ÍNDICE DE DESEMPENHO DA GESTÃO DOS PROJETOS PÚBLICOS DE IRRIGAÇÃO (PPIs)

Samiria Maria Oliveira da Silva[1]; Larissa Zaira Rolim[2]; Gabriela de Azevedo Reis[3]; Leonardo de Sousa Sampaio[5]; Mariane Moreira Ravanello[4]; Leandro Mendes da Silva[4]; Anita Cristina Costa da Silva[4]; Rodrigo César de Moraes Fonseca[4]; Rebeca de Alencar Costa[1].

RESUMO – A gestão dos Projetos Públicos de Irrigação (PPIs) exige estruturas complexas para garantir o uso sustentável dos recursos hídricos. Este trabalho objetiva avaliar o desempenho de 26 PPIs geridos pelo DNOCS e pela Codevasf através da criação do Índice de Desempenho da Gestão (IDG). A metodologia utilizou a Análise de Envoltória de Dados (DEA CCR), combinando sete indicadores de desempenho, dentre eles a rentabilidade da água, a eficiência operacional e a geração de empregos, em uma métrica unificada. Os resultados mostraram que a maioria dos projetos opera com desempenho abaixo do ideal, com IDG médio de 0,45, além de identificar que apenas cinco unidades atingiram o máximo desempenho técnico. A análise de folgas revelou os principais gargalos na utilização dos recursos, evidenciando a geração de empregos como o fator limitante associado ao baixo desempenho na maioria dos PPIs. Conclui-se que o IDG é uma ferramenta estratégica eficaz que oferece uma visão holística para identificar obstáculos, priorizar investimentos e auxiliar na alocação inteligente de recursos, promovendo o aprendizado e a adoção de melhores práticas na gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT – The management of Public Irrigation Projects (PIPs) requires complex structures to ensure the sustainable use of water resources. This study aims to evaluate the performance of 26 PIPs managed by DNOCS and Codevasf through the creation of the Management Performance Index (MPI). The methodology used Data Envelopment Analysis (DEA CCR), combining seven performance indicators, including water profitability, operational efficiency, and job creation, into a unified metric. The results showed that most projects operate below the ideal performance level, with an average MPI of 0.45, and identified that only five units achieved maximum technical performance. The slack analysis revealed the main bottlenecks in resource use, highlighting job creation as the limiting factor associated with low performance in most PIPs. The study concludes that the MPI is an effective strategic tool that provides a holistic view for identifying obstacles, prioritizing investments, and supporting the intelligent allocation of resources, thereby promoting learning and the adoption of best practices in water resources management.

Palavras-Chave – Projetos Públicos de Irrigação, Análise de Envoltória de Dados, Gestão de Recursos Hídricos.

[1]) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici; e-mail: samiriamaria@gmail.com, rebecaalcr@gmail.com.
[2]) Universidade de Brasília (UNB); e-mail: larissazairarr@gmail.com.
[3]) Instituto Nacional do Semiárido (INSA); e-mail: gabriela.reis@insa.gov.br.
[4]) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA); e-mail: anita.silva@ana.gov.br, rodrigo.fonseca@ana.gov.br, leandro.silva@ana.gov.br, mariane.ravanello@ana.gov.br.
[5]) Programa de Modelagem e Métodos Quantitativos, Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici; e-mail: leonardo.ssampaio95@gmail.com

INTRODUÇÃO

A água é considerada o recurso essencial de manutenção e promoção do desenvolvimento econômico sustentável, além de constituir um fator de controle ambiental e um recurso renovável devido à sua natureza cíclica (Yang *et al*., 2021). De acordo com o relatório do IPCC, com as alterações climáticas são esperadas variações na temperatura global, da superfície e dos oceanos, além de impactos no balanço energético e hídrico do planeta (Stocker *et al.*, 2013). Essas mudanças podem trazer consequências diretas como a modificação do regime de vazões e dos volumes armazenados nos reservatórios, afetando setores como irrigação, indústria e o abastecimento de água, dentre outros serviços ambientais (Fernandes & Studart, 2022).

