial relacionada com a tecnologia RBN estão amplamente consolidadas na empresa, apresentando-se como ponto positivo em favor dessa tecnologia de tratamento terciário.

As estações de tratamento de esgotos operadas pela CAESB com utilização de tecnologias RBN encontram-se em conformidade com as exigências de seus licenciamentos, funcionando com monitoramento automatizado, calibração adequada e atendimento constante aos parâmetros exigidos na legislação vigente.

Em relação aos nutrientes na ETE Brazlândia modernizada, esta pesquisa estudou as possíveis consequências relacionadas com a manobra de gestão de nutrientes, que foi concebida para viabilizar a gestão do fósforo no efluente em

tratamento. Ao realizar a manobra, ocorre o desvio da etapa FAD, e o efluente vai diretamente para a desinfecção ultravioleta, portanto sem que ocorra a remoção do nutriente fósforo, tornando-se mais atrativo para a fertirrigação na agricultura. Além disso, o acionamento da manobra de gestão de nutrientes reduz o consumo de energia elétrica e de produtos químicos na estação devido à não utilização da etapa de polimento final com FAD. Apesar dessa economia de energia elétrica, os pontos negativos da manobra são a redução na eficiência da desinfecção ultravioleta e um maior entupimento na irrigação, ambos problemas causados pelo aumento na turbidez do efluente em tratamento

A não realização da manobra, permitindo que o efluente siga normalmente para o FAD, reduz a turbidez e a quantidade de nutriente fósforo no efluente, garantindo maior eficiência na etapa de desinfecção ultravioleta, porém reduz a atratividade para a fertirrigação na agricultura.

Apesar dos “analistas decisores” terem avaliado como sendo interessante a possibilidade de manter o nutriente fósforo no efluente em tratamento através da realização da manobra de gestão de nutrientes com desvio do polimento final, o critério de “Produção de frutíferas” obteve o menor peso dentre as prioridades do tomador de decisão, perfazendo uma pontuação de 0,0145.

Apesar do critério de avaliação EO8 (Volume de biossólidos produzidos) ter sido pontuado com peso relativo de 0,042 com posicionamento em 10º lugar no ranking, os entrevistados apresentaram a visão de que o tema produção de lodo vai passar por transformações na companhia. Tradicionalmente, quanto maior a produção de lodo, maior eram os gastos para gerenciá-lo, porém ultimamente essa lógica tem sido alterada aos poucos com a crescente tendência de valorização do lodo de esgoto enquanto insumo na produção de fertilizantes.

Ao longo do desenvolvimento dos estudos, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as tecnologias de tratamento terciário Biorreator com Membranas e Remoção Biológica de Nutrientes.

Ao combinar essa revisão aos pareceres dos “analistas decisores” da CAESB, foi possível elaborar a tabela 43, na qual são feitas comparações entre as duas tecnologias utilizando-se critérios adotados nesta pesquisa.

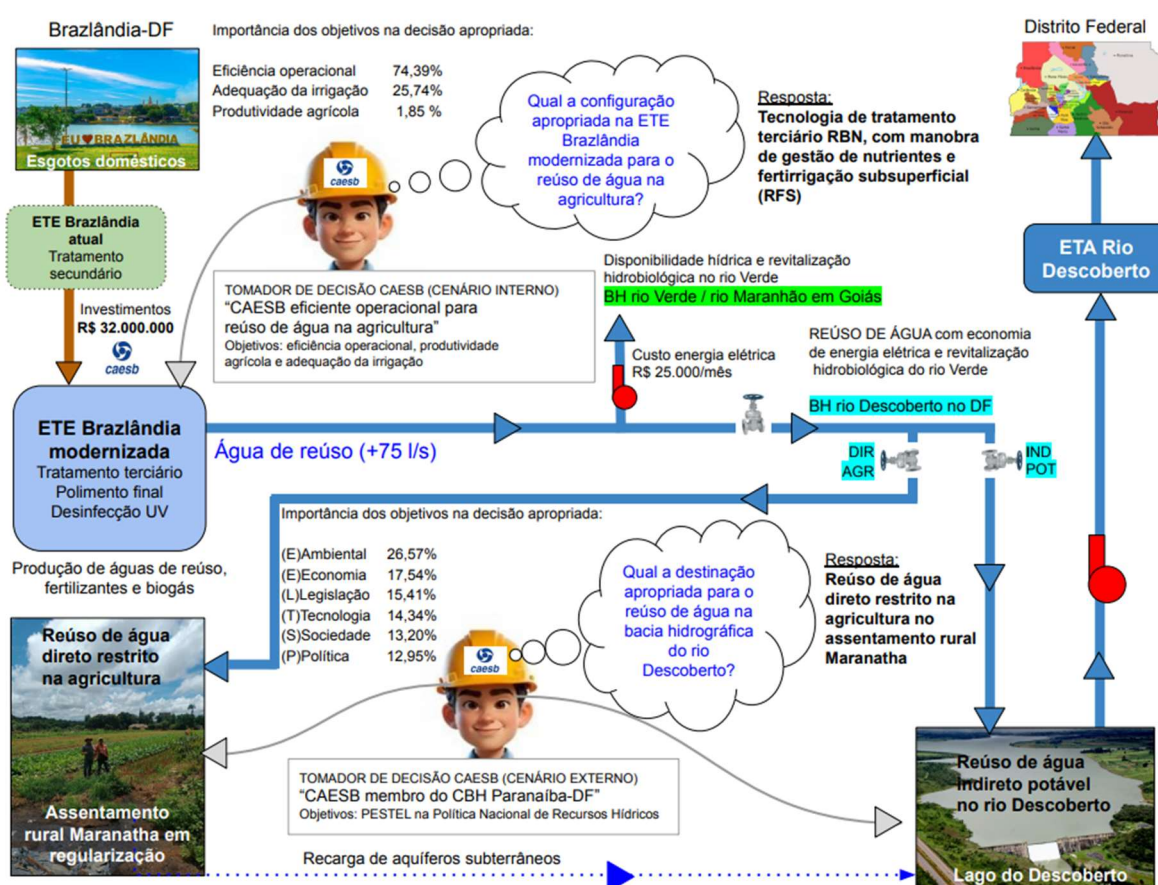
Tabela 44 - Análise comparativa simplificada entre as opções de tratamento terciário RBN e BRM

Critérios e parâmetros das alternativas	Biorreator com Membranas (BRM)	Remoção Biológica de Nutrientes (RBN)
Área necessária para implantação	Menor área necessária	Maior área necessária
Decantador secundário	Não é necessário	Necessário em algumas tecnologias
Consumo de ar comprimido	Maior necessidade	Menor necessidade
Entupimentos no processo	Maior frequência	Não ocorre
Custos de operação e manutenção	Maior	Menor
Dependência de insumos de fornecedores	Maior	Menor
Cultura de manutenção na CAESB	Desde 2017, com as ETAs Lago Norte e Gama	Desde 1993, com as ETEs Brasília Sul, Brasília Norte, Riacho Fundo e Gama
Produção de lodo	Menor produção	Maior produção
Eficiência global	Mais eficiente	Menos eficiente
Regularidade dos efluentes	Maior regularidade	Menor regularidade
Dependência de automação	Maior dependência	Menor dependência

7.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Com os resultados obtidos nas análises multicritério realizadas, a figura XX apresenta uma representação das alternativas apropriadas nos cenários externo e interno do tomador de decisão.

Figura 37 - Decisões apropriadas nos cenários externo e interno do tomador de decisão para o reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto após modernização da ETE Brazlândia



São apresentados dados referentes aos objetivos considerados em ambos os cenários, bem como um esquema hidráulico do trajeto realizado pelas águas de reúso produzidos pela ETE Brazlândia modernizada até chegar aos destinos previstos de acordo com a decisão tomada.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao analisar os estudos realizados por esta pesquisa, constatou-se que a modernização da ETE Brazlândia vai gerar impactos positivos no saneamento ambiental e na gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas do rio Descoberto no DF e do Rio Verde em Goiás.

O empreendimento vai aumentar a vazão afluente na ETE Brazlândia de 45 l/s para 75 l/s, e com a implantação de novos processos incluindo tratamento preliminar utilizando desarenador com *air-lift*, tratamento terciário com remoção de nutrientes, polimento final com FAD e desinfecção ultravioleta, a estação vai produzir águas de reúso com o mesmo padrão de qualidade alcançado pelos efluentes tratados em Estação de Produção de Água de Reúso (EPAR), podendo ser destinadas para reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto.

A introdução do tratamento terciário complementado por polimento final e desinfecção UV na ETE Brazlândia significam um sinal verde para a permanência das águas de reúso na bacia hidrográfica do rio Descoberto, viabilizando o reúso de água indireto potável no rio Descoberto e o reúso direto restrito na agricultura em propriedades do assentamento rural Maranhá. Ao adotar qualquer uma dessas destinações de reúso na bacia hidrográfica do rio Descoberto, estima-se que haverá incremento de 86.400 l/dia (2.592 m³/mês) em segurança hídrica para o lago do Descoberto e uma economia aproximada de R\$ 833,00/dia (R\$ 24.990/mês) em energia elétrica para o DF, além de contribuir para o retorno do regime natural do rio Verde em Goiás, que faz parte da bacia hidrográfica do rio Maranhão.

No contexto da segurança hídrica e da saúde pública, a implantação da desinfecção UV tem custo relativamente baixo de implantação e demanda pouca área física, apresentando-se como solução de desinfecção apropriada para fazer parte da configuração da ETE Brazlândia. Outro aspecto importante da implantação desse tipo de desinfecção será a segurança sanitária proporcionada aos usuários e trabalhadores envolvidos com a operação e manutenção das redes e infraestruturas destinadas ao reúso direto na irrigação.

As melhorias na ETE Brazlândia vão aumentar a proteção sanitária das águas que formam o lago do Descoberto, contribuindo para a melhoria na qualidade das águas superficiais e subterrâneas responsáveis pela recarga do manancial.

As novas destinações viabilizadas pela ETE Brazlândia modernizada vão promover a gestão integrada dos recursos hídricos entre as bacias hidrográficas federais do rio Paranaíba e do rio Maranhão, representadas no DF e em Goiás pelos rios Descoberto e Verde, respectivamente.

Na oficina socioambiental sobre reúso de água, os produtores rurais demonstraram interesse na disponibilidade das águas de reúso que serão produzidas pela ETE Brazlândia, pois compreenderam seu valor como fonte perenizada de irrigação com nutrientes e economia de energia elétrica para suas propriedades no Assentamento Rural Maranatha em Brazlândia.

Essa decisão vai influenciar na segurança hídrica, consumo energético, produtividade agrícola e licenciamento ambiental, além de contribuir, mesmo que indiretamente, para a regularização ambiental e fundiária na área rural de Brazlândia, especialmente na Área 3 e da FLONA, onde localiza-se o assentamento rural Maranatha.

A gestão compartilhada das vazões das águas de reúso entre essas bacias hidrográficas do rio Verde e rio Descoberto promove os usos múltiplos, e contribui para o desenvolvimento da PNRH no Centro-Oeste, especialmente entre DF e Goiás. Nesse contexto, as duas unidades da federação já atuam conjuntamente na gestão de recursos hídricos nas bacias hidrográficas federais do Paranaíba, Tocantins e São Francisco, participando dos comitês de bacia hidrográfica do Paranaíba Federal, São Francisco Federal, Paranaíba-DF, Maranhão-DF, Preto-DF e Tocantins Federal em fase de criação.

A possibilidade de disponibilidade hídrica com água de reúso perenizada para a irrigação em períodos de seca representa um incentivo aos produtores rurais do assentamento rural Maranatha cadastrados na EMATER-DF, apresentando-se como oportunidade para melhores resultados econômicos nas culturas.

A modernização da ETE Brazlândia vai aumentar a capacidade de tratamento da estação em quantidade e qualidade, incrementando a proteção sanitária do lago do Descoberto. Ao evitar que as águas superficiais e subterrâneas da bacia sejam contaminadas por esgotos clandestinos e poluentes, o sistema de esgotamento sanitário vai produzir águas de reúso que poderão ser utilizadas para reforçar a segurança hídrica no lago do Descoberto ou para irrigação na agricultura das propriedades do assentamento rural Maranatha.

Ao considerar os fatores PESTEL como multiobjetivos adotados pelo tomador

de decisão CAESB “membro do CBH Paranaíba-DF” no cenário externo alinhado com os fundamentos, objetivos e diretrizes da PNRH, buscando uma atuação coerente com o funcionamento dos comitês de bacia hidrográfica, onde deve-se respeitar e considerar os posicionamentos dos membros da sociedade civil, usuários e poder público nas tomadas de decisão.

Após realização de análise multicritério para definir a destinação apropriada das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada na bacia hidrográfica do rio Descoberto, a alternativa selecionada foi o reúso de água direto restrito na agricultura em propriedades agrícolas do assentamento rural Maranhá.

