

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DE FREDERICO WESTPHALEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL - PPGCTA

Daniele Kunde

**FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS NA AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ÁREAS RURAIS**

Frederico Westphalen, RS
2023

Daniele Kunde

**FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS NA AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ÁREAS RURAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental**.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Toebe

Frederico Westphalen, RS

2023

Kunde, Daniele

Ferramentas estatísticas na avaliação de serviços de abastecimento de água em áreas rurais / Daniele Kunde.- 2023.

73 p.; 30 cm

Orientador: Marcos Toebe

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, RS, 2023

1. Serviços de abastecimento de água rural 2. Ferramentas estatísticas I. Toebe, Marcos II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, DANIELE KUNDE, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Daniele Kunde

**FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS NA AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ÁREAS RURAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental**.

Aprovada em 29 de março de 2023:

Marcos Toebe, Dr. (UFSM)

(Presidente/Orientador)

André Carlos Cruz Copetti, Dr. (UNIPAMPA)

Willian Fernando de Borba, Dr. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS

2023

*À Deus,
Ao meu esposo, Henrique
Aos meus pais, Lauri e Rosane
À minha irmã, Mariane*

Dedico este trabalho.

"Jesus respondeu: — Se você conhecesse o dom de Deus e quem é que está lhe pedindo água para beber, você pediria, e ele lhe daria água viva.

Replicou-lhe Jesus: — Quem beber desta água voltará a ter sede, mas aquele que beber da água que Eu lhe der nunca mais terá sede. Pelo contrário, a água que Eu lhe der será nele uma fonte a jorrar para a vida eterna."

João 4:10,13-14

RESUMO

FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS NA AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ÁREAS RURAIS

AUTORA: Daniele Kunde
ORIENTADOR: Marcos Toebe

Uma das pautas das discussões atuais é a falta de saneamento básico em áreas rurais. Posto isto, este estudo tem como objetivo perscrutar vinte referenciais bibliográficos (artigos, dissertações e teses) de diversos países, entre os anos de 2006 a 2022, os quais abordam como linha de pesquisa principal, o abastecimento de água em áreas rurais. Como método de análise de eficiência relativa, utilizou-se o *Data Envelopment Analysis* (DEA). Optou-se por uma metodologia não-paramétrica. Foram elencados *inputs* e *outputs*, distribuídos em três grupos: G_1 , G_2 e G_3 . O abastecimento de água nos grupos G_1 e G_2 apresentou 100% de eficiência, enquanto o grupo G_3 , apontou eficiência de 22%. Para análise estatística descritiva dos dados, utilizou-se o *software* Jamovi, versão 2.3.21.0. Os resultados p Shapiro-Wilk obtidos foram menores que 0,05, os quais demonstraram que os dados não possuem distribuição normal. Após análise estatística dos dados, optou-se pelo teste não-paramétrico de Friedman, o qual o valor p calculado ficou acima de 0,05, indicando que não existem diferenças estatísticas significativas na comparação dos três grupos. Utilizou-se, como post-hoc, o teste de Durbin-Conover e não houve diferença significativa entre eles. Examinando-os, pôde-se constatar que o grupo G_2 demonstrou melhores resultados que os grupos G_1 e G_3 , representando uma melhor eficiência nas comunidades que realizam o pagamento de taxa mensal para manutenção do sistema; que o gerenciamento é feito pela própria comunidade e que existe o tratamento da água efetivo. Desta forma, entende-se por um sistema/solução de abastecimento de água satisfatório, após os resultados obtidos deste estudo, aquele que é gerido pela comunidade com o apoio do governo, que há o pagamento de taxas mensais pela comunidade para cobrir as manutenções e que existe o tratamento de água e orientações técnicas governamentais.

Palavras-chave: Saneamento básico. Análise. Eficiência. Grupos.

ABSTRACT

STATISTICAL TOOLS IN THE EVALUATION OF WATER SUPPLY SERVICES IN RURAL AREAS

AUTHOR: Daniele Kunde

ADVISOR: Marcos Toebe

One of the agendas for current discussions is the lack of basic sanitation in rural areas. This study aims to scrutinize twenty bibliographic references (articles, dissertations and theses) from different countries, between the years 2006 to 2022, which address water supply in rural areas as their main line of research. As a method of analysis of relative efficiency, the Data Envelopment Analysis (DEA) was used. A non-parametric methodology was chosen. Inputs and outputs were listed, divided into three groups: G_1 , G_2 e G_3 . The water supply in groups G_1 and G_2 showed 100% efficiency, while group G_3 showed 22% efficiency. For descriptive statistical analysis of the data, the Jamovi software, version 2.3.21.0, was used. The Shapiro-Wilk p results obtained were less than 0.05, which demonstrated that the data do not have a normal distribution. After statistical data analysis, Friedman's non-parametric test was chosen, in which the calculated p-value was above 0.05, indicating that there are no statistically significant differences when comparing the three groups. The Durbin-Conover test was used as post-hoc and there was no significant difference between them. Examining them, it could be seen that the G_2 group showed better results than the G_1 and G_3 groups, representing better efficiency in communities that pay a monthly fee for system maintenance; that management is done by the community itself and that there is effective water treatment. In this way, a satisfactory water supply system/solution, after the results obtained from this study, is understood to be one that is managed by the community with government support, that the community pays monthly fees to cover maintenance and that there is water treatment and government technical guidelines.

Key words: Basic sanitation. Analysis. Efficiency. Groups.

LISTA DE SIGLAS

BCC	<i>Banker, Charnes and Cooper</i>
CCR	<i>Charnes, Cooper and Rhodes</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	<i>Decision Making Unit</i>
GCA	Gestão Comunitária da Água
<i>Input</i>	Entrada
<i>Output</i>	Saída

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Registro de poço profundo para captação de água, na China.....	18
FIGURA 2 – Uso de sulfato de alumínio para coagular partículas da água.....	19
FIGURA 3 – Elementos essenciais para os sistemas de gestão de saneamento rural.....	27
FIGURA 4 – Aspectos que contribuem para a eficácia das medidas básicas de saneamento no meio rural.....	28
FIGURA 5 – Modelo de gestão comunitária.....	29
FIGURA 6 – Integração dos eixos Educação e Participação Social, Gestão dos Serviços e Tecnologia no Saneamento Rural.....	30
FIGURA 7 – Formas de captação de água para abastecimento coletivo ou individual.....	31
FIGURA 8 – Evolução dos métodos em domicílio, do abastecimento de água em áreas rurais brasileiras.....	33
FIGURA 9 – Evolução do déficit da canalização interna nas residências em áreas rurais brasileiras.....	34
FIGURA 10 – Esquema para configurar a distribuição similar dos serviços de abastecimento de água.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Representação descritiva dos dados.....	61
---	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Doenças relacionadas à água contaminada.....	23
QUADRO 2 – Níveis de acesso à água para promoção da saúde.....	32
QUADRO 3 – Panorama de estudos de cálculo de eficiência, utilizando a técnica DEA, no setor de saneamento.....	37
QUADRO 4 – Referenciais bibliográficos, com respectivos <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Distribuição dos artigos em grupos.....	55
TABELA 2 – <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> elencados.....	55
TABELA 3 – Cálculo de eficiência DEA.....	57
TABELA 4 – Estatística Descritiva dos dados <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	58
TABELA 5 – Estatística Descritiva <i>inputs</i>	59
TABELA 6 – Teste de Friedman para os <i>inputs</i>	59
TABELA 7 – Comparações Múltiplas (Durbin-Conover.....	60
TABELA 8 – Estatística Descritiva <i>outputs</i>	60
TABELA 9 – Teste de Friedman orientado aos <i>outputs</i>	61
TABELA 10 – Comparações Múltiplas (Durbin-Conover).....	62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1.OBJETIVOS.....	16
1.1.1. Objetivo geral.....	16
1.1.2. Objetivo específicos.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. A EVOLUÇÃO DO SANEAMENTO AO LONGO DO TEMPO.....	17
2.2. A REFERÊNCIA DE ESPAÇO RURAL.....	19
2.3. SANEAMENTO BÁSICO NA ÁREA RURAL: ASPECTOS CONCEITUAIS E SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE.....	21
2.3.1. Abastecimento de água rural, Políticas Públicas e os elementos fundamentais para as ações de saneamento rural.....	24
2.3.2. Gestão de técnicas do abastecimento de água pela comunidade rural e níveis de acesso.....	28
2.3.3 Aspectos da evolução do abastecimento de água na área rural.....	33
2.4 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DATA ENVELOPMEN ANALYSIS).....	34
2.4.1 Eficiência: Definição e Fronteira.....	39
2.4.2 DEA com Ganhos de Soma Zero.....	40
2.5 TESTE ESTATÍSTICO DE SHAPIRO-WILK.....	41
2.6 TESTE DE FRIEDMAN.....	43
3.METODOLOGIA.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
5.1 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES.....	65
REFERÊNCIAS.....	66

1. INTRODUÇÃO

Problemas associados à baixa cobertura de abastecimento de água nas áreas rurais incluem sua dispersão geográfica no país, a inviabilidade de implementação e operação do sistema do ponto de vista financeiro, a incapacidade das empresas de abastecimento de retornar lucros e a água como uma ferramenta de troca de votos (ALVES; ARAÚJO, 2016).

De acordo com Wentz e Nishijima (2011), as condições de saneamento em várias cidades foram identificadas como um dos principais problemas enfrentados pelas áreas rurais. O saneamento é importante para proteger a qualidade do meio ambiente nos municípios e é necessário fazer parte das normas ambientais. A insuficiência ou falta de saneamento é sabidamente uma das maiores fontes de poluição e as condições ambientais degradantes são muitas vezes quase irreversíveis.

Nas áreas rurais, as principais fontes de abastecimento de água são poços rasos e nascentes, altamente suscetíveis à contaminação e que colocam em risco a saúde dos cidadãos, pois a falta de controle da qualidade da água pode ser fatal, levando a infecções e intoxicações que podem ser imprevisíveis a curto ou longo prazo (WENTZ; NISHIJIMA, 2011).

Conforme Belonia (2020), a água para consumo humano deve ser inodora, incolor, insípida e isenta de sólidos em suspensão, microrganismos e compostos tóxicos. A ingestão de água contaminada pode acarretar diversos problemas de saúde, pois é um vetor direto e indireto de propagação de diversas doenças. Desta forma é necessário um controle de qualidade frequente e rigoroso.

As percepções pessoais nem sempre se alinham com a realidade. Por falta de informação ou de recursos financeiros, muitos indivíduos bebem água não tratada simplesmente por apresentar características essenciais (incolor, inodora, insípida), ignorando a possível presença de patógenos (BELONIA, 2020).

Os autores Charnes, Cooper e Rhodes (1978), propuseram uma metodologia destinada a fazer uma avaliação justa do ponto de vista matemático que calcula a eficiência relativa das "*Decision Making Unit*" (DMU), por meio de um problema de programação linear. Esse método, chamado de Análise Envoltória de Dados, ou

abreviadamente DEA (*Data Envelopment Analysis*) é adequado quando todas as entradas e saídas para cada DMU estão disponíveis de forma numérica, sendo necessário, primeiramente, determinar quais são esses *inputs* e *outputs*. O modelo desenvolvido pelos autores ganhou fama e leva as suas iniciais - modelo CCR. Em 1984, Banker, Charnes e Cooper propuseram um modelo alternativo conhecido como modelo BCC. O modelo CCR assume rendimentos de escala constantes, enquanto que no modelo BCC os rendimentos de escala são variáveis (KOZYREFF FILHO; MILIONI, 2004).

Além de identificar as unidades eficientes de tomada de decisão (DMU), os modelos DEA permitem a medição e localização de ineficiências e estimam funções de produção linear por partes que fornecem uma linha de base para DMUs ineficientes. O *benchmark* é determinado projetando a DMU ineficiente na fronteira de eficiência. A forma como essa projeção é feita determina a orientação do modelo, podendo ser orientadas a *input* (quando se deseja minimizar recursos, mantendo os valores de resultado constantes) e orientadas a *output* (quando se deseja maximizar a saída sem reduzir a entrada) (GOMES; MELLO; LINS, 2004).

Esta dissertação evidencia o desenvolvimento de medidas de 'eficiência de tomada de decisão', orientadas a *outputs*, com referência particular ao seu possível uso na avaliação de programas públicos, especialmente no abastecimento de água em áreas rurais. Dessa forma, serão expostos uma coleção de unidades de tomada de decisão (DMU) com entradas e saídas comuns (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

Como contribuição na metodologia DEA, realizou-se também a análise estatística descritiva dos dados, o teste não-paramétrico de Friedman e teste post-hoc Durbin-Conover. O presente estudo procurará comparar e identificar a eficiência de vinte (20) abastecimentos de água existentes em diversos países, com base nos insumos e produtos adotados como variáveis de análise.