Os Projetos Públicos de Irrigação (PPIs) funcionam como polos de irrigação locais e regionais, concentrados principalmente na região semiárida devido ao histórico de escassez de recursos, e apresentam heterogeneidade substancial em idade, área irrigada, tipo de cultura e capacidade de armazenamento de água (Fragoso & Pizaia, 2023). A gestão dos projetos abrange as atividades de captação e distribuição da água, administração, manutenção e conservação da infraestrutura de uso comum e de apoio à produção. Assim, destaca-se a necessidade de uma estrutura de certa complexidade para elucidar as características e o desempenho da governança de recursos para o desenvolvimento de um regime mais adaptativo e sustentável (Pahl-Wostl, 2009).

Para avaliar esse serviço, o poder concedente dos projetos de irrigação estabelece indicadores de desempenho, os quais são avaliados por meio de relatórios anuais entregues pelo concessionário ao cedente. Os indicadores de desempenho assumem importância estratégica na avaliação do desempenho da gestão por serem mensuráveis e permitirem a seleção e priorização de projetos conforme critérios pré-estabelecidos.

Diversos estudos têm abordado metodologias para o monitoramento dos sistemas de irrigação, estabelecendo indicadores que permitem avaliar o desempenho e identificar oportunidades de melhoria na gestão. Segundo Bos (1997), os indicadores de desempenho para irrigação e drenagem são fundamentais para compreender a eficiência dos sistemas, promovendo uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos. Portanto, é essencial adaptar essas ferramentas de avaliação às especificidades regionais e às características de cada projeto para garantir uma visão contextualizada da gestão dos recursos hídricos em distritos de irrigação (Martinez-Tunarroza et al., 2022).

Diante disso, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho dos projetos públicos de irrigação, reunindo informações de diferentes indicadores em uma única métrica, o Índice de Desempenho da Gestão (IDG), desenvolvido por meio da aplicação do método DEA CCR. Esse índice visa identificar as unidades que atingiram maior desempenho e utilizar a análise de folgas dos indicadores para diagnosticar os principais fatores determinantes dessas condições, além dos maiores

desafios que impedem os sistemas de atingirem seus melhores resultados. A métrica oferece uma visão holística da performance, permitindo que os gestores avaliem o sistema de forma integrada, identificando a interação entre os componentes e os fatores que impactam o desempenho geral para auxílio no direcionamento de recursos de forma mais inteligente e estratégica.

2. METODOLOGIA

2.1 Indicadores de desempenho

Para este estudo foram utilizados indicadores aplicados pelo DNOCS e/ou Codevasf no monitoramento dos projetos de irrigação sob sua responsabilidade (Tabela 1), são eles: rentabilidade da água, intensidade de uso do solo, eficiência operacional da água, autossuficiência financeira, adimplência da tarifa K2, rentabilidade da área e geração de empregos.

Os indicadores dos PPIs sob responsabilidade do DNOCS foram obtidos a partir do Relatório de Gestão (DNOCS, 2023). Por sua vez, os indicadores RA, EOA, IAF e AD dos PPIs da Codevasf foram extraídos do Relatório de Gestão - Ano 2021 (Codevasf, 2021). Já os indicadores GE, IUS e RAR foram calculados com base nos dados obtidos no setor de produção da Codevasf para o ano-base de 2023.

Tabela 1 – Indicadores de desempenho utilizados no cálculo do IDG.

Indicadores	Equação	Unidade
Rentabilidade da Água (RA)	$RA = \frac{Valor\ Bruto\ de\ Produção}{\text{Volume de Água Fornecido}}$	R$/m³
Intensidade de uso do solo (IUS)	$IUS = \left(\frac{Área\ cultivada}{Área\ irrigável}\right) x\ 100$	%
Eficiência Operacional da Água (EOA)	$EOA = \left(\frac{Volume\ de\ água\ fornecido}{Volume\ de\ água\ captado}\right) x\ 100$	%
Autossuficiência financeira (IAF)*	$IAF = \left(\frac{\text{Receita anual gerada pelo distrito}}{\text{Orçamento Operativo Anual}}\right) x\ 100$	%
Adimplência da tarifa K_2 (AD)**	$AD = \left(\frac{\text{Total de tarifa K2 recebida}}{\text{Total de tarifa K2 emitida}}\right) x\ 100$	%
Rentabilidade da Área (RAR)	$RAR = \frac{Valor\ Bruto\ de\ Produção}{\text{Área Irrigável}}$	R$/ha
Geração de Empregos (GE)	$GE = \frac{Número\ de\ Empregos\ Gerados}{\text{Área Irrigável}}$	Unid/ha

Fonte: Adaptado de DNOCS (2023)

É importante ressaltar que algumas conversões foram feitas para atender à metodologia da elaboração do índice global, como a conversão dos valores de inadimplência da tarifa K2 em

adimplência. Além disso, o orçamento operativo para o cálculo do IAF é o valor mensal do plano de trabalho para administração, operação e manutenção da IUC.