Essa destinação apresentou potencial de ganhos econômicos para os produtores rurais e para o lago do Descoberto, pois o fornecimento de uma vazão perenizada de água de reúso, especialmente nos períodos de seca, mantendo a produtividade agrícola com redução de custos no bombeamento dos poços de irrigação. Além disso, a fertirrigação com águas de reúso poderá fornecer nutrientes, além de promover a recarga das águas subterrâneas, contribuindo positivamente para o balanço hídrico do lago do Descoberto.

Vale ressaltar que a implementação do reúso de água na agricultura em Brazlândia representaria uma experiência pioneira para a CAESB, em que os efluentes tratados de uma ETE seriam destinados ao reúso de água na agricultura numa comunidade rural situada nas proximidades da estação. Verificou-se que a implementação dessa solução seria um desafio técnico e operacional para CAESB, uma vez que demandaria adequações corporativas internas, incluindo a criação de normas e procedimentos específicos para viabilizar a solução. Estima-se a criação de normas e regulamentos para os Sistemas de Abastecimento de Água de Reúso (SAAR), um novo tipo de sistema de saneamento ambiental a ser operado e desenvolvido.

Apesar de ter sido pontuada como segunda opção na análise multicritério em conformidade com os objetivos PESTEL (Política, Economia, Sociedade, Tecnologia, Meio Ambiente e Legislação), a alternativa de destinação para o reúso de água indireto potável no rio Descoberto vai priorizar o incremento na segurança hídrica do lago do Descoberto, agregando uma vazão de 75 L/s em águas de reúso ao manancial. Essa alternativa apresentou-se como estratégia mais fácil e barata de ser implementada, não havendo necessidade de custos adicionais em construção, operação e manutenção.

Dentre as características elencadas como positivas em favor do reúso indireto potável no rio Descoberto, destacam-se os baixos custos necessários para sua implantação. Isso porque a simples abertura da descarga hidráulica existente a jusante da elevatória de efluentes tratados de Brazlândia, já seria suficiente para viabilizar o lançamento das águas de reúso no Rio Descoberto.

Outro benefício elencado pelos “analistas decisores” entrevistados em favor do reúso indireto potável seria a inexistência de contato dos trabalhadores rurais e usuários com as águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada, evitando-se potenciais riscos de contaminação.

A destinação ao reúso indireto potável poderá ser implantada somente no período chuvoso, de acordo com a recomendação do PDSB. Nesse contexto, recomenda-se que durante o período seco, as águas de reúso produzidas sejam destinadas para a irrigação no assentamento rural Maranatha, e no período chuvoso sejam destinadas ao reúso indireto potável no rio Descoberto.

No cenário interno da CAESB, a decisão apropriada para a configuração na ETE Brazlândia modernizada para o reúso de água na agricultura selecionou a alternativa composta pela tecnologia de remoção biológica de nutrientes (RBN) no tratamento terciário, combinada com a realização da manobra de gestão de nutrientes que assegura a permanência do fósforo (P) no efluente, juntamente com a implantação do sistema de fertirrigação subsuperficial nas propriedades agrícolas do assentamento rural Maranatha.

A proposta de selecionar a configuração apropriada na ETE Brazlândia modernizada com reúso de água na agricultura, foi percebida pelos “analistas decisores” entrevistados como um desafio inovador na concepção e dimensionamento de estações de tratamento de esgotos, onde a qualidade dos efluentes tratados associada com a segurança sanitária das instalações hidráulicas de irrigação, terão papel fundamental na operação adequada do sistema de reúso de água na agricultura em foco.

A destinação apropriada das águas de reúso produzidas na ETE Brazlândia para reúso de água na agricultura vai representar uma oportunidade para fomentar pesquisas e desenvolvimento científico na CAESB.

A possibilidade de associar as águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada com a produtividade agrícola nas propriedades do assentamento rural Maranatha, vai criar oportunidades para a realização de estudos sobre a efetividade

do reúso de água na agricultura em Brazlândia, podendo ser utilizada como referência em futuros projetos e pesquisas relacionados ao tema na companhia.

O reúso de água direto restrito na agricultura em Brazlândia pode significar o início de um novo capítulo na operação dos sistemas de esgotamento sanitário na CAESB, viabilizando novos aprendizados e experiências operacionais. A implantação de soluções de reúso de água na agricultura tem o potencial de fornecer dados e informações estratégicas sobre disponibilidade hídrica e de nutrientes, tanto para a produtividade agrícola como para a gestão dos recursos hídricos no DF.

Por estar localizado numa unidade de conservação federal e em área de recarga de aquíferos do lago do Descoberto, a disponibilidade de águas de reúso para a agricultura nas propriedades do assentamento rural Maranatha vai criar uma conjuntura favorável para a ampliação do debate sobre a regularização da região

Para garantir a conservação do solo e os processos de infiltração para a recarga dos aquíferos formadores do lago do Descoberto, será necessário incrementar as ações de fiscalização e providências cabíveis em relação aos processos de grilagem de terras, ocupações irregulares e impermeabilização dos solos verificados em campo. Essas ações deverão ser realizadas pelos órgãos competentes com acompanhamento do CBH Paranaíba-DF, contribuindo para a segurança hídrica e regularização ambiental da região. Os potenciais ganhos em questões socioambientais e na segurança hídrica associados ao reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto apontam para a necessidade de uma presença maior do poder público na região.

Recomenda-se que, após início da operação da ETE Brazlândia modernizada, sejam realizados estudos e análises comparativas entre os custos operacionais das duas alternativas de reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto.

A implantação dessa experiência de reúso direto restrito na agricultura em Brazlândia vai servir como modelo para a CAESB, podendo ser futuramente customizada para outras estações de tratamento de esgotos que venham a receber investimentos para viabilizar a produção de água de reúso, especialmente quando houver a oportunidade de implantar o reúso de água na agricultura.

Os empreendimentos da CAESB relacionados com o incremento de disponibilidade hídrica através do reúso de água, vão ampliar cada vez mais a diversificação de fontes de recursos hídricos no DF, garantindo a preservação de mananciais e consolidando a imagem da companhia na gestão dos recursos hídricos

no DF e no Centro-Oeste. Nessa perspectiva, verificou-se que a modernização da ETE Brazlândia com a opção de reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto, vai ampliar o compromisso institucional da CAESB no âmbito da PNRH.

Os investimentos realizados pela CAESB no Sistema de Esgotamento Sanitário de Brazlândia vão proporcionar uma maior efetividade ao saneamento ambiental do DF gerando segurança hídrica, especialmente através dos benefícios gerados pelo reúso de água na gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Descoberto.

REFERÊNCIAS

ABOU-SHADY, A.; SIDDIQUE, M. S.; YU, W. A critical review of recent progress in global water reuse during 2019–2021 and perspectives to overcome future water crisis, 2023.

ADASA. Relatório de gestão de recursos hídricos. Brasília: Agência Reguladora de Águas, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília, DF: ANA, 2019.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL – ADASA. Resolução nº 005, de 9 de maio de 2022.

AGUILAR, F. J. Scanning the business environment. Cambridge: Harvard University Press, 1967.

AISSE, M. M.; JÜRGENSEN, D.; LOBATO, M. B.; ALÉM SOBRINHO, P. Avaliação do sistema reator RALF e flotação por ar dissolvido no tratamento de esgoto sanitário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. *Anais [...]*. João Pessoa: ABES, 2001.

ALLAN, J. A. The Middle East water question: Hydropolitics and the global economy. London: I.B. Tauris, 2001.

ALMEIDA-DIAS, J.; FIGUEIRA, J.; ROY, B. A multiple criteria sorting method where each category is characterized by several reference actions: The Electre TRI-C method. *European Journal of Operational Research*, [S.l.], v. 204, n. 3, p. 565–580, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.10.023>.

ANDERSON, J.; MACINTYRE, K.; SMITH, R. The role of water reuse in addressing California's water challenges. *Journal of Environmental Management*, v. 223, p. 978–989, 2018.

ANDRADE, C. L. T. Seleção do sistema de irrigação. **Circular Técnica nº 14.** Sete Lagoas, MG: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2001.

ARZATE, S. L. et al. Environmental impacts of an advanced oxidation process as tertiary treatment in a wastewater treatment plant. *Science of the Total Environment*, v. 694, p. 133572, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.10.023>.

ASANO, T.; COTRUVO, J. A. Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: Health and regulatory considerations. *Water Research*, v. 38, n. 8, p. 1941–1951, 2004.

ASANO, T.; BURTON, F.; LEVERENZ, H.; TSUCHIHASHI, R.; TCHOBANOGLOUS, G. Water reuse: Issues, technologies, and applications. New York: Metcalf & Eddy/AECOM; McGraw Hill, 2007.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2016.

BARNARD, J. L. Biological nutrient removal: where we have been, where we are going? In: WEFTEC 2006. *Proceedings [...]*. Alexandria: Water Environment Federation, 2006. p. 1–25.

BARRAQUÉ, B. The role of the state in the governance of socio-ecological systems: water policy in France. *Environmental Policy and Governance*, [S.l.], 2011.

BRAGA, B. P. F. et al. Governança da água e os desafios da gestão. Brasília: ABCM, 2020.

BRASIL. Lei nº 4.545, de 10 de dezembro de 1964. Dispõe sobre a reestruturação administrativa do Distrito Federal e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 14 dez. 1964.

BRASIL. Decreto nº 87.586, de 20 de setembro de 1982. Amplia a área do Parque Nacional de Itatiaia, criado pelo Decreto nº 1.713, de 14 de janeiro de 1937, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 21 set. 1982.

BRASIL. Decreto nº 88.940, de 7 de novembro de 1983. Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção Ambiental das Bacias dos Rios São Bartolomeu e Descoberto e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 8 nov. 1983.

BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 jul. 2000.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 29 nov. 2005.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 17 dez. 2010.

BRASIL. Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01, de 28 de junho de 2017. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 29 jun. 2017.

BRASIL. *Tecnologias de gestão hídrica: novos caminhos*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE – MS. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 5 maio 2021.

BRASIL. Lei nº 14.447, de 9 de setembro de 2022. Altera os limites da Floresta Nacional de Brasília. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 10 set. 2022.

Brites, C. R. C. *Abordagem multiobjetivo na seleção de sistemas de REÚSO de água em irrigação paisagística no Distrito Federal*. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

Brites, C. R. C. et al. II-1534 Análise da viabilidade do reúso de água para irrigação no Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2009. *Anais [...]*. [S.l.]: ABES, 2009.

Brugha, R.; Varvasovszky, Z. Stakeholder analysis: a review. *Health Policy and Planning*, v. 15, n. 3, p. 239–246, 2000.

Buarque, C. *Tecnologia apropriada: una política para la banca de desarrollo de América Latina*. Lima: ALIDE, 1983.

CAESB – COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. *Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal – SIESG 2014*. 27. ed. Brasília: CAESB, 2014.

CAESB – COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. *Relatório Operacional SES Brazlândia 2024 para pesquisa ProfÁgua*. POEO/POE/DP/CAESB, 2024.

CAESB – COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. *Anteprojeto da ETE Brazlândia – Projeto Hidromecânico.* E.ETE.BRZ-D008 VOLUME 1, TOMO 01/02. EPRE/EPR/DE/CAESB, 2023.

CARNEIRO, G. A.; BARBOSA, R. F. M.; SOUZA, M. A. A. Tecnologia apropriada em saneamento: uma nova abordagem com o emprego de análise multiobjetivo e multicritério. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. *Anais [...]*. João Pessoa: ABES, 2001.

CARVALHO, A. P. A. M.; COSTA, R. S.; ROSA, J. C. L. Eutrofização e introdução de espécies exóticas em estuário hipersalino: Lagoa de Araruama, Rio de Janeiro, Brasil. In: SEMINÁRIO REGIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, 4., 2014. *Anais [...]*. [Local da edição], [Editora], 2014.

CEARÁ. Lei nº 16.033, de 20 de junho de 2016. Dispõe sobre a Política de Reúso de Água Não Potável no âmbito do Estado do Ceará. *Diário Oficial do Estado do Ceará*, Fortaleza, CE, 22 jun. 2016.

CHEN, Z.; NGO, H. H.; GUO, W. A critical review on the end uses of recycled water. *Science of the Total Environment*, v. 426, p. 1–13, 2013.

CHERNICHARO, C. A. L. *Post-treatment of anaerobic effluents in tropical countries.* Londres: IWA Publishing, 2007.

CHOJNACKA, K. et al. A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 130, p. 109959, 2020.

CHRISTOU, A. et al. The potential implications of reclaimed wastewater reuse for irrigation on the agricultural environment: the knowns and unknowns of the fate of antibiotics and antibiotic-resistant bacteria and resistance genes – a review. *Water Research*, v. 123, p. 448–467, 2017. DOI: 10.1016/j.watres.2017.07.004.