Além disso, para as unidades ineficientes será possível visualizar quais insumos e/ou produtos podem ser melhorados, levando em conta os estágios alcançados pela unidade de referência, fornecendo subsídios para que os agentes de saneamento avistem maiores níveis de eficiência, em suas unidades produtivas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Adotar uma abordagem multissetorial de eficiência de dados na operação de sistemas/soluções de abastecimento de água em áreas rurais, de diversos países.

1.1.2. Objetivo específicos

- Identificar as estruturas de abastecimento de água em áreas rurais de diferentes países;
- Estabelecer uma abordagem multissetorial de eficiências;
- Caracterizar as soluções sanitárias adotadas pelos moradores das comunidades e poder público;
- Determinar os *inputs* e *outputs* dos dados bibliográficos;
- Estabelecer grupos similares;
- Determinar a eficiência dos dados e o comparativo dos grupos;
- Caracterizar os déficits dos serviços de abastecimento de água na esfera de estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A EVOLUÇÃO DO SANEAMENTO AO LONGO DO TEMPO

O quesito água refere-se a um elemento fundamental na formação e organização das sociedades desde os tempos pré-históricos. Desde tempos imemoriais, civilizações antigas construíram suas formas de organização em torno de bacias hidrográficas e costas marítimas. A água tem sido um elemento vital para todas as culturas onde foi reverenciada e temida. Então foram criados mitos e símbolos para explicar as forças da natureza. Dominar este elemento sempre foi um objetivo a ser alcançado, pois dele dependia a sobrevivência. Com o tempo, foram adquiridas técnicas de irrigação, encanamento, construção de barragens e muito mais (PITERMAN; GRECO, 2005).

De acordo com Brasil (2011), o saneamento segue uma linha de evolução ao longo dos séculos, a saber:

Antiguidade - As primeiras a utilizar o pensamento científico racional no campo das ciências exatas e estabeleceram importantes critérios sanitários na busca da saúde foram as civilizações greco-romanas. As mesmas desenvolveram grandes obras de engenharia sanitária e foram pioneiras na organização político-institucional das ações sanitárias. Alcançaram um alto nível de conhecimento, mas muito se perdeu com as invasões bárbaras, que marcaram o surgimento do feudalismo.

Idade Média - houve uma ruptura radical do homem com o conhecimento a qual provocou um grande agravo à saúde.

Idade Moderna – O que marcou foi a derrubada do antigo sistema e a criação dos Estados Nacionais. O surgimento de uma classe intelectual que apoiou a criação de escolas e o desenvolvimento das ciências naturais. Aprimorou-se o conhecimento da relação entre saneamento e saúde, acarretando ao desenvolvimento científico da saúde pública. Havia semelhança entre a administração de uma cidade medieval com a administração da saúde pública nas cidades renascentistas. Os moradores eram responsáveis pela limpeza das ruas, e

quem causava poluição nos cursos d'água ou nas ruas era punido. Após a Revolução Industrial, o desenvolvimento tecnológico e a industrialização nos países capitalistas possibilitaram a implantação de sistemas de água e esgoto em larga escala.

Época Contemporânea – Por parte da Revolução Francesa, iniciou-se o processo de revisão dos direitos humanos e do conceito de cidadania. Os problemas de saúde foram priorizados, nos países capitalistas, levando ao aumento da expectativa de vida, da natalidade e da diminuição da mortalidade. No entanto, o crescimento populacional e a estratificação social fizeram com que os danos causados pela explosão populacional superassem os esforços para modernizar o saneamento.

De acordo com Silva (2016), na Idade Antiga, as populações procuravam fontes de água. Na China, há registros de poços que chegavam a centenas de metros, conforme Figura 1.

Figura 1 - Registro de poço profundo para captação de água, na China.



Fonte: SILVA (2016)

Na civilização egípcia, há registros do uso de sulfato de alumínio para a coagulação de partículas da água, conforme a Figura 2 (SILVA, 2016).

Figura 2 - Uso de sulfato de alumínio para coagular partículas da água.



Fonte: SILVA (2016)

2.2. A REFERÊNCIA DE ESPAÇO RURAL

O espaço territorial rural é um lugar onde se misturam atividades econômicas, costumes e culturas. Até o século XX, o espaço rural era considerado sinônimo de agricultura ou produção primária, caracterizado por áreas de escassez e carência de recursos. Esse cenário contrastava com o da cidade, que era associada ao desenvolvimento, ao progresso e a uma melhor qualidade de vida. Era uma visão simplista do conceito de campo que o via apenas como uma antítese ao modo de vida urbano (CELLA; QUEDA; FERRANTE, 2018).

As categorias rural, urbano, campo e cidade têm sido constantemente debatidas especialmente nas ciências sociais; economistas e geógrafos que passaram a reavaliá-los em decorrência das transformações sociais em curso (ROSA, 2017).

Conforme Abramovay (2000), se os serviços públicos são estendidos a um determinado aglomerado da população, ela tenderá a ser definida como urbana. Assim, no Brasil, as sedes de distritos são definidas como "urbanas"; Isso é, o campo tenderá a ser basicamente definido pela carência, o que não pode ser considerado de forma alguma um critério adequado.

Existem países em que o principal critério para definir as áreas rurais é o peso econômico no emprego da mão-de-obra na agricultura, como é o caso dos países Israel e Chile (ABRAMOVAY, 2000).

Mantilla (2011) caracteriza o território rural como "área rural dispersa" e "área rural nucleada". De acordo com o autor, a área rural dispersa é caracterizada por ter habitações geralmente separadas por áreas de cultivo, matas, pastagens, estradas, etc. Dependendo da densidade populacional, a área rural dispersa pode ser dividida em dois grupos: 1) Um grupo com densidade populacional muito baixa (menos de 15 habitantes por quilômetro quadrado). São áreas voltadas principalmente para atividades do setor primário e possuem poucas vias de acesso. Devido à grande dispersão das habitações, a população tende a desenvolver soluções individuais para o abastecimento de água e para a eliminação das suas águas residuais domésticas; 2) Um grupo com baixa densidade populacional (15 a 30 habitantes por quilômetro quadrado). As casas ainda estão espalhadas, embora alguns aglomerados comecem a se formar, geralmente ao lado de estradas. As vias de acesso tendem a ser melhores. As soluções de abastecimento de água e saneamento básico também são em sua maioria individuais.

Todavia, em uma área rural nucleada, pequenos grupos de casas geralmente são separados por muros, cercas ou pomares. Mais uma vez, pode ser dividido em dois grupos: 1) Um grupo com densidade populacional regular (entre 30 e 60 habitantes por quilômetro quadrado). São as populações que começam a formar núcleos e que já possuem melhores vias de acesso. Algumas iniciativas conjuntas estão sendo implementadas para fornecer água potável em pequenas fontes. No entanto, o saneamento básico ainda é largamente implementado através de soluções individuais como latrinas, unidades sanitárias e fossas sépticas. 2) Um grupo com alta densidade populacional (mais de 60 habitantes por quilômetro

quadrado). São grupos de moradores que se dedicam principalmente a atividades agrícolas. O acesso à água potável é feito por meio de soluções individuais e coletivas. Em alguns casos, aquedutos rurais são estabelecidos com distribuição domiciliar. O saneamento e o tratamento das águas residuais são efetuados através de redes de esgoto convencionais e não convencionais (MANTILLA, 2011).

2.3. SANEAMENTO BÁSICO NA ÁREA RURAL: ASPECTOS CONCEITUAIS E SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE

O termo "saneamento" vem do verbo "sanear", que significa "tornar sanitário, salubrificar, reparar, tornar habitável, adaptar à cultura" (SCARATTI; BEZERRA, 2020).

O ato de "sanear", historicamente está relacionado à qualidade de vida e ao acesso a um meio ambiente equilibrado e saudável, pois sua existência ou não afeta diretamente a saúde humana. Exemplo disso é o que aconteceu na Idade Média, período da história em que o declínio do saneamento contribuiu para grandes epidemias e a morte de milhares de pessoas (VIEIRA, 2022).

De acordo com Brasil (2020), o conceito de "saúde" pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e o conceito de "saneamento" pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), são definidos como:

Saúde: um estado de completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de doença ou enfermidade.

Saneamento: o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre seu estado de bem-estar físico, mental ou social.

A falta de serviços de saneamento básico nas áreas rurais aumenta significativamente as desigualdades sociais e a pobreza nas áreas rurais. Dados do relatório da OMS e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) *'Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: Update and Sustainable Development Goal baselines'*, edição de 2017, revelam o estado do saneamento básico e o acesso à água no mundo. Eles relatam que as redes de esgoto predominam nas áreas urbanas e que cobrem dois terços da população (63%). Nas áreas rurais, essa cobertura não ultrapassa 9% da população. O mesmo acontece quando falamos do consumo e uso de águas superficiais brutas para consumo

humano, das 161 milhões de pessoas que utilizam essas águas, 150 milhões habitam em áreas rurais (SIMONATO et al., 2019).

Em uma cidade legal, tem-se uma localidade regularizada com leis de loteamento, espaços públicos e saneamento básico, enquanto uma cidade ilegal é desregulada, onde a ocupação e os problemas sociais são fechados e onde não há saneamento. Hoje, o meio rural sofre, pode-se dizer, do mesmo drama da cidade ilegal, pois a política pública no meio rural no que diz respeito à higiene básica não tem muita importância para o poder público. Diante estas novas relações de trabalho e habitação no meio rural, é necessário e urgente regulamentar esta área ao nível do ordenamento do território, quanto à captação de água, eliminação de resíduos, zoneamento e higiene básica (NORBERTO, 2022).

A precariedade ou ausência dos serviços de saneamento básico afeta a saúde de várias formas, seja pela exposição a fatores de riscos químicos, físicos e biológicos ou seja por mudanças no comportamento dos indivíduos em resposta aos mesmos fatores (SCARATTI; BEZERRA, 2020).

De acordo com Ribeiro (2020), sabe-se que fatores políticos, sociais, econômicos e culturais tendem a influenciar e moldar as práticas de saneamento, as estruturas institucionais adotadas, assim como a escolha de determinados cursos de ação na estruturação das políticas públicas.

Frente a diversidade cultural, econômica, social, política e ambiental, a universalização do saneamento rural torna-se um desafio. Além disso, historicamente, o serviço de saneamento no meio rural sempre foi escasso, ineficiente e até inexistente, devido a fatores como: falta de investimento público, grandes distâncias, falta de investimento no desenvolvimento de tecnologias de baixo custo e isolamento das comunidades (SIMONATO et. al., 2019).

Importa mencionar também que o desenvolvimento de práticas agrícolas sem respeito pelo meio ambiente, resulta na poluição do solo e da água. Fertilizantes e pesticidas, usados em quantidades excessivas nas lavouras, poluem o solo e as águas dos rios e danificam os ecossistemas. Por exemplo, a contaminação do lençol freático com agrotóxicos ameaça a vida dos moradores que se beneficiam das águas subterrâneas. Outro aspecto importante a ser considerado é que o saneamento rural precário, caracterizado pelo descarte inadequado de resíduos

sólidos e líquidos, também é uma das causas que contribuem para a contaminação dos mananciais (BRASIL, 2020).

Importa destacar que como consequência da ausência do saneamento em áreas rurais, especialmente ao que tange o tratamento da água, pode ocasionar diversos problemas de saúde, como doenças de veiculação hídrica. Oliveira et al. (2015) demonstra através do Quadro 1, as principais doenças, bem como as formas de transmissão e prevenção.

Quadro 1- Doenças relacionadas ao consumo de água contaminada.

Principais doenças	Formas de transmissão	Formas de prevenção
<p>Leptospirose</p> <p>Amebíase</p> <p>Hepatite infecciosa</p> <p>Diarreias e disenterias, como a cólera e a giardíase</p>	<p>O organismo patogênico (agente causador da doença) é ingerido</p>	<p>Proteger e tratar as águas de abastecimento e evitar o uso de fontes contaminadas.</p> <p>Promover a higienização adequada pessoal, dos alimentos e doméstica e fornecer água em volume adequado.</p>
<p>Infecções na pele e nos olhos, como o tracoma e o tifo relacionado com piolhos, e a escabiose</p>	<p>A falta de água e a higiene pessoal insuficiente criam condições favoráveis para sua disseminação</p>	<p>Fornecer água em volume adequado e promover a higienização adequada pessoal, dos alimentos e doméstica</p>
<p>Esquistossomose</p>	<p>O patogênico penetra pela pele ou é ingerido</p>	<p>Adotar medidas adequadas para a disposição de esgotos. Evitar o contato de pessoas com águas contaminadas. Proteger mananciais. Combater o hospedeiro intermediário.</p>
<p>Malária</p>	<p>As doenças são</p>	<p>Eliminar condições que possam favorecer criadouros.</p>

Febre amarela Dengue Elefantíase	propagadas por insetos que nascem na água.	Combater os insetos transmissores. Evitar o contato com criadouros. Utilizar meios de proteção individual
--	---	--

Fonte: www.esgotoevida.org.br/saude, (2015), apud Oliveira et al. (2015).