Esses indicadores foram organizados para 26 PPIs, dos quais seis são de responsabilidade institucional do DNOCS e o restante da Codevasf, para posteriormente serem utilizados na estimativa do Índice de Desempenho da Gestão.

2.2 Análise Envoltória de Dados (DEA)

O índice foi obtido por meio do método de Análise Envoltória de Dados (DEA CCR), cujo escore de eficiência relativa foi utilizado como base para a construção do Índice de Desempenho da Gestão (IDG), permitindo avaliar comparativamente os PPIs. O modelo CCR, também chamado de CRS (Constant Returns to Scale), elaborado por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), considera retornos constantes à escala e assume proporcionalidade entre insumos (inputs) e produtos (outputs).

A metodologia aplicada nesse estudo segue o pressuposto de orientação por insumo e retornos constantes à escala, o que significa que uma mudança proporcional nos insumos está associada a uma mudança proporcional no produto, representado pela rentabilidade da água, variável de saída do modelo. A escolha da orientação ao insumo justifica-se pela necessidade de otimizar os recursos hídricos disponíveis, buscando a redução do consumo de água sem prejuízo à produção. Esse modelo é representado pela seguinte expressão:

$$max\ h_0 = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r\, y_{r0}}{\sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{i0}} \tag{1}$$

sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r\, y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{ij}} \leq 1, \qquad j = 1, \dots, n \tag{2}$$

$$u_r, v_i \geq 0, \qquad r = 1, \dots, s;\ i = 1, \dots, m \tag{3}$$

Em que h_0 representa o escore da unidade avaliada, *x* e *y* representam, respectivamente, o insumo *i* e o produto *r* na unidade *j*, v_i, u_r são os pesos atribuídos aos insumos e produtos e *m*, *n* e *s* indicam o número de PPIs, insumos e produtos considerados.

Nesse sentido, o DEA CCR foi executado por meio da linguagem estatística R, usando o programa RStudio como interface computacional. Considerou-se que a gestão do PPI apresenta melhor desempenho quando se obtém o maior rendimento econômico da água, ou seja, quando se obtém o maior valor bruto da produção agrícola por metro cúbico de água empregada na irrigação. O IDG do PPI é classificado em três categorias: Baixo, Médio e Alto. A classificação deste índice é indicada no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação do IDG.

Classificação	Índice
Baixo	Abaixo de 50%
Médio	De 50% a 80%
Alta	Acima de 80%

3. RESULTADOS

A distribuição dos indicadores calculados após a normalização é apresentada em formato de boxplots, permitindo uma análise mais detalhada da variabilidade dos dados. Eles exibem a mediana, os quartis e possíveis *outliers*, fornecendo uma visão clara da dispersão e da presença de valores atípicos em cada variável. Esses boxplots apresentam os resultados para os indicadores dos projetos de responsabilidade do DNOCS e da Codevasf, respectivamente.