CHURCHMAN, C. W.; ACKOFF, R. L. *An introduction to operations research*. New York: Wiley, 1954.

CODEVASF. *Projeto Público de Irrigação Propriá*. [S. l.], 2018. Disponível em: https://www.codevasf.gov.br/assuntos/agricultura-irrigada/projetos-de-irrigacao/em-producao/propria?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 25 mar. 2025.

COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL – CODEPLAN. *Perfil da Região Administrativa de Brasília*. Brasília: CODEPLAN, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 2022.

CUNHA, C.; COELHO, L.; DOURADO, M. Governança da água no Brasil: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 24, n. 1, p. 1–12, 2019.

DISTRITO FEDERAL. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE – SEMA. Instrução Normativa nº 001/88. *Zoneamento da Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio São Bartolomeu, visando compatibilizar a utilização dos recursos naturais com a preservação da qualidade do Meio Ambiente e o equilíbrio ecológico*. *Diário Oficial do Distrito Federal*, Brasília, DF, 27 abr. 1988.

DISTRITO FEDERAL. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE – SEMA. Resolução nº 02, de 29 de julho de 2021. Dispõe sobre a criação de Câmara Técnica para estudar e propor regulamentação sobre o reúso de água para a atividade agrícola e a irrigação no Distrito Federal. *Diário Oficial do Distrito Federal*, Brasília, DF, 30 jul. 2021.

DYE, R. Wastewater and water recycling in Australia. *Urban Water Journal*, v. 5, n. 4, p. 269–281, 2008.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO DISTRITO FEDERAL – EMATER-DF. *Informações agropecuárias do Distrito Federal – 2020*. Brasília: EMATER-DF, 2020.

EMBRAPA. *Reúso de água na agricultura*. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2018.

EMBRAPA. *Indicadores de qualidade do solo e da água no cultivo de hortaliças com reúso de água tratada*. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2019.

FELIZATTO, M. R. II-081 – ETE CAGIF: Projeto Integrado de Tratamento Avançado e Reúso Direto de Águas Residuárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL, 21., 2001. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

FORTALEZA (CE). CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – COEMA. Resolução COEMA nº 2, de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. *Diário Oficial do Estado do Ceará*, Fortaleza, CE, 3 fev. 2017.

FÓRUM MUNDIAL DA ÁGUA. *Discussão sobre reúso de água para segurança alimentar*. Brasília: Fórum Mundial da Água, 2018.

FRANKEN, K. Water reuse in arid regions: practices and prospects. *Desalination*, v. 248, n. 1–3, p. 200–207, 2012.

GOICOECHEA, A.; HANSEN, D. R.; DUCKSTEIN, L. *Multiobjective decision analysis with engineering and business applications*. New York: John Wiley & Sons, 1982.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL – GDF. *Diretrizes para Gestão Sustentável de Recursos Hídricos no Distrito Federal*. Brasília, DF: GDF, 2019.

GOLDENFUM, J. A. Reaproveitamento de águas pluviais. *Boletim do Saneamento*, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2006.

GUIMARÃES, R. H. P.; TELLES, D. D. A.; COSTA, R. H. P. G. *Reúso da água: conceitos, teorias e práticas*. São Paulo: Blucher, 2007.

GUL, S.; GANI, K. M.; GOVENDER, I.; BUX, F. Reclaimed wastewater as an ally to global freshwater sources: a PESTEL evaluation of the barriers. *AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, v. 70, n. 2, p. 123–137, 2021.

HASAN, M. N. et al. Recent technologies for nutrient removal and recovery from wastewaters: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, [S.l.], 2021.

HENZE, M. et al. *Biological wastewater treatment: principles, modelling and design*. London: IWA Publishing, 2008.

HESPANHOL, I. REÚSO de água na agricultura e na indústria: gestão de recursos hídricos no Brasil. *Revista DAE*, São Paulo, v. 53, n. 182, p. 12–27, 1994.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 4, p. 75–95, 2002.

HESPANHOL, I. *Gestão de recursos hídricos no Brasil*. São Paulo: CEG/USP, 2003.

HESPANHOL, I. Água de reúso: uma abordagem estratégica para o Brasil. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 1, p. 1–12, 2008.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V. How much do we know about the groundwater quality and its impact on Brazilian society today? *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 31, p. e109, 2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBio. *Plano de manejo da Floresta Nacional de Brasília: Volume 1 – Diagnóstico*. Brasília: ICMBio, 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio>. Acesso em: 25 mar. 2025.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION – IWA. *Water reuse: from principles to practice*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2018.

IORHEMEN, O. T.; HAMZA, R. A.; TAY, J. H. Membrane bioreactor (MBR) technology for wastewater treatment and reclamation: membrane fouling. *Membranes*, v. 6, n. 2, p. 33, 2016.

JACOBI, P. R.; CIBIM, J.; LEÃO, R. S. Desafios na gestão de bacias hidrográficas: governança e sustentabilidade. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, n. 1, p. 145–155, 2009.

JENKINS, D.; WANNER, J. (Ed.). *Activated sludge – 100 years and counting*. London: IWA Publishing, 2014.

JUDD, S. The status of membrane bioreactor technology. *Trends in Biotechnology*, v. 26, n. 2, p. 109–116, 2008.

JUDD, S. *The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment*. Oxford: Elsevier, 2011.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. New York: Wiley, 1976.

KIM, H.; LEE, C. Optimization of membrane bioreactors for cost-effective wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, v. 8, p. 15–22, 2015.

LE-CLECH, P. Membrane bioreactors and their uses in wastewater treatments. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 88, p. 1253–1260, 2010.

LUZ LIMA JÚNIOR, G. *Biochemical and operational aspects for enhancing biological nutrient removal in a full-scale plant with a UASB-Activated sludge system*. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

LIU, H. et al. Water reuse in Beijing: achievements and challenges. *Journal of Environmental Management*, v. 278, p. 111553, 2021.

LIU, Y. et al. Assessing environmental, economic, and social impacts of inter-basin water transfer in China. *Journal of Hydrology*, v. 625, p. 130008, 2023.

LYU, S. et al. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil-crop systems in China: a review. *Science of the Total Environment*, v. 813, p. 152531, 2022.

MACHADO, A. A.; TUNDISI, J. G. *Gestão e proteção de recursos hídricos no Brasil*. São Paulo: Edusp, 2020.

MAESTRE-VALERO, J. F. et al. Revaluing the nutrition potential of reclaimed water for irrigation in southeastern Spain. *Agricultural Water Management*, v. 218, p. 174–181, 2019.

MAINARDIS, M. et al. Wastewater fertigation in agriculture: issues and opportunities for improved water management and circular economy. *Environmental Pollution*, v. 296, p. 118755, 2022.

MARIN, P.; SHIMON, T.; JOSHUA, Y.; RINGSKOG, K. B. Water management in Israel: key innovations and lessons learned for water-scarce countries. New York; Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development, 2017.

MALCHI, T. et al. Irrigation of root vegetables with treated wastewater: evaluating uptake of pharmaceuticals and the associated human health risks. *Environmental Science & Technology*, v. 48, n. 16, p. 9325–9333, 2014.

MALCZEWSKI, J. *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: Wiley, 1999.

MANCUSO, P. C. S. *Reúso de água*. São Paulo: Editora Manole, 2003.

MATOS, C. R.; TELLES, R. *Gestão integrada de recursos hídricos e reúso*. São Paulo: Springer, 2017.

MEKALA, G. D. et al. *A framework for efficient wastewater treatment and recycling systems*. Colombo: IWMI, 2008.

MELBOURNE WATER. *Western Treatment Plant: historical and operational overview.* 2023. Disponível em: <https://www.melbournewater.com.au>. Acesso em: 14 nov. 2024.

MENDOZA, G. A.; MARTINS, H. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*, v. 230, n. 1–3, p. 1–22, 2006.

MENG, F. et al. Recent advances in membrane fouling in membrane bioreactors: mechanisms and mitigation. *Water Research*, v. 43, n. 6, p. 1489–1512, 2009.

METCALF; EDDY. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery.* New York: McGraw-Hill, 2013.

METCALF; EDDY. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery.* New York: McGraw-Hill Education, 2014.

METCALF, L.; EDDY, H. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.* 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980 p.

MINAS GERAIS. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.* *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

MINAS GERAIS. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CERH-MG. Deliberação Normativa nº 65, de 18 de junho de 2020. *Dispõe sobre diretrizes para o reúso de água no Estado de Minas Gerais.* *Diário Oficial do Estado de Minas Gerais*, Belo Horizonte, MG, 19 jun. 2020.

MORGAN, K. T. et al. Effects of reclaimed municipal wastewater on horticultural characteristics, fruit quality, and soil and leaf mineral concentration of citrus. *HortScience*, v. 43, n. 2, p. 459–464, 2008.

MORITA, A. K. M.; IBELLI-BIANCO, C.; ANACHE, J. A. A. Pollution threat to water and soil quality by dumpsites and non-sanitary landfills in Brazil: a review. *Waste Management*, v. 131, p. 163–176, 2021.

MOURA, R. B.; SILVA, F. M.; SOUZA, J. M. Avaliação multicritério na seleção de tecnologias de saneamento para comunidades rurais no Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 1, p. 99–110, 2020.

MUJERIEGO, R.; ASANO, T. The role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse. *Water Science and Technology*, v. 40, n. 4–5, p. 1–9, 1999.

MUNDA, G. Social Multi-Criteria Evaluation: methodological foundations and operational consequences. *European Journal of Operational Research*, v. 158, n. 3, p. 662–677, 2004.

MUNDIM, B. C.; JUNIOR, I. V.; HOFFMANN, B. S. VI-059 – Utilização da avaliação do ciclo de vida em sistemas de esgotamento sanitário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30., 2019. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: ABES, 2019.

NANCHARAIH, Y. V.; MOHAN, S. V.; LENS, P. N. L. Recent advances in nutrient removal and recovery in biological and bioelectrochemical systems. *Bioresource Technology*, v. 215, p. 173–185, 2016.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Water reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater*. Washington, DC: The National Academies Press, 2012.

OLIVEIRA, D. V. M.; VOLSCHAN, I.; PIVELI, R. P. Avaliação comparativa entre custos dos processos MBBR/IFAS e lodo ativado para o tratamento de esgoto sanitário. *Revista DAE*, v. 61, p. 46–55, 2013.

OLIVEIRA, M. *Conservação hídrica: lições da crise de 2016–2018*. Brasília: Editora do Senado, 2019.

ORANGE COUNTY WATER DISTRICT – OCWD. *Groundwater Replenishment System*. 2021. Disponível em: <https://www.ocwd.com>. Acesso em: 25 mar. 2025.

PACHECO, C. *Tratamento e reúso de águas residuais para irrigação agrícola*. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2016.

PACHECO, C. *Eficácia do tratamento de água residual e impacto na produção de hortaliças*. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2020.

PINTO FILHO, A. C. T.; BRANDÃO, C. C. S. Evaluation of flocculation and dissolved air flotation as an advanced wastewater treatment. *Water Science and Technology*, v. 43, n. 8, p. 83–90, 2001.

POUSSADE, Y. et al. Water recycling in Australia: current status and future directions. *Water Science & Technology*, v. 62, n. 11, p. 2759–2767, 2010.

RAHMAN, T. U. et al. The advancement in membrane bioreactor (MBR) technology toward sustainable industrial wastewater management. *Membranes*, v. 13, n. 2, p. 181, 2023.

RAMOS, M. A.; LIMA, R. C.; FERNANDES, M. E. Tecnologias apropriadas e sustentabilidade: princípios, práticas e potencialidades. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 14, n. 2, p. 124–136, 2018.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

RIBEIRO, T. B. et al. Desenvolvimento de separadores trifásicos modulares para reatores UASB tratando esgoto sanitário. In: ENCONTRO TÉCNICO AESABESP – [...] **Anais [...]**. [Local], [Editora], [Ano].

SAATY, T. L. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980.

SABESP. Água no planeta. Disponível em: <https://www.sabesp.com.br>. Acesso em: 17 jun. 2008.

SALATI, E. Gestão de recursos hídricos no Brasil: desafios e perspectivas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. p. 15–38.

SANTOS, V. et al. Avaliação do uso de tecnologias de membranas na América Latina. *Revista Brasileira de Saneamento e Ambiental*, v. 22, n. 1, p. 45–60, 2017.

SANTOS, A. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso de água e segurança hídrica em áreas com escassez: alternativas para a sustentabilidade. *Revista Eletrônica de Gestão e Sustentabilidade*, 2020.

SANTOS, J. R.; MOTA, C. R. Membrane bioreactor performance and applications in Brazil: advances and limitations. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 2, p. 329–340, 2020.

SCHUMACHER, E. F. *Small is beautiful: economics as if people mattered*. London: Blond & Briggs, 1973.

SHIKLOMANOV, I. A. Appraisal and assessment of world water resources. *Water International*, v. 25, n. 1, p. 11–32, 2000.