Outro ponto importante é sobre a proteção das áreas de preservação permanente das nascentes e corpos hídricos. A responsabilidade de proteção não deve ser apenas dos governantes, mas de toda a população. Deve-se entender a importância do compromisso com a proteção ambiental, para preservar e restaurar as funções ecológicas e sociais dos recursos hídricos nas áreas urbanas e rurais (BRASIL, 2020).

2.3.1. Abastecimento de água rural, Políticas Públicas e os elementos fundamentais para as ações de saneamento rural

Conforme Brasil (2019), as políticas públicas de saneamento são técnicas, socioeconômicas e culturais de um ponto de vista multidimensional, com o objetivo de alcançar níveis crescentes de proteção ambiental. No entanto, existem peculiaridades na prestação de serviços adequados à população rural devido a algumas condições específicas:

- Dispersão geográfica;
- Inexistência ou inadequação de políticas públicas de saneamento rural, municipal, estadual ou federal;
- Falta de estratégias que apoiem a participação social dessas populações;
- Isolamento político e geográfico das localidades e sua distância de desenvolvimento da sede dos municípios;

- Localização em área de difícil acesso, seja por via terrestre ou fluvial;
- Restrições financeiras ou de pessoal por parte dos municípios que impede a realização de serviços relacionados ao saneamento;

Contudo, esses obstáculos não podem justificar a inação ou a pouca ação do Estado.

Brasil (2020) considera quatro condicionantes primordiais para a definição da tecnologia do abastecimento de água em áreas rurais, são elas:

- Condicionantes ambientais: destacam-se a quantidade, qualidade e disponibilidade de recursos hídricos, clima e vegetação.
- Condicionantes demográficos: dois fatores podem ser destacados, tamanho e densidade populacional.
- Condicionantes culturais: aceitação e reconhecimento das peculiaridades inerentes ao modo de vida das famílias e comunidades.
- Condicionantes socioeconômicos: o custo dos serviços deve ser proporcional à capacidade de pagamento da população, com a consequente introdução de um modelo tarifário de forma a cobrar pela sua prestação.

A escolha das tecnologias requer a participação dos diferentes atores (técnicos, gestores e comunidade) envolvidos no processo de tomada de decisão para “resolver o melhor negócio”.

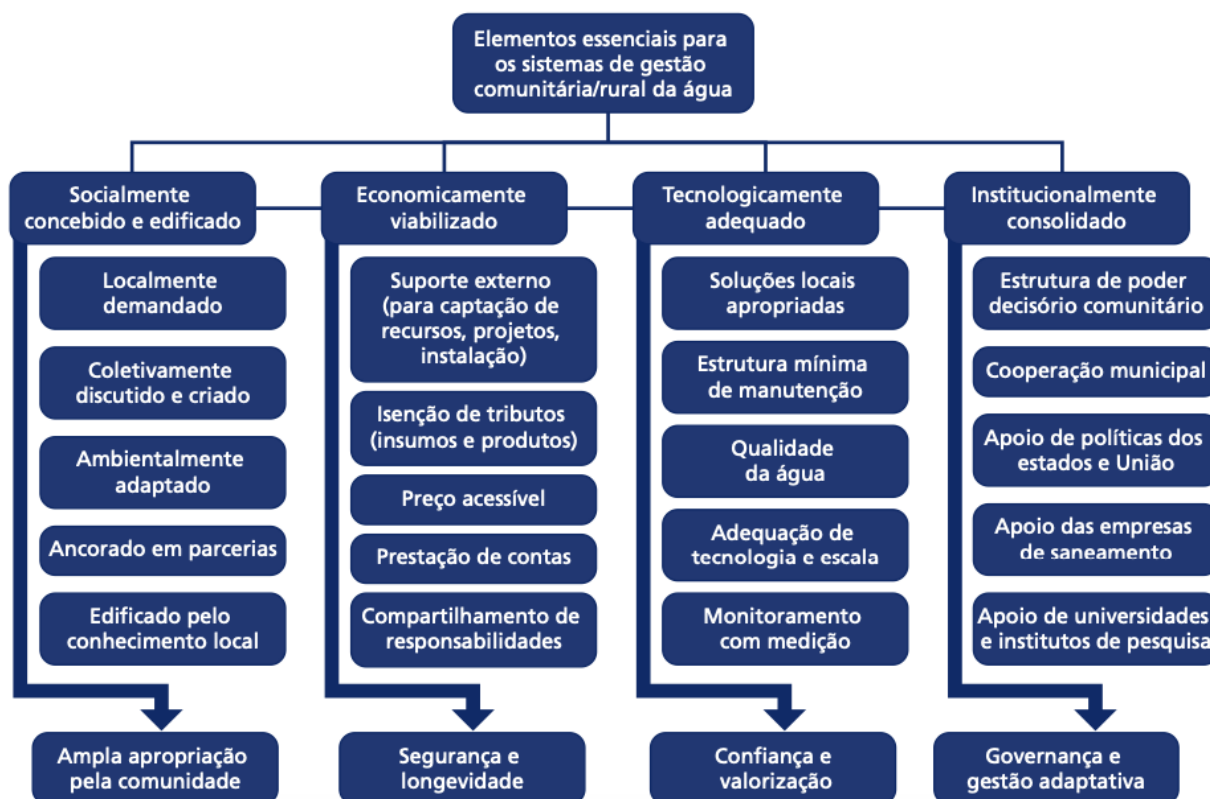
De acordo com Brasil-TCU (2014), conforme compilação do IFAC (2013), a boa governança no setor público permite:

- a) garantir a provisão de benefícios econômicos, sociais e ambientais aos cidadãos;
- b) garantir que a organização seja e pareça ser responsável perante os cidadãos;
- c) ter clareza e focar em quais produtos e serviços são efetivamente entregues aos cidadãos e usuários;
- d) ser transparente e informar a comunidade sobre as decisões tomadas e os riscos associados;
- e) possuir e utilizar informação de qualidade e mecanismos robustos de apoio à decisão;

- f) diálogo com a sociedade e responsabilidade perante a mesma;
- g) garantir a qualidade e eficiência dos serviços prestados a comunidade;
- h) apoiar o desenvolvimento contínuo da gestão e do pessoal;
- i) definir claramente processos, funções, responsabilidades e limites de poder e autoridade;
- j) institucionalizar estruturas de governança apropriadas;
- k) selecionar a liderança com base em aspectos como conhecimentos, habilidades e atitudes (competências individuais);
- l) avaliar o desempenho e conformidade da organização e gestão e manter um equilíbrio adequado entre os dois;
- m) assegurar a existência de um sistema eficaz de gestão de riscos;
- n) usar controles internos para manter os riscos em níveis razoáveis e aceitáveis;
- o) gestão financeira criteriosa, robusta e responsável; e
- p) fornecer aos cidadãos dados e informações de qualidade (confiáveis, oportunas, relevantes e compreensíveis).

De acordo com Santos e Santana (2020), alguns elementos são essenciais para que se tenha um sistema sustentável de gestão no saneamento rural, conforme é mencionado na Figura 3.

Figura 3 - Elementos essenciais para os sistemas de gestão de saneamento rural



Fonte: Santos e Santana (2020).

Brasil (2017) identifica como elementos fundamentais para as ações de saneamento rural, os seguintes eixos: planejamento, participação comunitária, tecnologias adaptadas, capacitação técnica e estruturação organizacional, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Aspectos que contribuem para a eficácia das medidas básicas de saneamento no meio rural



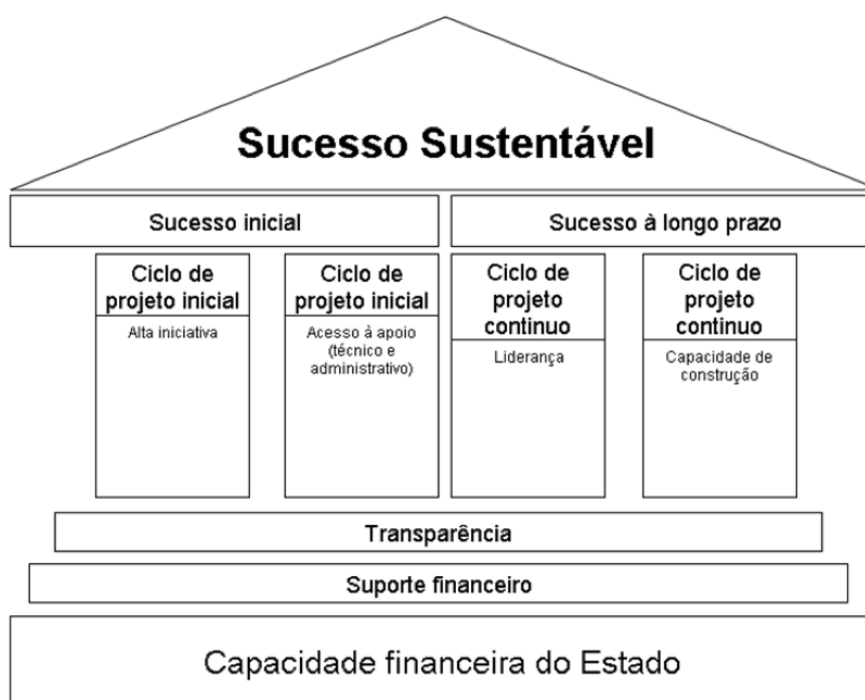
Fonte: Brasil (2017).

2.3.2. Gestão de técnicas do abastecimento de água pela comunidade rural e níveis de acesso

A Gestão Comunitária da Água (GCA), em sua definição, não é aceita de maneira uniforme nem na ONU nem nos países e instituições que a utilizam. Considerando as diferentes abordagens trazidas para o debate, entende-se que o GCA é um encontro local de um conjunto de ações cooperativas com uma organização autônoma para apoiar a construção ou operação de sistemas de água e esgotamento sanitário nos conjuntos coletivos de comunidades e residências, principalmente nas áreas rurais. Essa gestão conta com parcerias entre órgãos governamentais, instituições de pesquisa, organizações não governamentais e setor privado (SANTOS; SANTANA, 2020).

De acordo com Silva (2016), o modelo representado na Figura 5, apoia-se na compreensão de alguns elementos fundamentais, como a elevada iniciativa coletiva evidenciada por diversos fatores: senso de ajuda e responsabilidade da comunidade, participação igualitária na tomada de decisões, um senso de propriedade compartilhada do sistema e liderança ativa (indivíduos ou grupo na comunidade capazes de supervisionar, monitorar e avaliar os sistemas). Esses elementos devem ser estruturados com base na transparência institucional e no apoio financeiro externo.

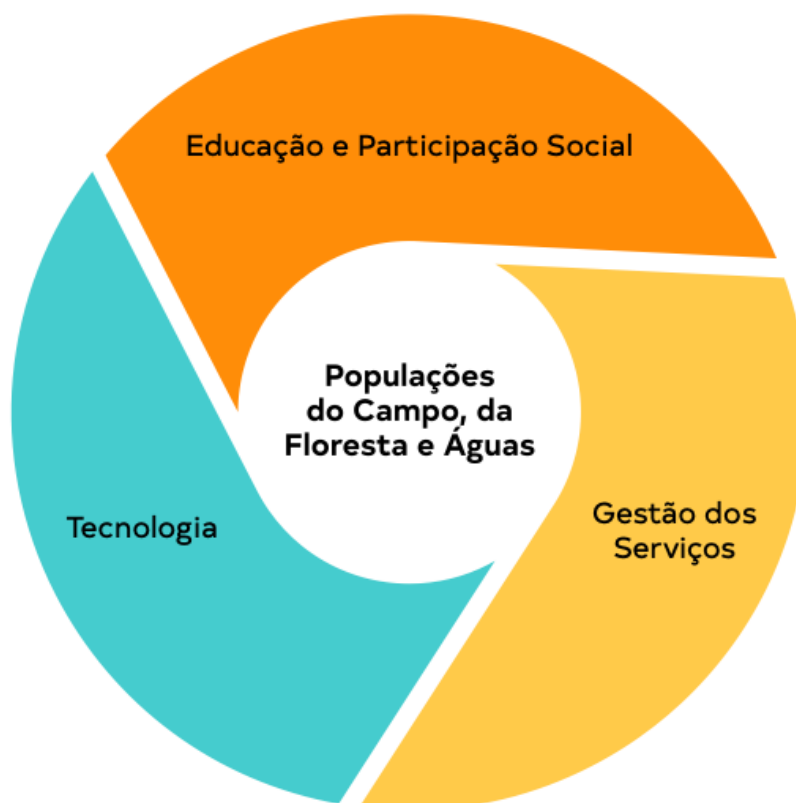
Figura 5 - Modelo de gestão comunitária



Fonte: Silva (2016).