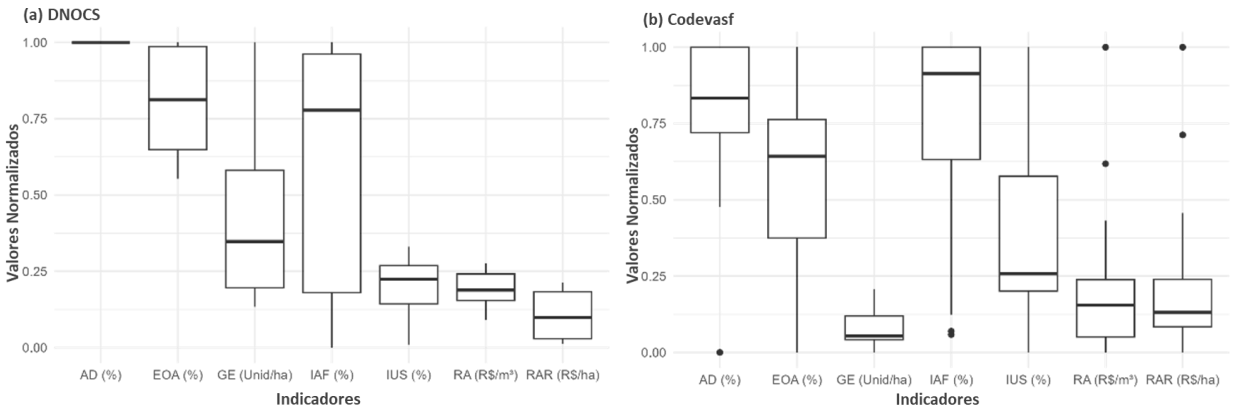


Figura 1 - Boxplots dos indicadores de desempenho normalizados para os PPIs do DNOCS (a) e da Codevasf (b)

Analisando os resultados dos boxplots, percebe-se que a adimplência (AD) tem uma mediana alta em ambos os grupos, próxima de 1, e menor variabilidade em comparação com IAF e EOA, por exemplo, indicando que muitas observações estão próximas do valor máximo, refletindo uma alta adimplência na maioria dos casos.

Segundo Junqueira (2009), a eficiência operacional é também conhecida como eficiência de condução e está relacionada ao estado de conservação das infraestruturas, tipo de infraestruturas de condução e distribuição, como canal ou tubulação, forma de condução por gravidade ou pressurizada, qualidade da gestão das atividades de operação e a existência de dispositivos de medição de vazão. Este indicador revelou uma ampla dispersão, particularmente para os perímetros da Codevasf. Já nos perímetros do DNOCS, embora a dispersão ainda seja considerável, há um maior agrupamento dos valores ao redor da mediana de 0,75. Observando os valores absolutos, tem-se EOA maior ou igual a 100% para o Brumado, o Jaíba e o Tourão.

O GE também apresentou variações significativas. Nos projetos do DNOCS, a dispersão foi mais acentuada, indicando que alguns projetos apresentam baixa geração de emprego por hectare,

enquanto outros são bem mais eficazes. Na Codevasf, os valores foram menos dispersos, sugerindo um padrão de desempenho mais uniforme. Da mesma forma, o *boxplot* do IAF apresenta uma distribuição ampla para os projetos do DNOCS, com uma mediana próxima ao valor máximo, indicando que a maioria das observações tende a ter autossuficiência financeira alta, mas com algumas observações bem mais baixas.

O IUS revelou diferenças entre os dois grupos. Nos projetos da Codevasf, a variação foi maior quando comparada com o do DNOCS, mas ambos apresentam uma média em torno de 0,25. Já o RA exibe uma mediana baixa e uma distribuição compacta entre 0 e 0,5, com exceção de dois projetos, Gorutuba (10,93 R$/m³ em valores absolutos) e Senador Nilo Coelho (7,05 R$/m³ em valores absolutos). Por outro lado, o RAR (R$/ha) apresentou um comportamento semelhante entre as instituições. Apesar dessas diferenças, os projetos da Codevasf possuem *outliers* com arrecadação significativamente acima da média, refletindo o comportamento da receita anual.

Com base nesses indicadores avaliados e nos cálculos previstos na metodologia, a Figura 2 apresenta as estimativas do Índice de Desempenho da Gestão (IDG) para os 26 projetos analisados. Os resultados indicam uma distribuição heterogênea do desempenho entre os projetos, com 4 classificados como alto, 6 como médio e o restante enquadrado na categoria de baixo desempenho. A média do IDG foi de 0,45, enquanto o valor mínimo registrado foi 0,08 (Cotinguiba/Pindoba).