SHON, H. K.; VIGNESWARAN, S.; SNYDER, S. A. Effluent organic matter (EfOM) in wastewater: constituents, effects, and treatment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 36, n. 4, p. 327–374, 2006.

SILVA, L.; OLIVEIRA, M. Inovação em saneamento: análise da ETE CAGIF no contexto hospitalar. *Revista Brasileira de Saneamento*, v. 12, n. 3, p. 45–56, 2021.

SILVA, L. C. et al. Crescimento de microalgas em diferentes condições de tratamento terciário de efluente secundário. *Environmental Science & Technology Innovation*, v. 1, n. 1, 2022.

SILVA, M. I. et al. Assessment of groundwater quality in a Brazilian semiarid basin using an integration of GIS, water quality index and multivariate statistical techniques. *Journal of Hydrology*, 2021.

SOUZA, M. A. A.; FORSTER, C. F. Metodologias para seleção de processos de tratamento de águas residuárias. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, p. 19–31, abr./jun. 1996.

SOUZA, M. A. A. de; CORDEIRO NETTO, O. M.; CARNEIRO, G. A.; LOPES JUNIOR, R. P. Análise tecnológica de alternativas para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: resultados da avaliação multiobjetivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES, 21., 2001, João Pessoa. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

SOUZA, J. B. et al. Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 33, n. 2, p. 117–126, 2012.

SOUZA, M. A. A. Contribuições para o capítulo de reúso de água no Distrito Federal organizado pelos comitês de bacia hidrográfica do Distrito Federal, 2022.

SILVA, A. N. S.; SOUZA, M. A. A. Verificação dos efeitos do reúso paisagístico no cultivo de *Dahlia pinnata*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. *Anais*. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. v. 1. p. 1–20.

SILVA, A. N. S.; SOUZA, M. A. A. Aspectos metodológicos em uma investigação sobre irrigação paisagística no Distrito Federal. In: SIMPÓSIO DE

RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 3., 2004, Goiânia, GO. *Anais. ABRH* – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2004. v. 1.

SILVA E SILVA, A. N.; SOUZA, M. A. A. Aspectos metodológicos em uma investigação sobre irrigação paisagística no Distrito Federal. *In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 3., 2004, Goiânia, GO. Anais. ABRH* – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2004. v. 1. p. 1–13.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. New York: McGraw-Hill, 2003.

TCHOBANOGLIOUS, G. et al. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. New York: McGraw-Hill, 2013.

TELLES, R. et al. *Reúso de água no Brasil: avanços e desafios*. São Paulo: Editora Água Pura, 2018.

TORTAJADA, C.; JOSHI, Y. K.; BISWAS, A. K. *The Singapore water story: sustainable development in an urban city-state*. London: Routledge, 2013.

TOSETTO, M. S. *Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de reúso urbano*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Campinas, 2005.

TOZE, S. Reuse of effluent water – benefits and risks. *Agricultural Water Management*, 2006.

TUCCI, C. E. M. *Gestão de recursos hídricos*. Porto Alegre: ABRH, 2002.

TUCCI, C. E. M. *Gestão de recursos hídricos no Brasil*. Porto Alegre: ABRH, 2004.

TUNDISI, J. G. *Recursos hídricos no século XXI*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Governança e gestão de bacias hidrográficas no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência, 2020.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. *Guidance manual: alternative disinfectants and oxidants*. Washington, D.C.: USEPA, 1999. **Report n. 815-R-99-014**.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. *Potable reuse compendium 2017*. Washington, D.C.: EPA, 2017.

VIANNA, R. P.; SOUZA, M. A. A. Avaliação dos efeitos do reúso de água em irrigação ornamental no Distrito Federal, Brasil. In: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Este. *Anais [...]*. Punta del Este: AIDIS, 2006.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

ZHUANG, W. Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 23, p. 12867–12879, 2016.

WILLOUGHBY, K. W. *Technology choice: a critique of the appropriate technology movement*. London: Intermediate Technology Publications, 1990.

WHITTON, R. et al. Microalgae for municipal wastewater nutrient remediation: mechanisms, reactors and outlook for tertiary treatment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 45, n. 13, p. 1321–1358, 2015.

WOLF, P. Auswahl-und Bewertungskriterien für kleine Kläranlagen. *Abwassertechnik*, v. 38, n. 2, p. 5–7, 1987.

APÊNDICE A – Oficina Socioambiental sobre reúso de água na agricultura no assentamento rural Maranatha (Questionário e Resultados)

Em janeiro de 2024, no intuito de conhecer a receptividade dos produtores do assentamento rural Maranatha em relação à possibilidade de reúso de água na agricultura, foi realizada uma oficina socioambiental com os produtores rurais da APRPM.

O contato com a comunidade foi viabilizado pelo Sr. Jailson, presidente da associação e membro atuante da comunidade há mais de 20 anos. Com vasta experiência em atividades comunitárias e participação em conselhos, o Sr. Jailson

trabalha conjuntamente com a EMATER e desenvolve ações de campo em parceria com a Administração Regional de Brazlândia.

Em 27 de janeiro de 2024, foi realizada a oficina socioambiental sobre reúso de água na agricultura no assentamento rural Maranatha. A atividade foi amplamente divulgada pela APRPM e foi realizada na chácara do produtor Damião, das 8h30 às 11h30, com a participação de 50 pessoas, contando com produtores rurais, gestores públicos e membros da comunidade.

Figura 41 - Atores institucionais presentes na oficina socioambiental de reúso de água na agricultura no assentamento rural Maranatha.



Na oportunidade foram realizadas apresentações técnicas promovidas pelas instituições participantes do evento (Figura 41), também aconteceram rodas de conversa, aplicação de questionário e confraternização.

Ao colocar em pauta os investimentos da CAESB na modernização da ETE Brazlândia, o representante da CAESB apresentou os aspectos positivos do

empreendimento para o meio ambiente, saneamento e recursos hídricos, especialmente em relação ao reúso de água na agricultura e seus benefícios associados com a produtividade e a recarga de aquíferos no lago do Descoberto.

Na oportunidade, houve nivelamento de informações e contextualização dos produtores rurais do Maranhá sobre o potencial de integração da comunidade com a nova disponibilidade hídrica de 75 L/s em água de reúso a ser produzida pela ETE Brazlândia modernizada.

Figura 42 - Oficina socioambiental sobre reúso de água na agricultura no assentamento rural Maranhá.



Entre os participantes estavam representantes da ADASA, IBRAM, CAESB, EMATER e da Vice-Governadoria, cujas apresentações técnicas forneceram informações relevantes sobre o reúso de água na agricultura, e sobre o estágio atual

de desenvolvimento da regulamentação dessa atividade no Distrito Federal, atualmente em curso na ADASA.

A APRPM representa os interesses dos produtores e moradores do assentamento rural Maranhá, participando de políticas públicas e projetos socioambientais, principalmente nas proximidades da ETE Brazlândia.

Os dados obtidos com o questionário ajudaram a construir a percepção sobre o interesse da comunidade na implantação do reúso de água na agricultura para as propriedades do assentamento rural Maranhá em Brazlândia-DF. Durante a oficina,

foi prestado apoio técnico aos produtores rurais para preencher corretamente o questionário da pesquisa.

Questionário aplicado aos produtores rurais da APRPM:

24/01/2024, 08:47

Cadastro de produtores rurais de Brazlândia-DF e questionário sobre reúso de água e fertilizantes na agricultura (ProfÁgua/

Cadastro de produtores rurais de Brazlândia-DF e questionário sobre reúso de água e fertilizantes na agricultura (ProfÁgua/CAESB)

rodolfosbrito@gmail.com [Alternar conta](#)



Não compartilhado

Pesquisa ProfÁgua/UnB/Caesb - Reúso de água na agricultura em Brazlândia-DF

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Confirmando ter sido convidado a participar de oficina socioambiental promovida pelo programa ProfÁgua juntamente com a CAESB sobre o tema "Reúso de Água na Agricultura" cujos objetivos e justificativas são: 1) Aplicação das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia na agricultura; 2) Despoluição do Rio Verde em Goiás; 3) Recarga de aquíferos e segurança hídrica no sistema produtor de água do Descoberto. 4) Impactos e benefícios da outorga de lançamento de efluentes da ETE Brazlândia 5) Estudos sobre implantação de unidade de gerenciamento de lodo (UGL) na ETE Brazlândia. 6) Regularização fundiária rural e segurança hídrica

A oficina socioambiental ocorrerá em janeiro de 2024 em formato presencial, terá 02 (duas) horas de duração e será realizada em Brazlândia-DF, contando com a participação de representantes da CAESB, EMATER, GDF e Associação de Produtores Rurais do Projeto Maranatha. A oficina socioambiental terá três atividades:

1)Apresentações técnicas da Caesb e EMATER sobre reúso de água na agricultura. (1h – três apresentações de 20 minutos – CAESB/EMATER/ADASA)

2)Orientações, cadastramento e aplicação de questionário sobre reúso de água na agricultura para pesquisa científica do programa ProfÁgua/UnB/CAESB. (15 minutos).

3)Lanche de confraternização e integração dos participantes.

Estou ciente de que minha privacidade será respeitada, ou seja, meu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, me identificar, será mantido em sigilo. Fui informado de que posso me recusar a participar do estudo, ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar. Foi esclarecido que também poderei participar do

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScuwiqMYcse1iHbPWC05Jp5hraShbwAlMn4U0NP2P630UL_A/formResponse

1/10

24/01/2024, 08:47 Cadastro de produtores rurais de Brasília-DF e questionário sobre reúso de água e fertilizantes na agricultura (ProfÁgua/...

cadastramento e pesquisa por meio de preenchimento de formulário físico. Estou ciente de que o cadastramento realizado será utilizado para o desenvolvimento dos trabalhos da Caesb e da EMATER para promover o reúso de água na agricultura e a segurança hídrica no Distrito Federal. O pesquisador responsável pelos trabalhos é o analista Rodolfo Siqueira de Brito do ProfÁgua/CAESB com quem poderei manter contato para obter eventuais esclarecimentos e informações sobre a pesquisa. É assegurada a assistência durante toda pesquisa, bem como me é garantido o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que eu queira saber antes, durante e depois da minha participação. Enfim, tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do já referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação. Em caso de reclamação ou qualquer tipo de denúncia sobre este estudo devo ligar para Rodolfo Siqueira de Brito (61 99192-6852) ou mandar um e-mail para rodolfobrito@caesb.df.gov.br.

Marcar se estiver de acordo com o termo de consentimento livre e esclarecido para a presente pesquisa

☐ De acordo com o termo de consentimento livre e esclarecido

Nome do produtor rural

Sua resposta

CPF do produtor rural

Sua resposta

Telefone do produtor rural

Sua resposta

24/11/2004, 06:47

Cadastro de produtores rurais do Brasil/Indic-DF e questionário sobre reúso de água e fertilizantes na agricultura (ProfAgua)...

E-mail do produtor rural

Sua resposta

Nº EMATER-DF

Sua resposta

Nome da propriedade rural

Sua resposta

Endereço da propriedade rural

Sua resposta

Quantas pessoas residem na propriedade rural?

Sua resposta

Área total da propriedade rural em hectares(ha)

Sua resposta



24/9/2024, 08:47

Cadastro de produtores rurais do Brasilândia-DF e questionário sobre reúso de água e fertilizantes na agricultura (Prof. Aguiar)...

Área produtiva da propriedade rural em hectares(ha)

Sua resposta

Quais são as fontes de água utilizadas na sua propriedade rural?

- ☐ Poço profundo
- ☐ Captação de água superficial em corpos hídricos (ribelões, rios, lagos e barragens)
- ☐ Captação e armazenamento de águas pluviais (Uso das águas das chuvas)
- ☐ Abastecimento de água coletivo independente (condomínios, associações e grupos de moradores)
- ☐ CAESB
- ☐ Outro:

Atualmente, como funciona o esgotamento sanitário da sua propriedade rural?

- ☐ Tubos coletam e lançam esgotos domésticos em fossa séptica e sumidouro
- ☐ Tubos coletam e lançam esgotos domésticos em cultivo agrícola, paisagismo ou recuperação de área degradada
- ☐ Tubos coletam e lançam os esgotos domésticos em buracos na terra batida (fossa negra)
- ☐ Tubos coletam e lançam os esgotos domésticos a céu aberto
- ☐ Não existe coleta e esgotos são lançados em fossas negras

Qual o seu interesse pelo assunto "reúso de água para irrigação na agricultura"?

- ☐ Alto
- ☐ Médio
- ☐ Baixo
- ☐ Nenhum

Qual o seu interesse em utilizar a água de reúso da CAESB para irrigar seu cultivo agrícola?

- ☐ Alto
- ☐ Médio
- ☐ Baixo
- ☐ Nenhum

Quais as atividades econômicas em funcionamento na propriedade rural?