As estratégias voltadas para o atendimento das necessidades básicas de saneamento no meio rural podem se basear nos elementos da integração de três eixos: gestão de serviços, educação e participação social e tecnologia, entendidos como indissociáveis, além de necessários para atender às demandas da população que habita nas áreas rurais, conforme a Figura 6 (BRASIL, 2019).

Figura 6 - Integração dos eixos Educação e Participação Social, Gestão dos Serviços e Tecnologia no Saneamento Rural

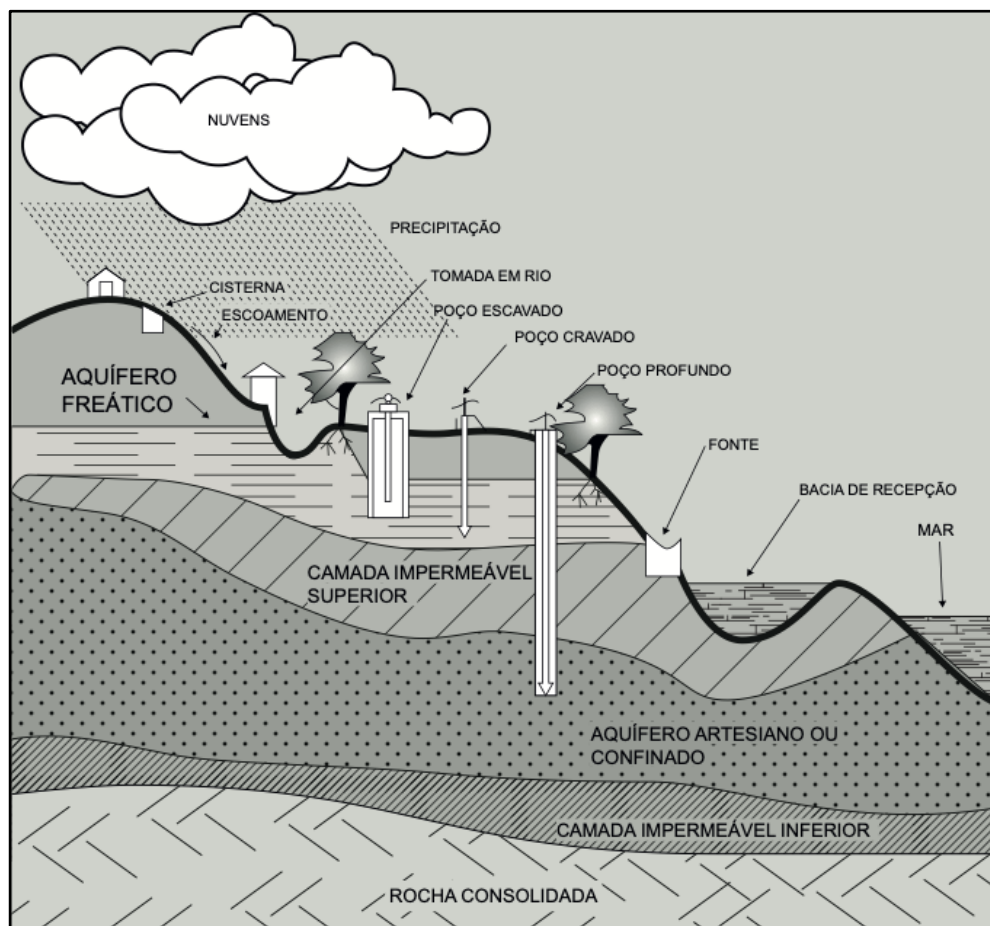


Fonte: Brasil (2019).

Quanto a tecnologia de saneamento a ser introduzida nas comunidades rurais, deve ser adaptada às realidades locais para que os usuários possam ser capazes de manter, reparar e operar as instalações, especialmente se os agentes externos não puderem realizar o suporte comunitário de longo prazo. Evidencia-se também a importância de focar na sustentabilidade dos serviços, ou seja, a inovação não deve causar danos significativos ao meio ambiente e deve possibilitar a satisfação das necessidades atuais sem comprometer as necessidades das futuras gerações (BRASIL, 2017).

Os métodos de captação de água para abastecimento nas áreas rurais podem ser coletivos ou individuais. E, conforme Brasil (2015), podem ser utilizadas as seguintes formas de captação: rios, lagos e açudes, lençol subterrâneo ou freático, água pluvial, nascentes ou fundos de vales. Algumas dessas formas podem ser observadas na Figura 7.

Figura 7 - Formas de captação de água para abastecimento coletivo ou individual.



Fonte: Brasil (2015).

De acordo com os autores Howard e Bartram (2003), a disponibilidade da água pode ser categorizada por nível de serviço, medida de acesso, necessidades atendidas e nível de preocupação com a saúde. Um resumo da medida em que diferentes níveis de serviços atenderão aos requisitos para manter um bom nível de preocupação com a saúde é fornecido no Quadro 2.

Quadro 2 - Níveis de acesso à água para promoção da saúde

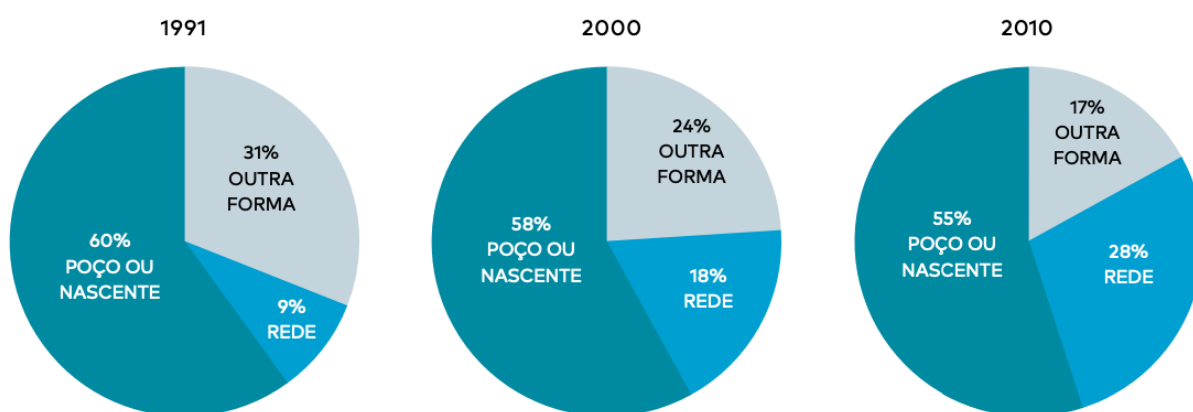
Nível de serviço	Medida de acesso	Necessidades atendidas	Nível de preocupação com a saúde
Sem acesso (quantidade coletada geralmente abaixo de 5 litros per capita por dia)	Mais de 1000 m ou 30 minutos de tempo total de coleta	Consumo – não pode ser garantida a higiene, a menos que seja praticada na fonte	Muito alto
Acesso básico (quantidade média improvável de exceder 20 litros per capita por dia)	Entre 100 e 1000 m ou 5 a 30 minutos de tempo total de coleta	Consumo – deve ser assegurada a higiene – lavagem das mãos e higiene alimentar básica possível; lavanderia e banho difíceis de garantir, a menos que sejam realizados na fonte	Alto
Acesso intermediário (quantidade média de cerca de 50 litros per capita por dia)	Água fornecida através de uma torneira no lote, ou dentro de 100 m ou 5 minutos de tempo total de coleta	Consumo – assegurada toda a higiene pessoal e alimentar básica; lavanderia e banho também são assegurados	Baixo
Acesso ideal (quantidade média 100 litros ou mais per capita por dia)	Água fornecida através de várias torneiras continuamente	Consumo – todas as necessidades satisfeitas	Muito baixo

Fonte: Howard e Bartram (2003).

2.3.3 Aspectos da evolução do abastecimento de água na área rural

Se tratando do Brasil, a situação do abastecimento de água nos domicílios rurais tem sofrido alterações em função da presença de rede de distribuição de água, que nas duas décadas em análise apresentou um aumento sistemático de 9% em 1991 para 28% em 2010. A parcela de domicílios atendidos por outras formas de abastecimento de água - cisternas para captação da água da chuva, rios, carros pipa, lagos, açudes e córregos - experimentou a maior queda nesse período: 31% dos domicílios encontravam-se nessa situação em 1991, contra 17% em 2010. Assim, a menor variação observada foi no acesso a nascente ou poço (dentro e fora da parcela), passou de 60% em 1991 para 55% em 2010, mantendo-se a solução preponderante, conforme a Figura 8 (BRASIL, 2019).

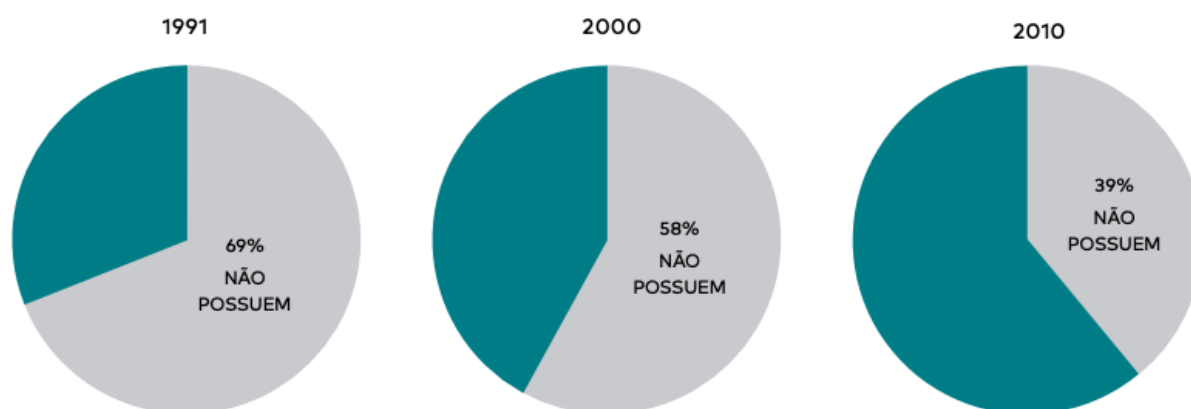
Figura 8 - Evolução dos métodos em domicílio, do abastecimento de água em áreas rurais brasileiras



Fonte: IBGE (1992, 2001, 2011) - Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010, dados da amostra (delimitação rural do IBGE).

A presença de tubulação interna interfere na qualidade da solução, pois aumenta o consumo de água e favorece os procedimentos de higiene nas residências. Essa condição é cada vez mais representativa da realidade do campo brasileiro. Em 1991, 69% das residências não tinham encanamento interno. Em 2010, esse percentual caiu para 39%, conforme Figura 9 (BRASIL, 2019).

Figura 9 - Evolução do déficit da canalização interna nas residências em áreas rurais brasileiras



Fonte: IBGE (1992, 2001, 2011) - Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010, dados da amostra (delimitação rural do IBGE).

2.4 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS)

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é considerada um método não-paramétrico, desenvolvido em 1978 por Charnes, Cooper e Rhodes, através da obra "Measuring the efficiency of decision making units", ou seja, "Medindo a eficiência das unidades tomadoras de decisão". Destaca-se os múltiplos fatores de produção (*inputs*) e múltiplos produtos (*outputs*) (BARBOSA, TOMAZ, AZEVEDO, 2019).

As unidades tomadoras de decisão, ou Decision Making Units (DMUs), determinam a fronteira de produção eficiente e diferenciam-se pelas quantidades de insumos que consomem e dos produtos resultantes. Por meio de um sistema de equações lineares é possível determinar as DMUs eficientes, permitindo também uma análise de eficiência comparativa (BARBOSA, BASTOS, 2014).

Os modelos DEA permitem, não só identificar as DMUs eficientes, como também localizar e medir a ineficiência e fornecer o *benchmark* para as ineficientes DMUs, através da estimativa de uma função de produção linear. A determinação do *benchmark* é através da projeção das DMUs ineficientes na fronteira de eficiência. A orientação do modelo é determinada através da forma como é feita essa projeção. Tem-se a orientação a *inputs*, quando a intenção é manter os valores dos resultados

constantes minimizando os recursos, e orientação a *outputs*, quando a intenção é de não diminuir os *inputs* e maximizar o *outputs* (GOMES, MELLO, LINS, 2004).