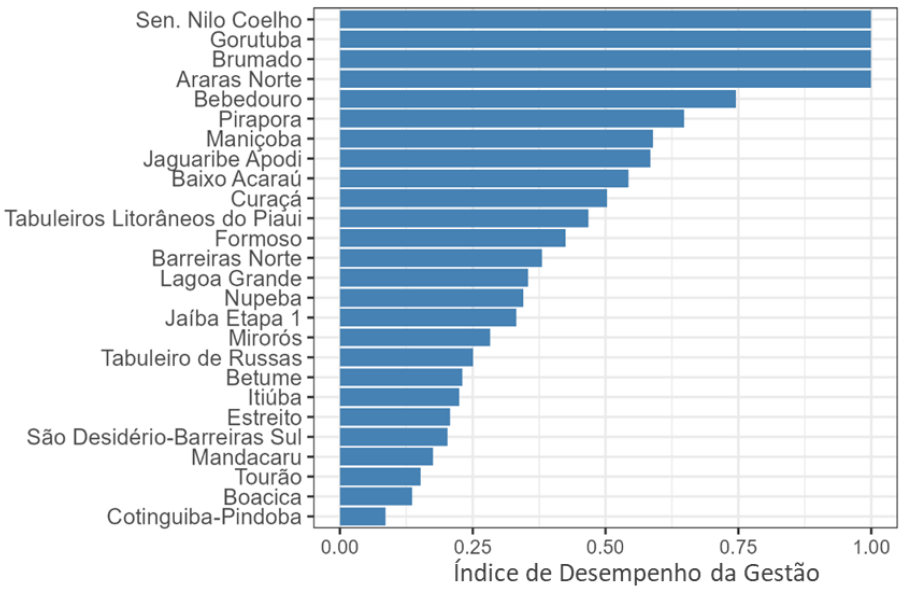


Figura 2 – Estimativa do Índice de Desempenho da Gestão (IDG).

Isso demonstra que, embora alguns projetos tenham alcançado níveis satisfatórios de desempenho, a maioria ainda opera abaixo do ideal. De acordo com a classificação adotada neste estudo, o nível geral de desempenho permanece em um patamar moderado, indicando que há margem

para melhorias na gestão dos projetos. Dentre os projetos classificados como alto desempenho, destacam-se o Senador Nilo Coelho, Gorutuba, Brumado e Araras Norte, com IDG igual a 1.

Considerando o total de projetos sob a responsabilidade do DNOCS (37) e da Codevasf (40), observa-se a possível ocorrência de viés de seleção, pelo fato de os PPIs que têm melhor gestão também serem aqueles que fazem o controle, monitoramento e registro dos dados.

A análise de folgas (*slacks*) relaciona os valores dos indicadores dos PPIs aos seus respectivos resultados no IDG. Quando o boxplot de um indicador de insumo mostra que uma unidade específica está no topo do gráfico, como um *outlier* superior, e sua pontuação DEA é baixa, isso indica um uso de recursos acima da média do grupo para entregar resultado semelhante. Nessa análise, é possível calcular quanto uma unidade com baixo desempenho precisa reduzir de insumo ou aumentar de produto para alcançar a fronteira de desempenho. Esse resultado é apresentado na Figura 3.

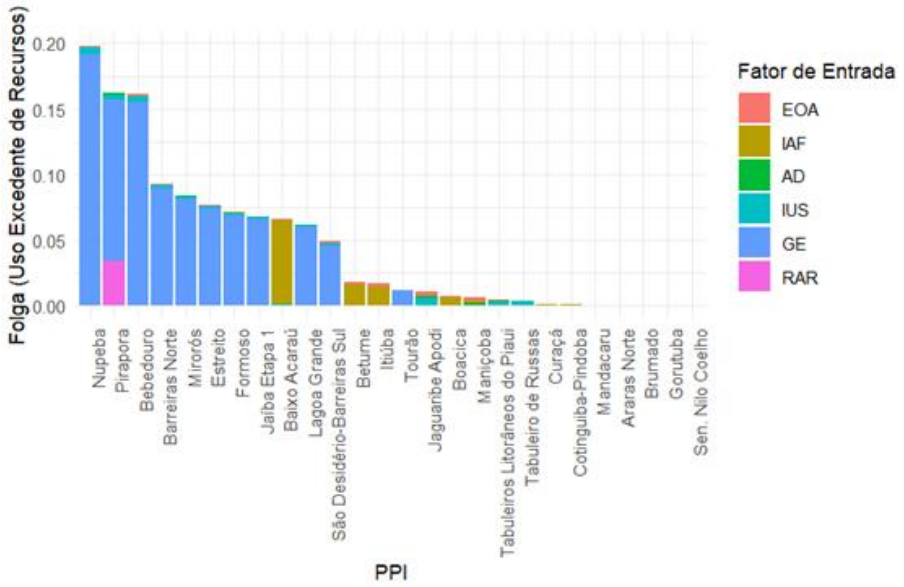


Figura 3 – Contribuição das folgas por fator para cada projeto.