	Atividades
Agricultura	<input type="checkbox"/>
Pecuária	<input type="checkbox"/>
Turismo rural	<input type="checkbox"/>
Terapia e saúde	<input type="checkbox"/>
Educação	<input type="checkbox"/>
Aquicultura	<input type="checkbox"/>

153

Como é a divisão do consumo de água na sua propriedade? **(A soma das escolhas deve ser 100%)**

	Abastecimento humano	Irrigação	Dessedentação de animais	Agroindústria	Outros usos
20%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
50%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
60%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
80%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
100%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Qual o consumo de água total da sua propriedade?
(Se não souber, tudo bem)

Sua resposta

Qual parte desse consumo vai para a irrigação na agricultura?
(Se não souber, tudo bem)

Sua resposta

Quais usos você daria para a água de reúso a ser produzida pela ETE Brazilândia após as obras de melhorias no tratamento da estação?

- ☐ Irrigação na agricultura
- ☐ Paisagismo
- ☐ Lavagens e limpeza
- ☐ Piscicultura
- ☐ Compostagem
- ☐ Agroindústria
- ☐ Recuperação de área degradada

Qual vazão de água de reúso você gostaria de receber da CAESB para irrigar a sua produção agrícola?

- ☐ até 1 Litro por segundo (área produtiva de até 1 hectare)
- ☐ de 1 a 3 Litros por segundo (área produtiva entre 1 e 3 hectares)
- ☐ de 3 a 5 Litros por segundo (área produtiva entre 3 e 5 hectares)
- ☐ acima de 5 Litro por segundo (área produtiva acima de 5 hectares)

Qual tipo de irrigação é utilizado atualmente na sua produção agrícola?

- ☐ Superficial (inundação e sulcos)
- ☐ Subterrânea (tubos gotejadores enterrados)
- ☐ Aspersão (convencional e pivô central)
- ☐ Localizada (microaspersão e gotejamento)



24/11/2024, 06:47

Cadastro de produtores rurais do Brasilândia-DF e questionário sobre reúso de água e fertilizantes na agricultura (ProfªGuar...)

Qual o seu interesse em utilizar os fertilizantes produzidos pela CAESB na adubação do seu cultivo agrícola?

- ☐ Alto
- ☐ Médio
- ☐ Baixo
- ☐ Nenhum

Atualmente, como você realiza a adubação do seu cultivo agrícola?

- ☐ Compro fertilizantes no mercado
- ☐ Produzo fertilizantes com compostagem
- ☐ Recebo fertilizantes do SLU
- ☐ Recebo fertilizantes do SLU e compro fertilizantes no mercado
- ☐ Recebo fertilizantes do SLU e produzo fertilizantes com compostagem

Qual a quantidade de fertilizantes produzidos pela CAESB você gostaria de utilizar na sua produção agrícola?

- ☐ até 1.000 Kg/mês
- ☐ de 1.000 Kg/mês a 2.000 Kg/mês
- ☐ de 2.000 Kg/mês a 5.000 Kg/mês
- ☐ acima de 5.000 Kg/mês

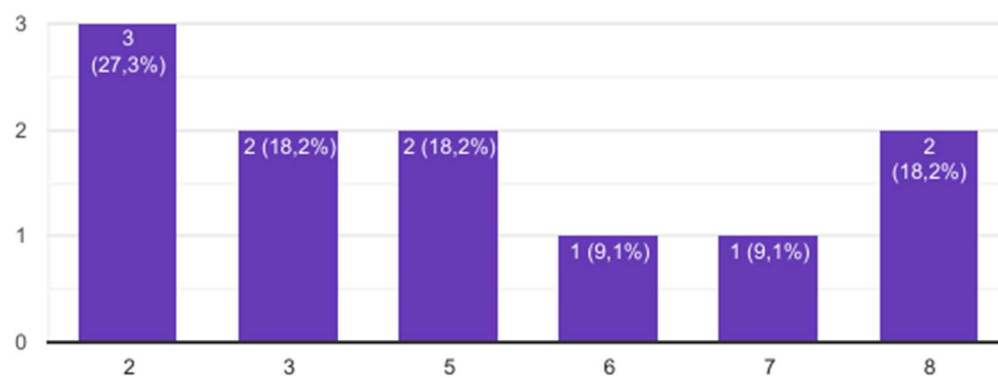


Resultados do questionário da oficina socioambiental

Quantas pessoas residem na propriedade rural?

 Copiar

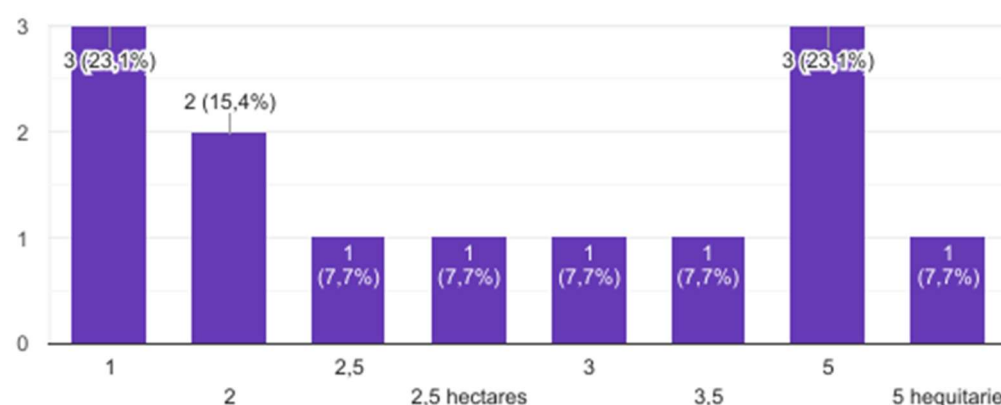
11 respostas



Área total da propriedade rural em hectares(ha)

 Copiar

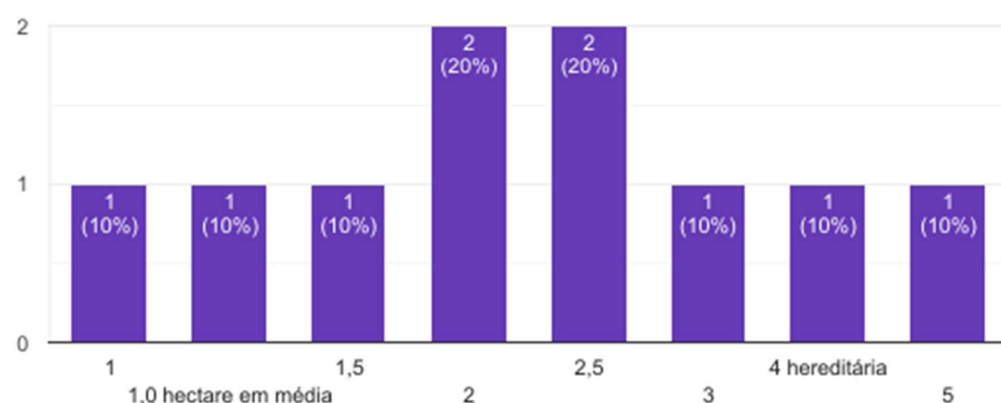
13 respostas



Área produtiva da propriedade rural em hectares(ha)

 Copiar

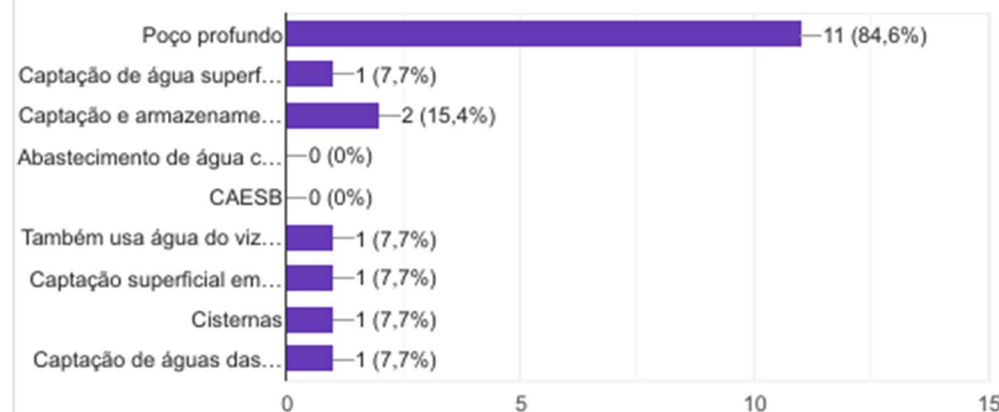
10 respostas



Quais são as fontes de água utilizadas na sua propriedade rural?

 Copiar

13 respostas



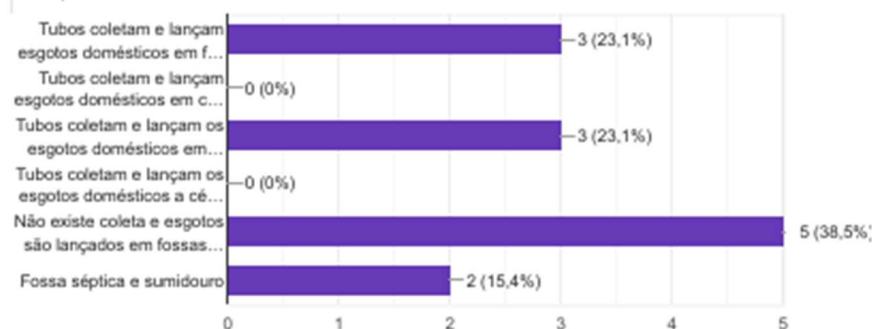
11/03/2025, 09:22

Cadastro de produtores rurais de Brazlândia - DF e questionário sobre reúso de água na agricultura (ProfÁgua/CAESE)

Atualmente, como funciona o esgotamento sanitário da sua propriedade rural?

 Copiar

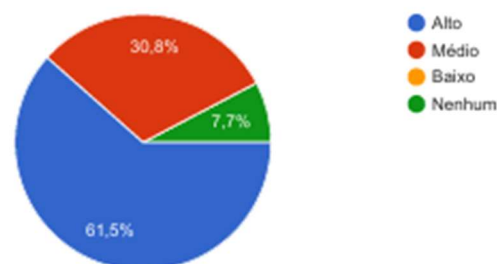
13 respostas



Qual o seu interesse pelo assunto "reúso de água para irrigação na agricultura"?

 Copiar

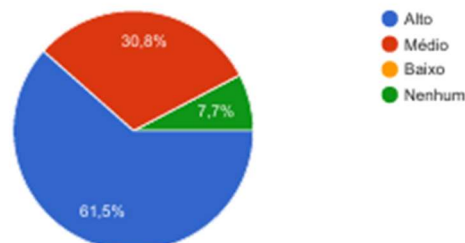
13 respostas



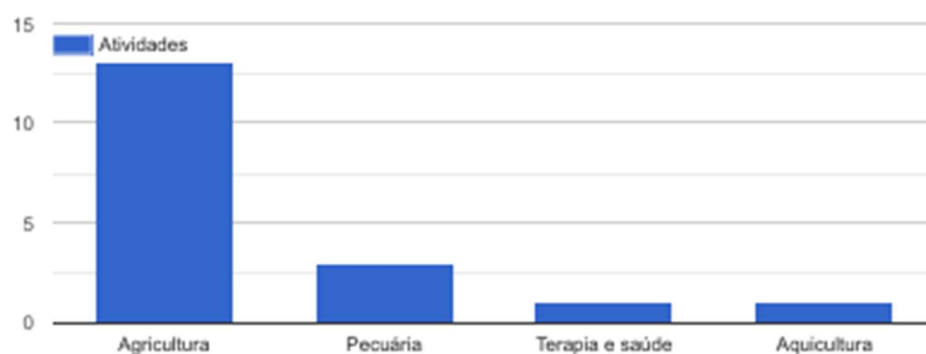
Qual o seu interesse em utilizar a água de reúso da CAESB para irrigar seu cultivo agrícola?

 Copiar

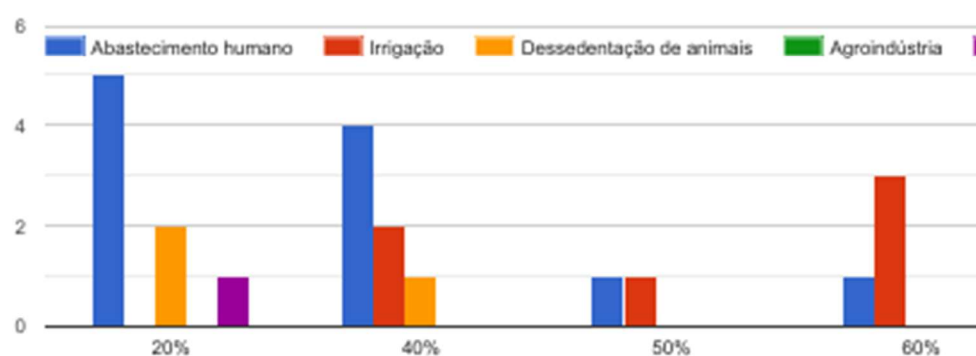
13 respostas



Quais as atividades econômicas em funcionamento na propriedade rural?