Na metodologia DEA, existem dois modelos utilizados, um é denominado BCC, por ter sido desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984) e o outro é denominado CCR, decorrido dos nomes dos seus autores Charnes, Cooper e Rhodes (1978). A principal diferença entre ambos está nos retornos de escala. Enquanto no modelo BCC, considera-se que haja, entre insumos e produtos, retornos variáveis de escala, no modelo CCR, considera-se que haja retorno constante de escala (LOLLI, 2014).

A aplicação da DEA requer uma sequência de etapas. Primeiramente, são selecionadas as unidades produtivas (DMU). Posteriormente, é descrito o processo produtivo das unidades analisadas para identificação e classificação de insumos e produtos. Uma vez feito isso, o método é realizado usando um software disponível (PEÑA, 2008).

Através de alguns artifícios matemáticos, o modelo DEA modelo pode ser linearizado, transformando-se em um Problema de Programação Linear (PPL) demonstrado em (I), onde h_o é a eficiência da DMU o em análise; x_{io} e y_{jo} são os *inputs* e *outputs* da DMU $_o$; v_i e u_j são os pesos calculados para *inputs* e *outputs*, respectivamente (LETA, et al., 2003).

max

$$h_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo}$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0, \quad k = 1, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall x, y \tag{I}$$

De acordo com Lollí (2014), dentre as vantagens do método DEA estão:

- A eficiência de cada DMU é definida individualmente, considerando o desempenho das outras DMU's examinadas, mas permite atribuir pesos aos fatores a implementar de forma a maximizar a sua eficiência relativa;
- Diferenças de tamanho podem ser tratadas com a adoção de modelos que prevêm retornos variáveis de escala sem afetar as DMU's de pequeno porte;
- Ao contrário dos sistemas de atribuição de pontos, mais de uma DMU pode ser classificada como eficiente, formando um limite de eficiência relativa e servindo de referência para o desempenho das demais DMU's;
- Para as DMU's consideradas ineficazes, são apresentados contributos de melhoria com o estabelecimento de metas de desempenho;
- Pode ser aplicado a diferentes períodos, o que permite verificar a evolução da eficiência das DMU's e estudar os fatores que contribuíram para o seu crescimento ou declínio;
- Fornece uma visão multifacetada da efetividade, permitindo a análise dos fatores que mais contribuem para sua obtenção;
- O indicador obtido mostra-se de fácil interpretação, conforme analisado por sua comparação com indicadores contábeis tradicionais.

Da mesma forma, conforme o autor, dentre as desvantagens estão:

- É uma técnica quase confinada aos campos da pesquisa operacional e da engenharia, e requer adaptação de usuários leigos para utilizá-la em outras áreas do conhecimento;
- Devido ser uma técnica não paramétrica, não permite a extrapolação de suas conclusões, que se limitam às DMU's e variáveis analisadas.

Barbosa e Bastos (2014) explanaram um breve panorama de importantes estudos nacionais e internacionais que utilizaram a DEA no setor de saneamento para cálculo de eficiência, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Panorama de estudos de cálculo de eficiência, utilizando a técnica DEA, no setor de saneamento.

Autor (ANO)	Descrição	País	Variáveis Utilizadas	Método
Aida et al. (1998)	Avaliação da possibilidade de uso da DEA como ferramenta para avaliar o desempenho dos prestadores de serviços de água, sob as leis de águas do Japão.	Japão	INPUT (5): - Quantidade Equivalente de Pessoal; - Despesa de Exploração; - Ativo Produtivo; - População Total do Município Atendido; - Extensão da Rede de Água. OUTPUT (2): - Receita Operacional de Água; - Volume de Água Consumido.	DEA-BCC orientado a output
Thanassoulis (2000)	Utilização da DEA para estabelecer limites de preços para revisão de tarifas, fixadas pelo OFWAT (Office of Water Service), na Inglaterra e Gales.	Inglaterra	OUTPUT (3) - Número de conexões servidas; - Comprimento da Rede de Água; - Quantidade de Água Entregue. INPUT (1) - Despesas Operacionais.	DEA-BCC orientado a output.
Castro (2003)	Verificação da aplicabilidade da metodologia DEA ao setor de saneamento brasileiro.	Brasil	OUTPUT (4) - Volume de Água Consumido; - Extensão da Rede de Água; - Quantidade de Ligações Ativas de Água; - Quantidade de Ligações Ativas de Esgoto.	DEA-BCC orientado a output.

			INPUT (1) - Despesas de Exploração.	
Carmo e Távora Jr. (2003)	O uso da DEA para medir a eficiência técnica e econômica dos prestadores de serviços de saneamento no estado.	Brasil	OUTPUT (4) - Volume de Água Faturado; - Volume de Esgoto Faturado; - Quantidade de Economias Ativas de Água; - Quantidade de Economias Ativas de Esgoto. INPUT (5) - Extensão da Rede de Água; - Mão De Obra; - Volume de Esgoto Coletado; - Extensão da Rede de Esgoto. - Volume de Água Produzido;	DEA-CCR; DEA-BCC-orientados a output.
Cruz Ramos (2013)	Utilização da DEA para analisar a eficiência da Gestão do Saneamento Básico e seus impactos sobre a promoção da saúde.	Brasil	OUTPUT (1) - Número de Crianças, Acima de 5 Anos que Sobrevivem. INPUT (5) - Cobertura por Redes de Abastecimento de Água; - Cobertura por Redes Coletoras de Esgoto; - Grau de Urbanização; - Médicos por Grupos de 1.000 habitantes; - PIB Per Capita.	DEA-BCC orientado a output.

Fonte: Barbosa e Bastos (2014)

2.4.1 Eficiência: Definição e Fronteira

A combinação ótima de insumos e métodos (entradas) necessários no processo produtivo para gerar o máximo produto (saída) é o que se conceitua como eficiência. Ou seja, eficiência é a capacidade de fazer as coisas direito, de minimizar a relação insumo-produto. O seu objetivo é assegurar a otimização da utilização dos recursos e, por isso, relaciona-se mais com os meios do que com os fins (PEÑA, 2008).

Para poder discutir qual é o limite ideal de eficiência, é preciso lembrar o objetivo que está sendo perseguido. Pretende-se distribuir a meta do produto para os DMU's cujos dados de entrada são conhecidos, de forma não tendenciosa ou arbitrária para que, quando avaliadas pelo método DEA, todas as DMU's estejam na fronteira de eficiência. A fronteira é gerada por pontos que são a razão entre o limite e cada entrada. Cada coordenada deste ponto pode ser entendida como a produtividade da DMU em determinado aspecto, ou seja, produtividade em relação a alguma entrada/insumo (KOZYREFF FILHO; MILIONI, 2004).

Um método de produção é tecnologicamente eficiente, quando usa o menor nível possível de insumos para produzir um determinado nível de produção, ou quando obtém o maior nível possível de produção com um determinado nível de entrada/insumo. Assim também, um produtor que produz dois ou mais produtos é eficiente para uma determinada quantidade de insumo, se puder aumentar a produção de apenas de um produto e reduzir a produção de outro. A eficiência se divide em dois tipos: eficiência econômica e eficiência técnica (PEÑA, 2008).

A eficiência econômica é uma extensão da eficiência técnica porque inclui aspectos monetários além dos físicos. Para que a produção seja economicamente eficiente, é necessária a máxima eficiência técnica. No entanto, uma organização tecnicamente eficiente pode ser economicamente ineficiente se não utilizar a melhor combinação de insumos que minimize os custos (PEÑA, 2008).

2.4.2 DEA com Ganhos de Soma Zero

De acordo com Gomes, Mello e Lins (2004), a formulação clássica do modelo de envelope DEA BCC orientado a saída/*outputs*, usa o Problema de Programação Linear (PPL) dado em (II) para cada DMU. Para a DMU o , neste PPL, a eficiência refere-se a $1/h_o$; y_j representam os *outputs*; x_j os *inputs*; λ_j a contribuição da DMU j para a projeção da DMU o na fronteira. O objetivo a ser determinado é essa projeção na fronteira de eficiência.

max h_o
 sujeito a

$$\begin{aligned} \sum_j \lambda_j x_j &\leq x_o \\ h_o y_o &\leq \sum_j \lambda_j y_j \\ \sum_j \lambda_j &= 1 \\ \lambda_j &\geq 0 \end{aligned} \tag{II}$$

Dentre os resultados importantes dos modelos DEA com Ganhos de Soma Zero (DEA-GSZ), um deles é o fato de que os dois problemas DEA tradicionais (determinação de fronteira e busca de objetivos) estarem intimamente relacionados, assim, a busca por eficiência altera a forma da fronteira (GOMES; MELLO; LINS, 2003).

O caso bidimensional, que faz com que a DMU se mova ao longo de linhas, é relativamente fácil de implementar. Porém, no caso multidimensional, a complexidade do problema é maior pelo fato de que a determinação de todas as faces do poliedro requererem algoritmos complexos (GOMES; MELLO; LINS, 2003).

2.5 TESTE ESTATÍSTICO DE SHAPIRO-WILK

Considerado na literatura o melhor ou um dos melhores testes de aderência à Normalidade, o teste de Shapiro-Wilk de acordo com Lopes, Branco e Soares (2013) fornece o parâmetro valor de prova (p-value), o qual pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H_0), sendo H_0 correspondente à distribuição Normal. Quanto menor for o p-value, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula. Desse modo, a regra de decisão adotada para saber se a distribuição é Normal ou não é rejeitar H_0 : a) se p-value $\leq \alpha$, rejeita-se H_0 , ou seja, não se pode admitir que o conjunto de dados em questão tenha distribuição Normal; b) se p-value $> \alpha$, não se rejeita H_0 , ou seja, a distribuição Normal é uma distribuição possível para o conjunto de dados referido.

De acordo com Anjos (2005), este teste tem como objetivo fornecer uma estatística de teste para avaliar se a amostra tem uma Distribuição Normal. O mesmo pode ser usado para amostras de qualquer tamanho. A estatística do teste W para normalidade é definida como:

$$W = \frac{b^2}{s^2} = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (\text{III})$$

em que y_i é a variável aleatória observada e a_i são coeficientes tabelados.

Na execução do teste, para calcular a estatística \mathbf{W} , de uma amostra aleatória de tamanho n , dada por y_1, y_2, \dots, y_n , procede-se da seguinte forma:

1. Ordenar as observações em ordem decrescente: $y_1 \leq y_2 \leq \dots \leq y_n$
2. Calcular s^2

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (\text{IV})$$

3. Se n é par, $n = 2k$, faz-se

$$b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1}(y_{n-i+1} - y_i)$$

(V)

os valores a_{n-i+1} de são tabelados.

Se n é ímpar, $n = 2k + 1$, os cálculos permanecem os mesmos, exceto que, $a_{k+1} = 0$

$$b = a_n(y_n - y_1) + \dots + a_{k+2}(y_{k+2} - y_k)$$

(VI)

4. Calcular:

$$W = \frac{b^2}{s^2}$$

(VII)

5. Através do p-valor, avalia-se a estatística do teste. Se o valor for significativo para a estatística, indica falta de normalidade da variável aleatória em análise.

2.6 TESTE DE FRIEDMAN

O teste de Friedman é uma alternativa não paramétrica para o teste ANOVA, quando há blocos completamente aleatórios (PIRES et al. 2018).

A estatística de teste para o Teste de Friedman, de acordo com Pontes (2000), quando não ocorrem empates é dada por:

$$S = \frac{12}{bk(k+1)} \sum_{i=1}^k R_{i.} - 3b(k+1) \quad (\text{VIII})$$

Assim, nos casos que ocorrem empates, considerando-se e_j grupos de empates dentro do bloco j e d_{lj} observações empatadas do grupo l no bloco j , utiliza-se a correção C , ou seja:

$$S_E = \frac{S}{C} \quad \text{onde} \quad C = 1 - \frac{1}{bk(k^2 - 1)} \sum_{j=1}^b \sum_{\ell=1}^{e_j} (d_{\ell j}^3 - d_{\ell j}) \quad (\text{IX})$$

O procedimento do teste consiste em obter todas as configurações e, em cada uma delas calcular o valor da estatística desejada, seja para realizar as comparações múltiplas ou para o Teste de Friedman (PONTES, 2000).

3. METODOLOGIA

A *Data Envelopment Analysis* (DEA) é um método quantitativo e empírico que mede a eficiência relativa, enfatizando a relação entre entradas e saídas, criando um indicador de eficiência para cada unidade estudada. Essa metodologia utiliza a programação matemática linear para construir uma fronteira de produção com unidades eficientes, o que possibilita identificar unidades de referência que servem de parâmetro para outras unidades avaliadas, ou seja, unidades localizadas abaixo da fronteira estabelecida. É, portanto, uma metodologia comparativa que gera índices relativos de eficiência (ALMEIDA, GASPARINI, 2011).

Dois tipos de métodos podem ser usados para estimar o índice de eficiência: paramétricos e não-paramétricos. Este estudo optou por uma metodologia não-paramétrica, visto que se pode trabalhar simultaneamente com múltiplas entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*).

Foram selecionados e perscrutados 20 referenciais bibliográficos (artigos, dissertações e teses) de diversos países, entre os anos de 2006 a 2022 que abordavam como linha de pesquisa principal, o abastecimento de água em áreas rurais. Isto posto, elencaram-se *inputs* e *outputs*, conforme evidenciados no Quadro 4 .

Quadro 4 - Referenciais bibliográficos, com respectivos *inputs* e *outputs*.

Ano	Título	Autores	País	Inputs	Outputs	Grupo
2006	Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central	AZEVEDO, Rainier Pedraça de	Brasil	Captação de água subterrânea e superficial.	A água superficial demonstrou-se imprópria para o consumo humano em seu estado natural. A água subterrânea não apresentou coliformes, porém apresentou ferro e precisa de tratamento adequado.	1
2009	How Well Is the Demand-Driven, Community Management Model for Rural Water Supply Systems Doing? Evidence from Bolivia, Peru and Ghana	WHITTINGTON, Dale et al.	Bolivia, Peru e Gana	O abastecimento de água é gerenciado pela comunidade e apoiado pelo governo e por doadores. Captação de água subterrânea e superficial. Possui zelador remunerado. Comitês de água realizam reuniões regularmente com as comunidades. Taxa mensal fixa da comunidade para o serviço de abastecimento de água.	Em todos os três países, os projetos de abastecimento de água rural estavam “funcionando” e atendendo toda a população.	2

2012	A Comparative Study On Woreda Managed And Community Managed Rural Water Supply Projects, With Respect To Their Planning, Implementation Functionality And Utilization. The Case Of Amhara National Regional State, Ethiopia	TESFAYE, Yewondwossen	Etiópia	<p>Captação de água superficial.</p> <p>A comunidade paga mensalmente uma taxa para a manutenção do sistema.</p> <p>Os beneficiários dos sistemas são responsáveis pela manutenção dos mesmos.</p>	Abastecimento de água gerido pela comunidade demonstrou maior eficácia comparado com a gestão governamental.	2
2012	Factors Affecting the Sustainability of Rural Water Supply Systems: The case of Mecha Woreda, Amhara Region, Ethiopia	BEYENE, Habtamu Addis	Etiópia	<p>Captação de água subterrânea e superficial.</p> <p>O gerenciamento do abastecimento é feito pela comunidade.</p> <p>Não há o pagamento de taxa mensal para manutenção dos sistemas de abastecimento.</p> <p>Quanto o sistema torna-se inoperante, acabam utilizando poços escavados alternativos, na falta de água, para suprir a demanda.</p> <p>Não há a presença de uma</p>	35% da população rural tem acesso à água da torneira. Mais de 90% dos entrevistados consomem água abaixo do padrão da OMS.	3

				<p>pessoa responsável pela manutenção do abastecimento de água. Não há orientações técnicas regulares do governo para a comunidade, quanto a manutenção dos sistemas. Não há tratamento da água.</p>		
2013	<p>Factors Influencing Sustainability Of Rural Water Supplies In Kenya: (Case Of Unicef Supported Rural Water Projects In Lake Victoria South And Lake Victoria North Water Services Board Regions)</p>	TIFOW, Ally Abdi	Quênia	<p>Captação de água subterrânea (sistema fotovoltaico) e superficial. Gerenciamento do abastecimento de água é feito pela comunidade.</p>	Há a entrega regular de água, quando não há a quebra de um equipamento.	2
2014	<p>Sustainability of Community Water Supply Systems Managed by Water User Committee. - A Case Study of Rural Water Supply System in Nepal.</p>	RAUT, Kalyani	Nepal	<p>Captação de água subterrânea e superficial. É gerenciado pelo comitê de usuários da água. O sistema de tratamento inclui filtro de areia e cloração. Taxa de consumo de água</p>	<p>Água de boa qualidade. A água é fornecida duas vezes ao dia, de manhã e à noite. Não é feito o monitoramento da qualidade da água após o tratamento.</p>	2

				<p>isenta.</p> <p>Os custos de operação e manutenção dos sistemas de abastecimento são financiados pela própria comunidade. São cobradas tarifas mensais pelo comitê de gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água. Não há treinamento sobre orientações técnicas do governo para a comunidade.</p>		
2016	<p>Autogestão de Sistemas Rurais de Abastecimento de Água: Estudo de caso na Comunidade Quilombola de Lagedo, São Francisco - MG</p>	<p>SILVA, Allyson Sullyvan Rodrigues</p>	<p>Brasil</p>	<p>Captação de água superficial.</p> <p>Gerenciamento do abastecimento de comunidade.</p> <p>Não há tratamento de água.</p> <p>Há uma comissão da água, a qual definiu o mecanismo de cobrança de uma taxa mínima para cada família, de R\$10,00 para o consumo de até 10 m³ mensais para consumo</p>	<p>Elevados valores de turbidez na água consumida.</p> <p>Não há falta de água.</p>	1

				doméstico.		
2019	Estudo dos sistemas de água e esgoto na comunidade rural de Capela Branca em Bela Vista de Minas/MG	SANTOS, Andresa Regina Arthuso dos; CRUZ, Larissa Aparecida da; GONTIJO, Hebert Medeiros	Brasil	Captação de água superficial. Não há tratamento na água.	A água que chega nas residências não é suficiente para atender todas as necessidades. Os parâmetros cor e turbidez apresentam valores maiores que o máximo permitido. Presença de <i>E. Coli</i> .	3
2019	Water Supply Challenges in Rural Areas: A Case Study from Central Kazakhstan	OMAROVA, Alua et al.	Cazaquistão	Captação de água subterrânea e superficial. Há também o fornecimento de água por veículo transportador de água. Há o tratamento da água. O governo é responsável pela instalação e manutenção dos sistemas de abastecimento. A água que é entregue por caminhão-tanque, é cobrada dos usuários.	Qualidade da água duvidosa. Baixo volume de água potável disponível: consumo médio de 41,67 a 200 litros por pessoa/dia. 68,78% dos entrevistados compram água engarrafada conforme necessário.	3

2020	Assessment of Rural Water Supply in Selected Communities in Osun State, Nigeria	OLAWADE, David B. et al.	Nigéria	Captação de água subterrânea. Gerenciamento do abastecimento pelo governo. Há o tratamento da água. Há um zelador de saneamento do governo estadual.	Há a entrega regular de água. Água de boa qualidade.	2
2021	Aspectos de qualidade da água e saneamento básico em um assentamento rural no interior de São Paulo: diagnóstico e perspectivas para a melhoria da qualidade sócio- ambiental	PERONI, Júlia Barros; CARVALHO, Lívia Hernandes; LANNES, Lucíola Santos	Brasil	Captação de água subterrânea e superficial. Não há o tratamento da água. Não há orientações técnicas sobre saneamento básico e saúde.	9% dos pontos de captação superficial apresentaram coliformes fecais. Não há relatos de falta de água.	1
2021	Cause Analysis and Management Countermeasures for Unsafe Drinking Water Quality in Rural Guangxi China	DING, Haoqing	China	Captação de água subterrânea e superficial. Não há cobrança pela gestão operacional da água.	Pequena escala no abastecimento de água. Água de má qualidade. Água com elevadas concentrações de contaminantes. A grande maioria da água potável não tem sistema de desinfecção regular.	3

2021	Evidence in the Horn of Africa of the resilience of rural water supply to drought	MACDONALD, Alan M. et al.	Etiópia	Captação de água subterrânea e superficial.	Água contaminada.	1
2021	Intervention strategy for effective water supply system to rural communities in Vhembe District, South Africa	MALIMA, Tuwani Petrus; KILONZO, Beata; ZUWARIMWE, Jethro	África do Sul	Captação de água subterrânea e superficial. Não há o pagamento da taxa da água.	Não há o atendimento regular de água. A manutenção das infra-estruturas não é feita com regularidade, o que provoca falhas frequentes na infra-estrutura hídrica e afeta negativamente o abastecimento de água.	3
2021	Tecnologia para acesso à água na várzea amazônica: impactos positivos na vida de comunidades ribeirinhas do Médio Solimões, Amazonas, Brasil	PACIFICO, Amanda Cristina Nunes et al.	Brasil	Captação de água superficial. Energia solar fotovoltaica Há apenas o pré-tratamento da água.	Água não é filtrada e nem desinfectada para consumo. Todas as amostras registraram <i>E. Coli.</i> , cor aparente e turbidez	1
2021	The emergence of collectively owned self-supply water supply systems in rural South Africa – what can we learn from the	HOFSTETTER, Moritz; KOPPEN, Barbara van; BOLDING, Alex	África do Sul	Captação de água superficial. Instalações dos serviços de abastecimento de água executados pelo governo (não sendo suficiente).	Não há o atendimento regular de água. Não há monitoramento da qualidade da água.	3

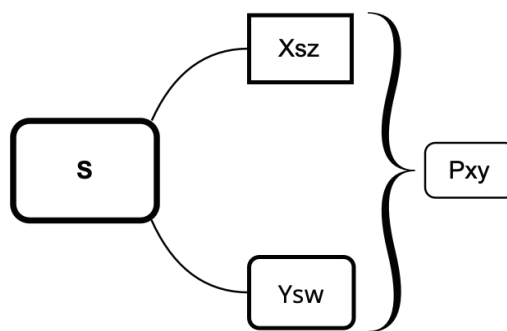
	Tshakhuma case in Limpopo?			Há o pagamento de taxa mensal para operação e manutenção. Há o tratamento da água.		
2022	A Novel Intelligent Leakage Monitoring-Warning System for Sustainable Rural Drinking Water Supply	LI, Xiaoqin et al.	China	Captação de água subterrânea.	Déficit no abastecimento de água através de vazamentos no sistema.	3
2022	Challenges Facing Community Management of Rural Water Supply: The Case of Ohangwena Region, Namibia	SALOM, Nespect; KHUMALO, Prudence	Namíbia	Captação de água superficial. Não há o pagamento para manutenção periódica. Gerenciamento de água é executado pela comunidade e governo. Há falta de orientação e maior engajamento do governo com a comunidade. Falta de coesão da comunidade.	Uma parte da população tem dificuldade de acesso a água potável.	3
2022	Privatization in Rural Water Supply and Customer Satisfaction: An Empirical Case Study in Vietnam	ANH, Nguyen Tuan; DUNG, Nguyen Huu; THU, Dao Thi	Vietnã	Instalações dos serviços de abastecimento de água executada por entidades privadas, a pedido do governo. Há o pagamento de taxa.	49% da população rural não tem acesso a água potável ideal.	3

2022	Qualidade das águas subterrâneas de consumo humano em comunidades rurais no noroeste do Rio Grande do Sul	SCHEFFLER, Jéssica et al.	Brasil	Captação de água subterrânea. Não há tratamento na água. Há o pagamento de taxa mensal para manutenção dos equipamentos.	Presença de coliformes totais em todas as amostras de águas coletadas dos poços.	1

Fonte: De autoria própria.

Para mensurar a eficiência nos serviços de abastecimento de água, considerou-se o seguinte contexto: existem S serviços de abastecimento de água a serem avaliados ($S=1,2,\dots,S$). Esses serviços unem-se a Z *inputs* $x_{sz}=(x_{s1z},\dots,x_{sxz})$ e a W *outputs* $y_{sw}=(y_{s1w},\dots,y_{sxw})$, onde XY unem-se em $P_{xy}=(P_{x1y1},\dots,P_{xzyz})$, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Esquema para configurar a distribuição similar dos serviços de abastecimento de água



Fonte: De autoria própria.

Posto isto, os resultados similares de P_{xy} foram distribuídos em três grupos, G_1 , G_2 e G_3 , como grupos distintos, onde cada grupo representa n artigos similares entre si, conforme a Tabela 1.

Algumas observações ou pontos de dados individuais dos artigos, identificados como 'graus de liberdade' (pontos de dados individuais) foram dispensados do método DEA, devido o mesmo ser sensível a *outliers*.

Tabela 1 - Distribuição dos artigos em grupos.

Grupo	Descrição Geral	Artigos
1	Déficit na potabilidade	6
2	Fornecimento regular de água potável	5
3	Déficit no fornecimento e na potabilidade da água	9

Fonte: De autoria própria.

Desta forma, os insumos são: o gerenciamento dos serviços de abastecimento de água (se é realizado pela própria comunidade, governo ou entidade privada); abastecimento por poços subterrâneos e captação superficial; tratamento da água; orientações técnicas do governo para a comunidade e presença de uma pessoa responsável pela manutenção do abastecimento de água.

Como produtos foram consideradas a entrega de água e a sua potabilidade.