Como é a divisão do consumo de água na sua propriedade? **(A soma das escolhas deve ser 100%)**



APÊNDICE B – Tabela (SAATY, 1980) de valores de importância entre critérios de avaliação dois a dois

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Saaty (1991)

APÊNDICE C

Cenário interno – Objetivo específico 2

Comparação entre critérios de avaliação realizada por “analista decisor” CAESB - Operação

Comparação entre critérios dois a dois para método AHP com intensidades de importância de SAATY (1 a 9)				
Exemplo				
Critérios para escolha de um chocolate para consumo		Primeiro critério	Segundo critério	
		Sabor	Peso	
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		3	1	
		Sabor	Marca	
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		7	1	
Critérios operacionais para escolha de tratamento terciário da ETE Brasília		Primeiro critério	Segundo critério	
1	EO1	Remoção de nutrientes	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	EO2
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		9	1	
2	EO1	Remoção de nutrientes	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	EO3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		9	1	
3	EO1	Remoção de nutrientes	Cultura de operação e manutenção da tecnologia na CAESB	EO4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		7	1	
4	EO1	Remoção de nutrientes	Mão-de-obra necessária	EO5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		9	1	
5	EO1	Remoção de nutrientes	Custo de implantação	EO6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		9	1	
6	EO1	Remoção de nutrientes	Custo de operação e manutenção	EO7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		9	1	
7	EO1	Remoção de nutrientes	Volume de biossólidos produzidos	EO8
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		7	1	
8	EO1	Remoção de nutrientes	Eficiência global	EO9
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		1	9	
9	EO1	Remoção de nutrientes	Produção de frutíferas	MN1
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
10	EO1	Remoção de nutrientes	Eficiência no uso da Água	R11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
11	EO1	Remoção de nutrientes	Custos de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	R12
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		7	1	
12	EO1	Remoção de nutrientes	Exposição ao público	R13
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
13	EO1	Remoção de nutrientes	Facilidade de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	R14
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
14	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	EO3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		1	1	
15	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Cultura de operação e manutenção da tecnologia na CAESB	EO4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
16	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Mão-de-obra necessária	EO5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		7	1	
17	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Custo de implantação	EO6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		7	1	
18	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Custo de operação e manutenção	EO7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
19	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Volume de biossólidos produzidos	EO8
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
20	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Eficiência global	EO9
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		1	7	
21	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Produção de frutíferas	MN1
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
22	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Eficiência no uso da água	R11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
23	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Custos de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	R12
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
24	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Exposição ao público	R13
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		1	5	
25	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Facilidade de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	R14
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
26	EO3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Cultura de operação e manutenção da tecnologia na CAESB	EO4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
27	EO3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Mão-de-obra necessária	EO5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		7	1	
28	EO3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Custo de implantação	EO6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	
29	EO3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Custo de operação e manutenção	EO7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		5	1	

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é um método para auxiliar as pessoas na tomada de decisões complexas, ajudando a determinar qual a decisão correta e também a justificar a escolha. É baseado em matemática e psicologia e foi desenvolvido na década de 1970, pelo Prof. Thomas Saaty, na escola Wharton da Universidade da Pensilvânia. O método considera que a mente humana tem extrema dificuldade em comparar mais de dois critérios, desta forma, a comparação dos critérios dois a dois avaliando suas importâncias entre si subsidia cálculos matemáticos que hierarquizam e criam pesos para os critérios adotados pelo tomador de decisão.

Obs: Sempre o critério com a menor importância recebe o valor 1, enquanto o de maior importância recebe os valores de 1 a 9 conforme a tabela de SAATY.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Saaty (1991)

Cenário interno – Objetivo específico 2

Comparação entre critérios de avaliação realizada por “analista decisor” Meio Ambiente

Comparação entre critérios dois a dois para método AHP com intensidades de importância de SAATY (1 a 9)			
Exemplo			
Critérios para escolha de um candidato para conselheiro	Primeiro critério	Segundo critério	
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	Sabor	Preço	
	3	1	
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	Sabor	Matéria	
	7	1	
Critérios de avaliação para seleção de configuração na ETE Brasileira	Primeiro critério	Segundo critério	Critérios de avaliação para seleção de configuração na ETE Brasileira
ED1	Remoção de nutrientes	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	ED3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED2	Remoção de nutrientes	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	ED3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED1	Remoção de nutrientes	Cultura de operação e manutenção de tecnologia na CAESB	ED4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	1	
ED1	Remoção de nutrientes	Mão-de-obra necessária	ED5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED1	Remoção de nutrientes	Custo de implantação	ED6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED1	Remoção de nutrientes	Custo de operação e manutenção	ED7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	7	
ED1	Remoção de nutrientes	Volume de biossólidos produzidos	ED8
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED1	Remoção de nutrientes	Eficiência global	ED9
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED1	Remoção de nutrientes	Produção de biogás	ED11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED1	Remoção de nutrientes	Eficiência no uso de água	ED11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED1	Remoção de nutrientes	Custos de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	ED2
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED1	Remoção de nutrientes	Exposição ao público	ED3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED1	Remoção de nutrientes	Facilidade de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	ED4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	ED3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Cultura de operação e manutenção de tecnologia na CAESB	ED4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Mão-de-obra necessária	ED5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Custo de implantação	ED6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Custo de operação e manutenção	ED7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Volume de biossólidos produzidos	ED8
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Eficiência global	ED9
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Produção de biogás	ED11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Eficiência no uso de água	ED11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Custos de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	ED2
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Exposição ao público	ED3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Facilidade de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	ED4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Cultura de operação e manutenção de tecnologia na CAESB	ED4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Mão-de-obra necessária	ED5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Custo de implantação	ED6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	7	1	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Custo de operação e manutenção	ED7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Volume de biossólidos produzidos	ED8
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	7	1	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Eficiência global	ED9
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Produção de biogás	ED11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Eficiência no uso de água	ED11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Custos de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	ED2
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Exposição ao público	ED3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	5	
ED3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Facilidade de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	ED4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	5	1	

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é um método para auxiliar as pessoas na tomada de decisões complexas, ajudando a determinar qual a decisão correta e também a justificar a escolha. É baseado em matemática e psicologia e foi desenvolvido na década de 1970 pelo Prof. Thomas Saaty, na escola Wharton da Universidade da Pensilvânia. O método considera que a mente humana tem extrema dificuldade em comparar mais de dois critérios, dessa forma, a comparação dos critérios dois a dois avaliando suas importâncias entre si subdivide cálculos matemáticos que hierarquizam e criam pesos para os critérios utilizados pelo tomador de decisão.

Obs: Sempre o critério com a menor importância recebe o valor 1, enquanto o de maior importância recebe os valores de **1 a 9** conforme a tabela de SAATY.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A superlândia e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A superlândia e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero		Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, é melhor para completar a matriz.

Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Saaty (1991)

Cenário interno – Objetivo específico 2

Comparação entre critérios de avaliação realizada por “analista decisor” Projeto

Comparação entre critérios dois a dois para método AHP com intensidades de importância de SAATY (1 a 9)				
Exemplo				
Critérios para escolha de um chocolate para consumo		Primeiro critério	Segundo critério	
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		Sabor	Preço	3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério		Sabor	Marca	7
Critérios operacionais para escolha de tratamento terciário da ETE Brasília		Primeiro critério	Segundo critério	
1	EO1	Remoção de nutrientes	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	EO2
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				9
2	EO1	Remoção de nutrientes	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	EO3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				9
3	EO1	Remoção de nutrientes	Cultura de operação e manutenção da tecnologia na CAESB	EO4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				7
4	EO1	Remoção de nutrientes	Mão-de-obra necessária	EO5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				9
5	EO1	Remoção de nutrientes	Custo de implantação	EO6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				9
6	EO1	Remoção de nutrientes	Custo de operação e manutenção	EO7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				9
7	EO1	Remoção de nutrientes	Volume de biossólidos produzidos	EO8
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				7
8	EO1	Remoção de nutrientes	Eficiência global	EO9
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				1
9	EO1	Remoção de nutrientes	Produção de frutíferas	MN1
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
10	EO1	Remoção de nutrientes	Eficiência no uso de água	R11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
11	EO1	Remoção de nutrientes	Custos de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	R12
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				7
12	EO1	Remoção de nutrientes	Exposição ao público	R13
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
13	EO1	Remoção de nutrientes	Facilidade de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	R14
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
14	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	EO3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				1
15	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Cultura de operação e manutenção da tecnologia na CAESB	EO4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
16	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Mão-de-obra necessária	EO5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				7
17	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Custo de implantação	EO6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				7
18	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Custo de operação e manutenção	EO7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
19	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Volume de biossólidos produzidos	EO8
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
20	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Eficiência global	EO9
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				1
21	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Produção de frutíferas	MN1
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
22	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Eficiência no uso de água	R11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
23	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Custos de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	R12
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
24	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Exposição ao público	R13
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				1
25	EO2	Infraestruturas que necessitam manutenção preventiva e corretiva	Facilidade de instalação, operação e manutenção do sistema de irrigação	R14
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
26	EO3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Cultura de operação e manutenção da tecnologia na CAESB	EO4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
27	EO3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Mão-de-obra necessária	EO5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				7
28	EO3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Custo de implantação	EO6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5
29	EO3	Dependência de fornecedores para viabilizar funcionamento	Custo de operação e manutenção	EO7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério				5

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é um método para auxiliar as pessoas na tomada de decisões complexas, ajudando a determinar qual a decisão correta e também a justificar a escolha. É baseado em matemática e psicologia e foi desenvolvido na década de 1970 pelo Prof. Thomas Saaty, na escola Wharton da Universidade da Pensilvânia. O método considera que a mente humana tem extrema dificuldade em comparar mais de dois critérios, dessa forma, a comparação dos critérios dois a dois avaliando suas importâncias entre si, subdivide cálculos matemáticos que hierarquizam e criam pesos para os critérios adotados pelo tomador de decisão.

Obs: Sempre o critério com a menor importância recebe o valor 1, enquanto o de maior importância recebe os valores de 1 a 9 conforme a tabela de SAATY.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominância de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Saaty (1991)

APÊNDICE D

Cenário externo – Objetivo específico 1

Comparação entre critérios de avaliação realizada por “analista” UnB

Comparação entre critérios dois a dois com intensidades de importância de acordo com tabela SAATY				
Exemplo				
	Critérios para escolha de um chocolate para consumo	Primeiro critério	Segundo critério	
		Sabor	Preço	
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	1	
		Sabor	Marca	
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	7	1	
	Critérios PESTEL para destinação mais apropriada para reuso de água em Brasília-DF	Primeiro critério	Segundo critério	
1	PP1	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PP2	
2	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reuso de água	PE3	
3	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reuso de água	PE4	
4	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reuso de água	PS5	
5	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reuso de água	PS6	
6	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reuso de água	PT7	
7	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reuso de água	PT8	
8	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reuso de água	PA9	
9	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reuso de água	PA10	
10	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reuso de água	PL11	
11	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reuso de água	PL12	
12	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PE3	
13	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PE4	
14	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PS5	
15	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PS6	
16	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PT7	
17	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PT8	
18	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PA9	
19	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PA10	
20	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PL11	
21	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reuso de água	PL12	
22	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de efluentes da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reuso de água	PE4	
23	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de efluentes da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reuso de água	PS5	
24	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de efluentes da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reuso de água	PS6	
25	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de efluentes da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reuso de água	PT7	
26	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de efluentes da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reuso de água	PT8	

Obs: Sempre o critério com a menor importância recebe o valor 1, enquanto o de maior importância recebe os valores de 1 a 9 conforme a tabela de SAATY.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra: sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes das escalas	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Saaty (1991)

[illegible]

Cenário externo – Objetivo específico 1

Comparação entre critérios de avaliação realizada por “analista” CAESB

Comparação entre critérios dois a dois para método AHP com intensidades de importância de SAATY				
Exemplo				
Critérios para escolha de um chocolate para consumo	Primeiro critério	Segundo critério		
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	1		
	Sabor	Marca		
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	7	1		

Obs: Sempre o critério com a menor importância recebe o valor 1, enquanto o de maior importância recebe os valores de 1 a 9 conforme a tabela de SAATY.