A Tabela 2 expõe esses dados, com os respectivos *inputs* e *outputs* utilizados.

Tabela 2 - *Inputs* e *Outputs* elencados.

<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>
Gerenciamento dos serviços de abastecimento de água pela comunidade	Entrega da água
Gerenciamento dos serviços de abastecimento de água pelo governo	Qualidade da água potável
Gerenciamento dos serviços de abastecimento de água por entidade privada	
Captação de água subterrânea	
Captação de água superficial	

Captação de água subterrânea e superficial	
Tratamento da água	
Orientações técnicas do governo para a comunidade	
Presença de uma pessoa responsável pela manutenção do abastecimento de água	

Fonte: De autoria própria.

Os serviços de abastecimento de água mais eficientes são aqueles que melhor transformam Insumos em Produtos e, portanto, possuem as maiores relações Produtos/Insumos.

A escolha dos conjuntos de *inputs* e *outputs* está vinculada às variáveis relacionadas ao abastecimento de água na área de estudo e são suportadas pelos estudos apresentados no Quadro 4.

De acordo com Tamayo e Licht (2003), a eficiência pode ser entendida como produzir a maior quantidade possível com os recursos disponíveis, utilizando o mínimo possível de insumos aceitáveis para atingir um determinado padrão de produtos, ou combinar essas alternativas de forma a obter os melhores resultados dessa relação.

A eficiência relativa é baseada na relação comparativa de unidades equivalentes, isso significa que possuem características semelhantes, logo, supõe-se que possuam um funcionamento similar entre elas (CÂMARA, 2008).

Os índices de eficiência dos vinte referenciais bibliográficos selecionados, distribuídos em grupos de referência (G_1 , G_2 e G_3) foram obtidos com o auxílio do software *Open Source DEA (OSDEA-GUI)*, versão 0.2.

Para análise estatística descritiva dos dados, a fim de verificar a presença da distribuição normal, utilizou-se o *software* Jamovi, versão 2.3.21.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aferição dos índices de eficiência foi realizada utilizando cinco variáveis *inputs* e duas variáveis *outputs*, para cada grupo selecionado. A orientação utilizada foi à *outputs*, ou seja, quando a intenção é a de não diminuir os *inputs* e maximizar os *outputs*.

Os dados relatados na Tabela 3, são os valores obtidos utilizando o modelo DEA BCC clássico.

Tabela 3 – Cálculo de eficiência DEA

DMU	Valor (%)	Eficiência
G ₁	100	Sim
G ₂	100	Sim
G ₃	22	Não

Fonte: De autoria própria.

O abastecimento de água nos grupos G₁ e G₂ apresentou 100% de eficiência, enquanto o grupo G₃ (déficit no fornecimento e na potabilidade da água), apontou a eficiência de 22%.

Para análise estatística descritiva dos dados, através do *software* Jamovi, versão 2.3.21.0., os resultados p Shapiro-Wilk obtidos são menores que 0,05, os quais demonstram que os dados não possuem distribuição normal, conforme mencionado na Tabela 4.

Tabela 4 - Estatística Descritiva dos dados *inputs* e *outputs*

	G₁	G₂	G₃
Média	12,6	14,4	4,56
Mediana	1	4	2
Desvio-padrão	32,8	32,2	6,78
Mínimo	1	0	0
Máximo	100	100	22
p Shapiro-Wilk	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Fonte: De autoria própria.

Após a análise estatística dos dados e verificado que os mesmos não seguem uma distribuição normal, optou-se pelo teste não-paramétrico de Friedman, devido o mesmo comparar dados amostrais vinculados, isto é, quando o mesmo objeto é avaliado mais de uma vez.

Deste modo, calculou-se inicialmente a mediana (tendência central), primeiro e terceiro quartil (variabilidade) dos *inputs*, conforme descritos na Tabela 5 e posteriormente o Teste de Friedman, conforme a Tabela 6.

Tabela 5 - Estatística Descritiva *inputs*

	G₁	G₂	G₃
Mediana	1,00	2,50	2,50
25º percentil	1,00	1,25	2,00
50º percentil	1,00	2,50	2,50
75º percentil	2,50	3,75	3,75

Fonte: De autoria própria.

Tabela 6 - Teste de Friedman para os *inputs*

χ^2	gl	p
3,71	2	0,156

Fonte: De autoria própria.

De acordo com os resultados do Teste de Friedman, referente aos *inputs*, o valor p calculado acima de 0,05, indica que não existem diferenças estatísticas significativas na comparação dos três grupos.

A fim de perscrutar estatisticamente o resultado de 0,156, optou-se pelo teste post-hoc Durbin-Conover, calculado pelo *software* Jamovi, versão 2.3.21.0, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Comparações Múltiplas (Durbin-Conover)

			Estatística	p
G ₁	-	G ₂	1,526	0,158
G ₁	-	G ₃	2,034	0,069
G ₂	-	G ₃	0,509	0,622

Fonte: De autoria própria.

De acordo com as comparações descritas do teste de Durbin-Conover direcionadas aos *inputs*, não houve diferença significativa entre os grupos, devido que todas as comparações resultaram em $p > 0,05$. Numa escala de similaridade, os grupos G₂ e G₃ foram os mais similares e os grupos G₁ e G₃ apresentaram maior diferença entre si. Isso se deve a quantidade de *inputs* utilizadas em cada grupo.

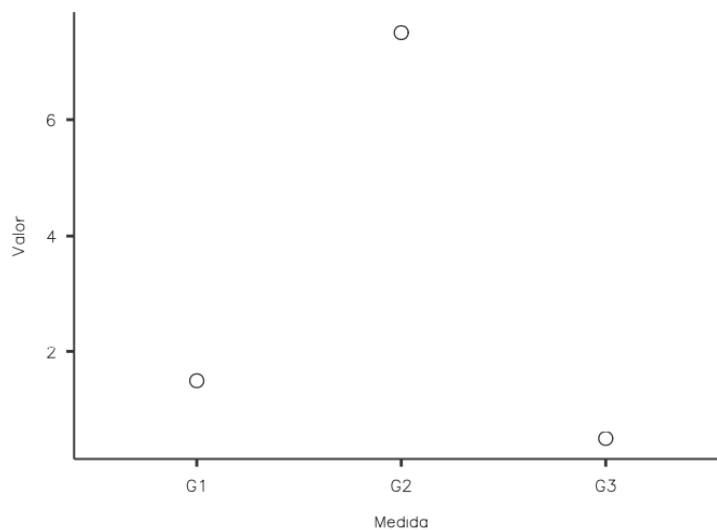
Da mesma forma, calculou-se a mediana, primeiro e terceiro quartil dos *outputs*, conforme descritos na Tabela 8 e Gráfico 1 e posteriormente o Teste de Friedman, conforme a Tabela 9.

Tabela 8 - Estatística Descritiva *outputs*

	G₁	G₂	G₃
Mediana	1,50	7,50	0,500
25º percentil	1,25	6,25	0,250
50º percentil	1,50	7,50	0,500
75º percentil	1,75	8,75	0,750

Fonte: De autoria própria.

Gráfico 1 - Representação descritiva dos dados.



Fonte: De autoria própria.

Tabela 9 - Teste de Friedman orientado aos *outputs*

χ^2	gl	p
3,71	2	0,156

Fonte: De autoria própria.

De acordo com os resultados do Teste de Friedman, referente aos *outputs*, o valor p calculado acima de 0,05, indica que não existem diferenças estatísticas significativas na comparação dos três grupos.

Da mesma forma, a fim de perscrutar estatisticamente o resultado de 0,156, optou-se pelo teste post-hoc Durbin-Conover, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 - Comparações Múltiplas (Durbin-Conover)

			Estatística	p
G ₁	-	G ₂	3,54	0,072
G ₁	-	G ₃	1,41	0,293
G ₂	-	G ₃	4,95	0,038

Fonte: De autoria própria.

Conforme as comparações descritas do teste de Durbin-Conover direcionadas aos *outputs*, as comparações G₁ - G₂ e G₁ - G₃ resultaram em $p > 0,05$, ou seja, não houve diferença significativa entre os grupos. Diferente da comparação G₂ - G₃ que resultou em $p < 0,05$, ou seja, houve diferença significativa entre esses grupos. Numa escala de similaridade, os grupos G₁ e G₃ foram os mais similares e os grupos G₂ e G₃ apresentaram maior diferença entre si.

Adendo aos resultados importa mensurar que as eficiências das soluções de abastecimento de água em meio rural, não estão condicionadas ao período de dezesseis anos das publicações dos artigos; pois os que correspondem ao grupo G₂ que apresentaram os melhores resultados, vão de 2009 a 2020, enquanto os artigos do grupo G₃ que apresentaram os piores resultados, vão de 2012 a 2022. Ou seja, pode-se compreender com os resultados obtidos que o déficit maior não está na atualização das tecnologias utilizadas ao longo desses anos, mas sim na gestão operacional delas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os dados calculados no *software Open Source DEA*, a eficiência dos Grupos 1 e 2 - análises baseadas nas diferenças entre *inputs* e *outputs*, resultou em 100%. Isso se deve, devido os artigos selecionados terem abrangido os *inputs* e *outputs* propostos e o resultado foi uma entrega de água superior aos demais artigos elencados. O que não significa que esses sistemas de abastecimento de água operam em condições excelentes.

Após a utilização do *software* Jamovi, por meio da análise descritiva dos dados, direcionada aos *inputs*, verificou-se que o grupo G_3 apresentou o maior índice de dados, comparado com os demais grupos. Porém, ao comparar com a análise estatística dos dados de *outputs*, averiguou-se que o grupo G_3 foi o mais prejudicado, com o menor quantitativo de *outputs*.

Além disso, o grupo G_2 apresentou um quantitativo médio de *inputs* e o melhor índice de *outputs*, comparado aos demais grupos.

Referente aos grupos G_2 e G_3 terem apresentado, no teste Durbin-Conover direcionado aos *outputs*, uma diferença significativa entre ambos, deve-se ao fato de que o grupo G_2 refere-se aos artigos que demonstraram um fornecimento de água potável regular e o grupo G_3 um déficit no fornecimento e na potabilidade da água.

Dentre os artigos elencados, verificou-se que os sistemas de abastecimento de água nos países: Nigéria, Quênia, Etiópia, Bolívia, Peru e Gana, pertencentes ao grupo G_2 , apresentaram maior eficiência nos quesitos entrega e qualidade de água. Contudo os países: Etiópia, Nepal, Brasil, Cazaquistão, China, África do Sul, Namíbia e Vietnã, pertencentes ao grupo G_3 , apresentaram um déficit acentuado dessa eficiência. Isto posto, enfatiza-se que esse resultado restringe-se apenas aos artigos elencados neste estudo, não devendo ser generalizado aos demais sistemas/soluções de abastecimento de água desses países.

Desta forma, conclui-se que os artigos que contemplaram a parte mediana dos *inputs* elencados (gerenciamento dos serviços de abastecimento de água, captação de água subterrânea e/ou superficial, tratamento da água, orientações técnicas do governo para a comunidade e a presença de uma pessoa responsável pela manutenção do abastecimento de água), apresentaram o maior índice de entrega de água satisfatória, com potabilidade aceitável.

É possível analisar que para haver uma operação satisfatória dos sistemas de abastecimento de água é necessário ter uma boa administração dos *inputs*, concludentes para atingir bons resultados (*outputs*).

Examinando os três grupos, após os resultados obtidos, pode-se constatar que o grupo G_2 demonstrou melhores resultados que os grupos G_1 e G_3 , assim é possível mensurar que no conjunto de dados integrativos do grupo, representam uma melhor eficiência as comunidades que realizam o pagamento de taxa mensal para manutenção do sistema; que o gerenciamento é feito pela própria comunidade e que existe o tratamento da água efetivo. Contudo, representando o grupo G_3 estão as comunidades onde não é realizado o tratamento da água; que há falta de orientações e maior engajamento do governo com a comunidade; que não há organização na associação para resolver problemas quanto ao abastecimento de água; onde não é realizado a tarifa para manutenções corretivas do sistema/solução e que a responsabilidade de solução de problemas parte somente do governo.

Desta forma, entende-se por um sistema/solução de abastecimento de água satisfatório, após os resultados obtidos deste estudo, aquele que é gerido pela comunidade com o apoio do governo, que há o pagamento de taxas mensais pela comunidade para cobrir as manutenções e que existe o tratamento de água e orientações técnicas do governo.

Este estudo mostrou que para um funcionamento regular do abastecimento de água é necessário haver ações interdependentes de muitos atores em todos os níveis, incluindo a própria comunidade, governos nacionais, estaduais e municipais.

5.1 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

- Aderir um número maior de especialistas do governo para operar os sistemas/soluções de abastecimento de água ou então fornecer treinamento adequado para os membros das comunidades, quanto à operação e manutenção dos mesmos.
- A comunidade efetuar o pagamento de taxa mensal para um apoiador de saneamento da associação, o qual poderá se responsabilizar pelo tratamento assíduo da água.
- Suprimir vínculos ativos de buscar somente no governo a solução para as manutenções de saneamento de água.
- Busca contínua de apoio técnico e econômico no setor privado e com parceiros de desenvolvimento.
- Realizar periodicamente o inventário, pelo governo, das soluções tecnológicas existentes, bem como suas eficiências e condições de operação e manutenção.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, Ricardo. **Funções e medidas da ruralidade no desenvolvimento contemporâneo**. In Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Texto para Discussão. Rio de Janeiro: IPEA. n. 702, 2000.

ALVES, Francisco Glauber César; ARAÚJO, Flávia Telis de Vilela. Sistemas de abastecimento em comunidades rurais do semiárido: a implantação do SISAR em Cristais, Cascavel, CE. **Revista Tecnologia Fortaleza**, v. 37, n. 1, p. 78-86, 2016.

ANH, Nguyen Tuan; DUNG, Nguyen Huu; THU, Dao Thi. Privatization in Rural Water Supply and Customer Satisfaction: An Empirical Case Study in Vietnam. **Sustainability**, 14, 5537, 2022.

ANJOS, Adilson dos. **Teste de Shapiro-Wilk para Normalidade**. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~aanjos/CE213/ce213/node8.html>> Acesso em 14 jan 2023.

AZEVEDO, Rainier Pedraça de. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. **Acta Amazonica**, v. 36(3), p. 313 - 320, 2006.

BARBOSA, Alex Lima de Sales; TOMAZ, Diego Alexander Souza; AZEVEDO, Andressa Amaral de (2019). Análise da eficiência dos serviços de saneamento prestados nos municípios da região metropolitana de Belo Horizonte com a utilização do método análise envoltória de dados. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 5(1): 101-121.

BARBOSA, Raphael de Paiva; BASTOS, Ana Paula Vidal. Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na mensuração da eficiência das prestadoras de serviços de água e esgotamento sanitário: um enfoque no desempenho da Companhia de Saneamento do Estado do Pará (Cosanpa). **Revista Economia & Gestão**, v. 14, n. 35, p. 151-181, 2014.

BELONIA, Camila Ferreira Alves. **Percepção sobre a qualidade da água fornecida aos moradores de comunidades rurais de Presidente Kennedy - ES.** 2020. 99 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência, Tecnologia e Educação) – Faculdade Vale do Cricaré, São Mateus - ES, 2020.

BEYENE, Habtamu Addis. **Factors affecting the sustainability of rural water supply systems: The case of Mecha Woreda, Amhara Region, Ethiopia.** Dissertação (Professional Studies) - Cornell University, 2012.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Caderno didático técnico para curso de gestão de sistemas de abastecimento de água em áreas rurais do Brasil.** 1ª edição. 77 p. Brasília, 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Guia para a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico.** 2ª edição. 152 p. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual Funasa de Boas Práticas na gestão de Saneamento em áreas rurais.** 77 p. Brasília: Funasa, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR).** 266 p. Brasília: Funasa, 2019.

BRASIL, Tribunal de Contas da União. **Referencial básico de governança aplicável a órgãos e entidades da administração pública.** Versão 2 - Brasília: TCU, Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2014. 80 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de Saneamento.** Brasília: Funasa. 2015

CÂMARA, Eduardo Arruda. **Um estudo comparativo da eficiência das usinas hidrelétricas do Brasil, utilizando a análise por envoltória de dados DEA.** 2008. 139 p. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2008.

CELLA, Daltro; QUEDA, Oriowaldo; FERRANTE, Vera Lúcia Silveira Botta. A definição do espaço rural como local para o desenvolvimento territorial. **Revista Retratos de Assentamentos**, v.22, n.1, 2019.

CHARNES, A; COOPER, W. W.; RHODES, E. **Measuring the efficiency of decision making units**. European Journal of Operation Research, 1978.

DING, Haoqing. Cause Analysis and Management Countermeasures for Unsafe Drinking Water Quality in Rural Guangxi China. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, 742, 2021.

KOZYREFF FILHO, Ernée; MILIONI, Armando Zeferino. Um método para estimativa de metas DEA. **Revista Produção**, v. 14, n. 2, 2004.

HOFSTETTER, Moritz; KOPPEN, Barbara van; BOLDING, Alex. The emergence of collectively owned self-supply water supply systems in rural South Africa – what can we learn from the Tshakhuma case in Limpopo? **Water SA**, 47(2) 253–263, 2021.

HOWARD, Guy; BARTRAM, Jamie. **Domestic water quantity, service level and health**. Geneva: World Health Organization, 2003.

GOMES, Eliane Gonçalves; MELLO, João Carlos C. B. Soares de; LINS, Marcos Pereira Estellita. (2003) **Deslocamento de DMUs pela fronteira de eficiência em modelos de Análise de Envoltória de Dados com Ganhos de Soma Zero**. Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Natal, RN, Novembro, 2003.

GOMES, Eliane Gonçalves; MELLO, João Carlos C. B. Soares de; LINS, Marcos Pereira Estellita. Redistribuição de inputs e outputs em modelos de análise envoltória de dados com ganhos de soma zero. **Pesquisa Operacional**, v.24, n.2, p.269-284, 2004.

LETA, Fabiana Rodrigues et al. Análise de envoltória de dados para alocação de recursos: uma proposta de algoritmo sequencial. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 35., 2003, Natal. **Anais [...]**. Natal: SOBRAPO, 2003.

LI, Xiaoqin et al. A Novel Intelligent Leakage Monitoring-Warning System for Sustainable Rural Drinking Water Supply. **Sustainability**, 14, 6079, 2022.

LOLLI, Paola Lemos. **Utilização da Análise de Envoltória de Dados (DEA) como modelo para análise de eficiência financeira**. Curso de Especialização em Finanças - Turma XXIII. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LOPES, Manuela de Mesquita; BRANCO, Verônica T. F. Castelo; SOARES, Jorge Barbosa. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Revista Transportes**, v. 21, n. 1, p. 59–66, 2013.

MACDONALD, Alan M. et al. **Evidence in the Horn of Africa of the resilience of rural water supply to drought**. In: UNICEF, 2021.

MALIMA, Tuwani Petrus; KILONZO, Beata; ZUWARIMWE, Jethro. Intervention strategy for effective water supply system to rural communities in Vhembe District, South Africa. **Journal of Agribusiness and Rural Development**, 2(60), 169–182, 2021.

MANTILLA, William Carrasco. **Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales**. In: CEPAL. Documento de proyecto. Santiago de Chile: CEPAL. n. 388, 2011.

NORBERTO, Tamyse Campos Bueno. Desafios do saneamento básico rural no cenário da reforma agrária. **Extraprensa**, São Paulo, v. 15, n. esp, p. 313 – 328, 2022.

OLAWADE, David B. et al. Assessment of Rural Water Supply in Selected Communities in Osun State, Nigeria. **International Journal Environ Sci Nat Resources**, 26(1), 2020.

OLIVEIRA, Janine Patrícia Melo; et al. Saúde/doença: as consequências da falta de saneamento básico. **INTESA – Informativo Técnico do Semiárido(Pombal-PB)**, v.9, n 2, p 23 -29, 2015.

OMAROVA, Alua et al. Water Supply Challenges in Rural Areas: A Case Study from Central Kazakhstan. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 16, 688, 2019.

PACIFICO, Amanda Cristina Nunes et al. Tecnologia para acesso à água na várzea amazônica: impactos positivos na vida de comunidades ribeirinhas do Médio Solimões, Amazonas, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, 37(3), 2021.

PEÑA, Carlos Rosano. Um Modelo de Avaliação da Eficiência da Administração Pública através do Método Análise Envoltória de Dados (DEA). **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 83-106, 2008.

PERONI, Júlia Barros; CARVALHO, Lívia Hernandes; LANNES, Lucíola Santos. Aspectos de qualidade da água e saneamento básico em um assentamento rural no interior de São Paulo: diagnóstico e perspectivas para a melhoria da qualidade sócio- ambiental. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021.

PIRES, Magda Carvalho; et al. **Estatística não paramétrica básica no software R: uma abordagem por resolução de problemas**. Disponível em: <http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/RTE_02_2018.pdf> Acesso em 14 jan 2023.

PITERMAN, Ana; GRECO, Rosângela Maria. A água seus caminhos e descaminhos entre os povos. **Revista APS**, v. 8, n. 2, p. 151-164, jul./dez. 2005. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nates/files/2009/12/agua.pdf>>. Acesso em: 22 jan 2023.

PONTES, Antonio Carlos Fonseca. **Obtenção dos níveis de significância para os testes de Kruskal-Wallis, Friedman e comparações múltiplas não-paramétricas**. 2000. 142 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2000.

RAUT, Kalyani. **Sustainability of Community Water Supply Systems Managed by Water User Committee. - A Case Study of Rural Water Supply System in Nepal.** 2014. 66 p. Dissertação - Norwegian University of Life Sciences, 2014.

RIBEIRO, Nathalia Roland de Souza. **Entrada na agenda, formulação e (não) implementação de uma política de saneamento: o caso do projeto nacional de saneamento rural (1985).** 2020. 273 p. Tese (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

ROSA, Lucelina Rosseti. Apontamentos sobre as categorias rural, urbano, campo, cidade: a perspectiva de um *continuum*. Cadernos de Campo: **Revista de Ciências Sociais.** n. 11, 2017.

SALOM, Nespect; KHUMALO, Prudence. Challenges Facing Community Management of Rural Water Supply: The Case of Ohangwena Region, Namibia. **African Studies Quarterly**, Volume 21, Issue 1, 2022.

SANTOS, Andresa Regina Arthuso dos; CRUZ, Larissa Aparecida da; GONTIJO, Hebert Medeiros. Estudo dos sistemas de água e esgoto na comunidade rural de Capela Branca em Bela Vista de Minas/MG. **Research, Society and Development**, vol. 8, núm. 2, p. 01-29, 2019.

SANTOS, Gesmar Rosa dos; SANTANA, Adrielli Santos de. **Gestão Comunitária da Água: Soluções e Dificuldades do Saneamento Rural no Brasil.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2020.

SCHEFFLER, Jéssica et al. Qualidade das águas subterrâneas de consumo humano em comunidades rurais no noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental.**, v.11 n. 1, p. 72-92, 2022.

SILVA, Allyson Sullyvan Rodrigues. **Autogestão de sistemas rurais de abastecimento de água: estudo de caso na comunidade quilombola de Lagedo, São Francisco - MG.** 2016. 161 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio

Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

SILVA, Antônio Pacheco. **História do Saneamento Básico**. Itu: Conselho de Regulação e Fiscalização, 2016. Disponível em: <https://itu.sp.gov.br/wp-content/uploads/2016/ar_itu/conselho_regulacao_fiscalizacao/2016_11_09_6_reunia_o_ord_consregfis_ar_itu.pdf>. Acesso em: 22 jan 2023.

SIMONATO, Danitielle Cineli; et al. Saneamento rural e percepção ambiental em um assentamento rural - São Paulo - Brasil. **Revista Retratos de Assentamentos**, v.22, n.2, 2019.

TAMAYO, Oscar Fernando Guio; LICHT, Ingrid Marcela Monroy. **Medición de la eficiencia relativa de agentes generadores de energía eléctrica en Colombia (año 2001)**. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 2003.

TESFAYE, Yewondwossen. **A comparative study on Woreda managed and community managed rural water supply projects, with respect to their planning, implementation functionality and utilization. The case of Amhara National Regional State, Ethiopia**. Dissertação (Programme in Rural Development, M.A.(RD)) - St. Mery's University, Addis Ababa, 2012.

TIFOW, Ally Abdi. **Factors influencing sustainability of rural water supplies in Kenya: (case of UNICEF supported rural water projects in lake Victoria South and lake Victoria North water services board regions)**. Dissertação (Business Administration/Strategic Management Option) - Kenyatta University, 2013.

VIEIRA, Maria Clara de Sousa. **Diagnóstico do saneamento básico rural: um estudo de caso na comunidade Casa Forte, Pombal - PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Pombal, 2022.

WENTZ, Fabiane Malakowski de Almeida; NISHIJIMA, Toshio. A Educação Ambiental como meio de ação nas atividades agrícolas para preservação dos solos

e da água nas comunidades rurais do município de Santo Ângelo-RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (REGET)**, v. 4, n. 4, p. 558-571, 2011.

WHITTINGTON, Dale. How well is the demand-driven, community management model for rural water supply systems doing? Evidence from Bolivia, Peru and Ghana. **Water Policy**, p. 696–718, 2009.