Critérios PESTEL para destinação mata apropriada para reúso de água em Brasília-DF	Primeiro critério de avaliação	Segundo critério de avaliação	Critérios PESTEL para destinação mata apropriada para reúso de água em Brasília-DF
1	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PP2
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brasília-DF	1
2	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PE3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	Custos de operação e manutenção	1
3	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PE4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação à rejeição e repulsa causada pela água de reúso, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	3
4	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PS5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação à educação, consciência e interesse da comunidade rural de Brasília-DF em fazer reúso de água, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	3
5	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PS6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação ao desempenho das tecnologias de tratamento para o reúso de água, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	3
6	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PT7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação ao uso das tecnologias de tratamento como fator de marketing, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	3
7	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PT8
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	Em relação aos riscos à saúde e contaminações ambientais, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	1
8	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PA9
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação ao aumento de segurança hídrica do Distrito Federal, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	7
9	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PA10
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação à regulamentação existente de reúso de água, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	3
10	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PL11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação ao planejamento e regularização do território, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	3
11	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PL12
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	3
12	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PE3
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	Custos de operação e manutenção	1
13	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PE4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação à rejeição e repulsa causada pela água de reúso, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	3
14	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PS5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação à educação, consciência e interesse da comunidade rural de Brasília-DF em fazer reúso de água, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	3
15	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PS6
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação ao desempenho das tecnologias de tratamento para o reúso de água, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	3
16	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PT7
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação ao uso das tecnologias de tratamento como fator de marketing, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	3
17	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PT8
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação aos riscos à saúde e contaminações ambientais, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	3
18	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PA9
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação ao aumento de segurança hídrica do Distrito Federal, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	7
19	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PA10
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação à regulamentação existente de reúso de água, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	3
20	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PL11
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação ao planejamento e regularização do território, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	3
21	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PL12
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	Custos de operação e manutenção	1
22	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PE4
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	Em relação à rejeição e repulsa causada pela água de reúso, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	3
23	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PS5
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	Em relação à educação, consciência e interesse da comunidade rural de Brasília-DF em fazer reúso de água, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	1
24	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PS6

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Saaty (1991)

[illegible]

Cenário externo – Objetivo específico 1

Comparação entre critérios de avaliação realizada por “analista” ADASA

Comparação entre critérios dois a dois para método AHP com intensidades de importância de SAATY				
Exemplo				
Critérios para escolha de um chocolate para consumo	Primeiro critério	Segundo critério		
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	1		
	Sabor	Marca		
Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	7	1		

Obs: Sempre o critério com a menor importância recebe o valor 1, enquanto o de maior importância recebe os valores de 1 a 9 conforme a tabela de SAATY.

	Critérios PESTEL para destinação mais apropriada para reúso de água em Brasília-DF	Primeiro critério de avaliação	Segundo critério de avaliação	Critérios PESTEL para destinação mais apropriada para reúso de água em Brasília-DF
1	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PP2
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	1	
2	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PE3
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	1	
3	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Custos de operação e manutenção	PE4
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
4	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Em relação à rejeição e repulsa causada pela água de reúso, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PS5
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
5	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Em relação à educação, consciência e interesse da comunidade rural de Brasília-DF em fazer reúso de água, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PS6
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
6	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Em relação ao desempenho das tecnologias de tratamento para o reúso de água, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PT7
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
7	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Em relação ao uso das tecnologias de tratamento como fator de marketing, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PT8
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	1	
8	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Em relação aos riscos à saúde e contaminações ambientais, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PA9
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	7	
9	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Em relação ao aumento de segurança hídrica do Distrito Federal, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PA10
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
10	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Em relação à regulamentação existente de reúso de água, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PL11
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	1	
11	PP1	Em relação ao incentivo a políticas públicas, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	Em relação ao planejamento e regularização do território, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PL12
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
12	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PE3
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	1	
13	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	Custos de operação e manutenção	PE4
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
14	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	Em relação à rejeição e repulsa causada pela água de reúso, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PS5
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	1	
15	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	Em relação à educação, consciência e interesse da comunidade rural de Brasília-DF em fazer reúso de água, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PS6
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
16	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	Em relação ao desempenho das tecnologias de tratamento para o reúso de água, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	PT7
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
17	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	Em relação ao uso das tecnologias de tratamento como fator de marketing, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PT8
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	1	
18	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	Em relação aos riscos à saúde e contaminações ambientais, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PA9
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	7	
19	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	Em relação ao aumento de segurança hídrica do Distrito Federal, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PA10
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
20	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	Em relação à regulamentação existente de reúso de água, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PL11
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
21	PP2	Em relação ao nível de credibilidade do governo perante a comunidade, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água	Em relação ao planejamento e regularização do território, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PL12
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	1	
22	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	Custos de operação e manutenção	PE4
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	1	3	
23	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	Em relação à rejeição e repulsa causada pela água de reúso, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	PS5
	Peso do primeiro critério em relação ao segundo critério	3	1	
24	PE3	Em relação aos investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brasília-DF, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água	Em relação à educação, consciência e interesse da comunidade rural de Brasília-DF em fazer reúso de água, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água	PS6

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Saaty (1991)

[illegible]

APÊNDICE E –

Objetivo específico 1

Questionário virtual para “especialistas” sobre destinação das águas de reúso produzidas pela ETE Brazlândia modernizada

Questionário sobre reúso de água em Brazlândia-DF

Muito obrigado por contribuir com a pesquisa acadêmica do mestrando **Rodolfo Siqueira de Brito**, do mestrado profissional **ProfÁgua** em gestão e regulação de recursos hídricos na Universidade de Brasília (FUP/UnB). O tema da dissertação é:

"Estudo de alternativas de reúso de água com efluentes da estação de tratamento de esgotos de Brazlândia-DF"

O presente questionário visa coletar dados acerca das potenciais destinações das águas de reúso produzidas pela Estação de Tratamento de Esgotos de Brazlândia (ETE Brazlândia) operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), a qual receberá investimentos em 2025 na ordem de R\$ 10.000.000 em novas tecnologias, evoluindo seu nível de tratamento de secundário para terciário.

Este questionário vai subsidiar uma análise **PESTEL** para o reúso de água em Brazlândia-DF, contemplando aspectos relacionados à **Política, Economia, Sociedade, Tecnologia, Ambiental (Environmental)** e **Legislação** associados às **duas potenciais destinações** para o reúso de água em Brazlândia-DF após investimentos da CAESB na ETE Brazlândia:

- **Reúso indireto potável no Rio Descoberto**
- **Reúso direto para agricultura na área rural de Brazlândia-DF**

E-mail *

E-mail válido

Este formulário está coletando e-mails. [Alterar configurações](#)

Política

Em relação ao **incentivo a políticas públicas**, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água

[illegible]

Política

Em relação ao **nível de credibilidade do governo perante a comunidade**, informe a adequação de cada alternativa de reúso de água

[illegible]

Economia

Em relação aos **investimentos no sistema de tratamento de esgotos da ETE Brazlândia**, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água

[illegible]

Economia

Em relação aos **custos de operação e manutenção**, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água

	péssima	ruim	regular	boa	excelente	não sei
Indireto potá...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Direto na agr...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Sociedade

Em relação à **rejeição e repulsa causada pela água de reúso**, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água

[illegible]

Sociedade

Em relação à **educação, consciência e interesse da comunidade rural de Brazlândia-DF em fazer reúso de água**, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água

[illegible]

Legislação



Em relação à **regulamentação existente de reúso de água**, informe a viabilidade de cada alternativa de reúso de água



	péssima	ruim	regular	boa	excelente	não sei
Indireto potá...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Direto na agr...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Legislação

Em relação ao **planejamento e regularização do território**, informe a contribuição de cada alternativa de reúso de água



Grade de múltipla escolha



Linhas

Colunas

1. Indireto potável no Rio Descoberto	X	<input type="radio"/> péssima	X
2. Direto na agricultura para a área rural de ...	X	<input type="radio"/> ruim	X
3. Adicionar linha		<input type="radio"/> regular	X
		<input type="radio"/> boa	X
		<input type="radio"/> excelente	X
		<input type="radio"/> não sei	X
		<input type="radio"/> Adicionar coluna	

APÊNDICE F – Análise dos impactos da modernização da ETE Brazlândia no SES Brazlândia com foco no reúso de água em Brazlândia. Elaborado com dados secundários fornecidos pela CAESB.

Quadro 23 - Análise dos impactos da modernização da ETE Brazlândia no SES Brazlândia com foco no reúso de água em Brazlândia.

INFRAESTRUTURAS, PROCESSOS E ASPECTOS DO SES BRAZLÂNDIA	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE BRAZLÂNDIA (SES BRAZLÂNDIA)			
	ATUAL	MODERNIZADO	PRINCIPAL MODIFICAÇÃO	BENEFÍCIOS E QUESTÕES RELACIONADAS COM A PRINCIPAL MODIFICAÇÃO
REDES COLETORAS DE ESGOTOS EM BRAZLÂNDIA	Operação e manutenção de rede de esgotos capaz de coletar e destinar 45 L/s de esgotos domésticos para a ETE Brazlândia	Expansão nas ligações de esgotos, elevando a capacidade de coleta para 75 L/s de esgotos domésticos a serem destinados para a ETE Brazlândia	Aumento na capacidade de coleta e tratamento de esgotos em Brazlândia com a ampliação da capacidade da ETE Brazlândia de 45 l/s para 75 L/s	Segurança hídrica, produtividade agrícola e gestão territorial. Incremento na capacidade de tratamento da estação em 66%, viabilizando maior proteção sanitária para o lago Descoberto.
TRATAMENTO PRELIMINAR	Realizado por meio de gradeamento localizado a montante da casa de bombas na EEB.BRZ.001.	Construção de etapa de tratamento preliminar com gradeamento por <i>air-lift</i> , calha Parshall para medição de vazão afluente	Desativação do tratamento preliminar atualmente em operação na EEB.BRZ.001, com a construção de um novo tratamento preliminar na área da ETE Brazlândia.	Tratamento mais eficiente na remoção de areia, gorduras e óleos com novo gradeamento e sistema de air-lift. A nova localização do tratamento preliminar vai facilitar a manutenção da estrutura, pois estará localizada dentro da ETE Brazlândia, beneficiando-se dos planos de manutenção associados à estação. Os resultados das manutenções, testes de eficiência, estudos e pesquisas serão facilitados.

TRATAMENTO SECUNDÁRIO	Lagoa Anaeróbia e Lagoa Facultativa	Introdução de reator UASB para com produção, coleta e queima do biogás gerado via Queimador	Melhoria na qualidade do tratamento com remoção de DBO viabilizado por reator UASB a ser construído no local da primeira lagoa anaeróbia a ser descomissionada e aterrada	Maior eficiência na remoção de DBO com baixo custo operacional viabilizando ainda a produção de biogás natural, ou gás metano que poderá ser explorado futuramente na geração de energia elétrica.
TRATAMENTO TERCIÁRIO	Não existe na atual configuração da ETE Brazlândia	MBR ou BNR (pergunta do terceiro objetivo específico)	Nova etapa anteriormente não existente, a estação vai passar a remover nutrientes	Evolução no nível de tratamento da ETE Brazlândia de secundário para terciário viabilizando o reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto e evitando processos de eutrofização no rio Verde.
POLIMENTO FINAL	Não existe na atual configuração da ETE Brazlândia	Introdução da etapa de polimento final através da tecnologia Flotação por Ar Dissolvido (FAD)	A criação e utilização desta etapa permite o envio do nutriente fósforo na água de reúso ou no lodo produzido (desvio FAD)	Redução da turbidez, garantindo maior efetividade na desinfecção ultravioleta. Manobra de enriquecimento de nutrientes vai controlar a retenção ou remoção do fósforo no efluente
INFRAESTRUTURAS, PROCESSOS E ASPECTOS DO SES BRAZLÂNDIA	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE BRAZLÂNDIA (SES BRAZLÂNDIA)			
	ATUAL	MODERNIZADO	PRINCIPAL MODIFICAÇÃO	BENEFÍCIOS E QUESTÕES RELACIONADAS COM A PRINCIPAL MODIFICAÇÃO
DESINFECÇÃO ULTRAVIOLETA	Não existe na atual configuração da ETE Brazlândia	Introdução de etapa final que promove a desinfecção ultravioleta (UV) das águas de reúso	Garantia de segurança sanitária para a destinação das águas de reúso na bacia hidrográfica do rio Descoberto	Eliminação de patógenos e contaminantes viabilizando reúso de água e preservação ambiental no rio Verde
EMISSIONÁRIO DE DESTINAÇÃO	Transporte de efluentes tratados até	Acrescida a funcionalidade de transporte dos efluentes	Vai passar a ter funcionalidade dupla, permitindo a destinação	Infraestrutura vai passar a permitir a transposição das águas de reúso para a

	elevatória por gravidade para bombeamento ao Rio Verde	tratados para reúso de água indireto potável com o lançamento no Rio Descoberto	das águas de reúso para o Rio Verde ou para ser reaproveitada na bacia hidrográfica do Descoberto apenas com o desligamento da elevatória	bacia hidrográfica do rio Maranhão e o reúso indireto potável na bacia hidrográfica do rio Descoberto
ELEVATÓRIA DE ESGOTOS TRATADOS (EET.BRZ.001)	Bombeamento para Rio Verde em Goiás na bacia hidrográfica do rio Verde/ rio Maranhão em Goiás	Bombeamento para o Rio Verde ou desligada quando houver reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto	Quando houver destinação para o reúso de água na bacia hidrográfica do rio Descoberto, será possível economizar energia	Possibilidade de redução significativa nos custos com energia elétrica com economia mensal de aproximadamente R\$ 24.080,00/ mês, quando a água de reúso for destinada no DF.
ELEVATÓRIA DE ESGOTOS BRUTOS (EEB.BRZ.001)	Unidade responsável pelo bombeamento de esgoto bruto e infraestrutura atual de tratamento preliminar com gradeamento	Substituição da linha de recalque entre a elevatória e a ETE Brazlândia com adequações na elevatória. Desativação de gradeamento	Retirada do tratamento preliminar por gradeamento da elevatória, com construção de novo tratamento preliminar na ETE Brazlândia. Qualificação da linha de recalque	A nova linha de recalque vai contribuir para a eficiência energética da elevatória. Melhoria na operação e manutenção do tratamento preliminar, integrando-o com a operação e rotinas de manutenção das demais etapas da ETE Brazlândia.

INFRAESTRUTURAS, PROCESSOS E ASPECTOS DO SES	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE BRAZLÂNDIA (SES BRAZLÂNDIA)			
	ATUAL	MODERNIZADO	PRINCIPAL MODIFICAÇÃO	BENEFÍCIOS E QUESTÕES

BRAZLÂNDIA				RELACIONADAS COM A PRINCIPAL MODIFICAÇÃO
LINHA DE RECALQUE DE ESGOTOS TRATADOS	Operação constante em tempo integral	Será mantida a possibilidade de bombeamento para o rio Verde. O bombeamento poderá ser acionado quando for necessário enviar efluentes tratados a nível terciário para o Rio Verde	A rede terá menos problemas de sujeira e poderá ser interrompida com maior frequência, facilitando programas de manutenção	O envio de efluentes tratados em nível terciário para o rio Verde será considerado um incremento de segurança hídrica e preservação ambiental para a bacia hidrográfica do Rio Maranhão, tendo em vista a excelente qualidade da água exportada
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE EFLUENTES TRATADOS PARA IRRIGAÇÃO	Não existente	Construção de rede de distribuição de águas de reúso com aproximados 4,5 km de rede em PEAD com DN entre 75 mm e 100 mm no assentamento rural Maranatha (PEAD).	Pela primeira vez, a CAESB vai operar uma rede de distribuição de efluentes tratados. Essa implantação vai requerer a implantação de nova política comercial e operacional para esse novo tipo de cliente, inclusive com normas específicas para cavaletes e hidrômetros de irrigação	Distribuição para reúso de água direto restrito na agricultura para áreas rurais de Brazlândia-DF
DESTINAÇÃO DOS EFLUENTES	Efluente tratado a nível secundário e	Efluente tratado a nível terciário Viabilidade de três	Instalação de componentes hidráulicos para viabilizar	Melhoria dos efluentes tratados destinados ao rio Verde e potencial

TRATADOS	bombeado para o rio Verde em Goiás na bacia hidrográfica do Rio Maranhão	destinações, uma na revitalização ambiental do rio Verde, e duas de reúso de água, uma de reúso indireto portátil no rio Descoberto e outra na irrigação de produção agrícola no assentamento rural Maranhath	lançamento no rio Descoberto e destinação para irrigação no assentamento rural Maranhath	criação de duas novas destinações de reúso de água com a possibilidade de reúso indireto potável no Rio Descoberto e reúso direto restrito na agricultura, ambas resultando em incremento na segurança hídrica do Distrito Federal
INFRAESTRUTURAS, PROCESSOS E ASPECTOS DO SES BRAZLÂNDIA	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE BRAZLÂNDIA (SES BRAZLÂNDIA)			
	ATUAL	MODERNIZADO	PRINCIPAL MODIFICAÇÃO	BENEFÍCIOS E QUESTÕES RELACIONADAS COM A PRINCIPAL MODIFICAÇÃO
UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE LODO (UGL)	Atualmente os bio sólidos gerados são destinados para mineralização na ETE Melchior para serem distribuídos na agricultura familiar com apoio da	Unidade de gerenciamento de lodo com mineralização, armazenamento e possibilidade de destinação de bio sólidos para produtores rurais	Construção de UGL para tratamento, estoque e pesquisas sobre a aplicação dos bio sólidos como insumos na produção de fertilizantes organominerais. Viabilização da descentralização no gerenciamento	Tratamento dos bio sólidos na própria ETE Brazlândia, com produção de fertilizantes que poderão ser aplicados no assentamento Maranhath. Economia no transporte de lodos para a ETE Melchior, pois poderão ser tratados e armazenados na própria ETE Brazlândia.

	EMATER-DF			
REÚSO DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DESCOBERTO	Não existe	Indireto potável no rio Descoberto ou direto restrito para irrigação na agricultura no assentamento rural Maranhá	Implantação de tratamento terciário, polimento final e desinfecção ultravioleta. Efluentes tratados em nível terciário com possibilidade de reúso de água	Duas possibilidades de reúso de água garantindo 42 L/s de incremento de segurança hídrica para o DF, economia de energia e aumento na produtividade da agricultura
DESTINAÇÃO DE EFLUENTES TRATADOS PARA O RIO VERDE	Destinação atual com efluentes tratados em nível secundário viabilizado por bombeamento	Destinação de efluentes tratados em nível terciário viabilizado por bombeamento	Mudança no nível de tratamento da estação com remoção de nutrientes, polimento final e desinfecção ultravioleta	Melhorias ambientais na vegetação, flora, fauna e qualidade da água no rio verde. Redução de eutrofização com mais saúde e qualidade de vida na bacia hidrográfica do rio Verde e do rio Maranhão
CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	Gasto de aproximadamente R\$ 24.000,00/mês	Ao implantar o reúso de água na bacia do rio Descoberto, haverá economia de energia na elevatória EET.BRZ.001	Viabilização de destinação dos efluentes tratados para o reúso indireto potável no rio Descoberto ou para reúso direto na agricultura.	Redução na conta de energia elétrica em aproximadamente R\$ 24.000,00/mês
RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE REÚSO (RAR)	Não existe. Atualmente funciona lagoa facultativa que faz parte do tratamento secundário	Implantação de primeiro Reservatório de Água de Reúso da CAESB.	Descomissionamento e adaptação da estrutura da lagoa facultativa para viabilizar armazenamento de água de reúso	Disponibilidade de água de reúso que poderá ser destinada para o reúso indireto potável no rio Descoberto, reúso direto restrito na agricultura e usos diversos em demandas operacionais internas.

APÊNDICE G – Matrizes de comparação de critérios de avaliação elaboradas a partir das importâncias comparativas 2 a 2

OBS: As matrizes de comparação de critérios de avaliação e a matriz normalizada do “analista” CAESB e do “analista decisor” Ambiental estão no capítulo 7.

Matriz de Comparação UnB

	PP1	PP2	PE3	PE4	PS5	PS6	PT7	PT8	PA9	PA10	PL11	PL12
PP1	1	0,2	0,33	1	5	1	1	1	3	7	3	5
PP2	5	1	1	3	3	3	0,33	0,33	0,33	0,2	5	1
PE3	3	1	1	3	3	0,2	5	3	3	3	0,33	1
PE4	1	0,33	0,33	1	1	0,33	5	3	5	3	0,33	1
PS5	0,2	0,33	0,33	1	1	0,2	0,2	0,2	5	0,33	1	0,33
PS6	1	0,33	5	3	5	1	3	0,2	0,2	0,33	0,33	0,33
PT7	1	3	0,2	0,2	5	0,33	1	0,2	5	5	0,2	1
PT8	1	3	0,33	0,33	5	5	5	1	3	3	3	1
PA9	0,33	3	0,33	0,2	0,2	5	0,2	0,33	1	0,2	0,2	0,2
PA10	0,14	5	0,33	0,33	3	3	0,2	0,33	5	1	0,2	0,2
PL11	0,33	0,2	3	3	1	3	5	0,33	5	5	1	1
PL12	0,2	1	1	1	3	3	1	1	5	5	1	1

Matriz de Comparação normalizada UnB com pesos dos critérios

PP1	0,07	0,01	0,03	0,06	0,14	0,04	0,04	0,09	0,07	0,21	0,19	0,38	0,111
PP2	0,35	0,05	0,08	0,18	0,09	0,12	0,01	0,03	0,01	0,01	0,32	0,08	0,110
PE3	0,21	0,05	0,08	0,18	0,09	0,01	0,19	0,27	0,07	0,09	0,02	0,08	0,111
PE4	0,07	0,02	0,03	0,06	0,03	0,01	0,19	0,27	0,12	0,09	0,02	0,08	0,082
PS5	0,01	0,02	0,03	0,06	0,03	0,01	0,01	0,02	0,12	0,01	0,06	0,03	0,033
PS6	0,07	0,02	0,38	0,18	0,14	0,04	0,11	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03	0,085
PT7	0,07	0,16	0,02	0,01	0,14	0,01	0,04	0,02	0,12	0,15	0,01	0,08	0,070
PT8	0,07	0,16	0,03	0,02	0,14	0,20	0,19	0,09	0,07	0,09	0,19	0,08	0,111
PA9	0,02	0,16	0,03	0,01	0,01	0,20	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,044
PA10	0,01	0,27	0,03	0,02	0,09	0,12	0,01	0,03	0,12	0,03	0,01	0,02	0,063
PL11	0,02	0,01	0,23	0,18	0,03	0,12	0,19	0,03	0,12	0,15	0,06	0,08	0,101
PL12	0,01	0,05	0,08	0,06	0,09	0,12	0,04	0,09	0,12	0,15	0,06	0,08	0,079
PP1	0,07	0,01	0,03	0,06	0,14	0,04	0,04	0,09	0,07	0,21	0,19	0,38	0,111
PP2	0,35	0,05	0,08	0,18	0,09	0,12	0,01	0,03	0,01	0,01	0,32	0,08	0,110

Matriz de Comparação ADASA

	PP1	PP2	PE3	PE4	PS5	PS6	PT7	PT8	PA9	PA10	PL11	PL12
PP1	1	5	0,14	0,14	0,2	0,2	0,14	3	0,14	0,14	0,11	5
PP2	0,2	1	0,33	0,2	0,14	3	0,14	3	1	0,14	0,14	7
PE3	7	3	1	1	0,2	0,33	0,33	7	0,2	0,33	0,14	7
PE4	7	5	1	1	0,2	5	1	7	0,2	0,14	0,33	5
PS5	5	7	5	5	1	7	1	9	1	1	3	7
PS6	5	0,33	3	0,2	0,14	1	0,2	1	0,14	0,14	0,2	1
PT7	7	7	3	1	1	5	1	7	1	0,2	1	5
PT8	0,33	0,33	0,14	0,14	0,11	0,2	0,14	1	0,14	0,11	0,14	0,33
PA9	7	1	5	5	1	7	1	7	1	3	3	7
PA10	7	7	3	7	1	7	5	9	0,33	1	3	7
PL11	9	7	7	3	0,33	5	1	7	0,33	0,33	1	9
PL12	0,2	0,14	0,14	0,2	0,14	1	0,2	3	0,14	0,14	0,11	1

Matriz de Comparação normalizada ADASA com pesos dos critérios

PP1	0,02	0,11	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01	0,05	0,03	0,02	0,01	0,08	0,032
PP2	0,00	0,02	0,01	0,01	0,03	0,07	0,01	0,05	0,18	0,02	0,01	0,12	0,045
PE3	0,13	0,07	0,03	0,04	0,04	0,01	0,03	0,11	0,04	0,05	0,01	0,12	0,056
PE4	0,13	0,11	0,03	0,04	0,04	0,12	0,09	0,11	0,04	0,02	0,03	0,08	0,070
PS5	0,09	0,16	0,17	0,21	0,19	0,17	0,09	0,14	0,18	0,15	0,25	0,12	0,160
PS6	0,09	0,01	0,10	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,031
PT7	0,13	0,16	0,10	0,04	0,19	0,12	0,09	0,11	0,18	0,03	0,08	0,08	0,110
PT8	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,011
PA9	0,13	0,02	0,17	0,21	0,19	0,17	0,09	0,11	0,18	0,46	0,25	0,12	0,175
PA10	0,13	0,16	0,10	0,30	0,19	0,17	0,46	0,14	0,06	0,15	0,25	0,12	0,185
PL11	0,16	0,16	0,24	0,13	0,06	0,12	0,09	0,11	0,06	0,05	0,08	0,15	0,118
PL12	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02	0,01	0,02	0,017
PP1	0,02	0,11	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01	0,05	0,03	0,02	0,01	0,08	0,032
PP2	0,00	0,02	0,01	0,01	0,03	0,07	0,01	0,05	0,18	0,02	0,01	0,12	0,045