Entre os projetos analisados, destacam-se cinco como tecnicamente situados na fronteira de desempenho, ou seja, sem folgas: Senador Nilo Coelho, Gorutuba, Brumado, Mandacaru e Araras Norte**.** Isso indica que esses projetos conseguem maximizar a produção com o uso otimizado de insumos, sem desperdícios significativos.

Por outro lado, projetos como Nupeba, Pirapora e Bebedouro apresentam as maiores folgas, indicando uso excessivo de recursos. A principal fonte dessas folgas está associada ao indicador de Geração de Empregos (GE). Os projetos situados na parte intermediária do gráfico, como Mirorós, Estreito e Formoso, apresentam folgas moderadas, sugerindo que há desvios de desempenho, mas em menor escala.

No geral, a decomposição das folgas por fator evidencia que o GE é o principal determinante do baixo desempenho na maioria dos projetos analisados. No entanto, em alguns casos específicos, outros fatores como IAF, IUS e o RAR também exercem influência nesse sentido, indicando quais são os principais gargalos em relação aos indicadores e ao desempenho de cada projeto de irrigação analisado.

4. CONCLUSÕES

Diante desse cenário, a utilização de um índice global que integre diversas dimensões do desempenho oferece uma abordagem estratégica e abrangente para a avaliação dos serviços hídricos de irrigação. Essa ferramenta proporciona uma visão unificada ao consolidar diferentes dimensões do desempenho, o que resulta em vantagens significativas para o futuro da gestão e da regulação do setor.

Além disso, o índice global facilita a identificação de prioridades. Ao reunir múltiplos indicadores em uma única métrica, ele ajuda a destacar áreas críticas que necessitam de maior atenção. Por exemplo, na identificação das folgas, na qual fica evidente a necessidade de ajuste em alguns projetos de irrigação para melhor utilização dos recursos e melhor desempenho do sistema. Portanto, um índice baixo pode sinalizar que as perdas hídricas, a gestão inadequada ou a ausência de treinamentos estão comprometendo o desempenho geral, permitindo direcionar os esforços de forma mais estratégica.

Os resultados encontrados também são essenciais para auxiliar gestores, formuladores de políticas e os próprios irrigantes a compreender a situação geral do sistema, fortalecendo o diálogo entre as partes interessadas e contribuindo para decisões mais fundamentadas.

Este índice pode ser aprimorado com a existência de informações mais detalhadas da gestão e operação dos PPIs, trazendo novas possibilidades para estudos futuros. Ele possibilita a comparabilidade ao padronizar os critérios de avaliação, tornando mais simples comparar diferentes projetos, distritos ou sistemas de irrigação. Essa uniformidade é essencial para identificar as referências de excelência, promover o aprendizado entre projetos e incentivar a adoção de melhores práticas.

Assim, o estudo realizado e os resultados obtidos mostram que o índice é uma ferramenta eficaz para o monitoramento e acompanhamento do desempenho ao longo do tempo. A evolução do índice permite avaliar o impacto de intervenções, programas de melhoria e investimentos em infraestrutura ou capacitação técnica, possibilitando ajustes oportunos para maximizar os resultados.

AGRADECIMENTOS

Ao projeto "Revisão, desenvolvimento e aprimoramento da regulação dos serviços hídricos no Brasil" e à Fundação de Apoio a Serviços Técnicos, Ensino e Fomento a Pesquisas (FASTEF) pelo financiamento desse estudo.

REFERÊNCIAS

BOS, M.G. (1997). *"Performance indicators for irrigation and drainage"*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, 105 p.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. (1978). "*Measuring the efficiency of decision making units*". European Journal of Operational Research 2(6), pp. 429–444.

CODEVASF. [COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA]. (2022). Relatório de Gestão de 2021. Codevasf, Brasília, 91 p.

DNOCS. [DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS]. (2024). Relatório de Gestão 2023. DNOCS, Brasília, 97 p.

FERNANDES, R.O.; STUDART, T.M.C. (2022). *"Gestão adaptativa de recursos hídricos para um mundo em mudança".* Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental 11(4), pp. 292 – 318.

FRAGOSO, R.M.S.; PIZAIA, M.G. (2023). *"Efficiency and Its Determinants in the Public Irrigation Projects of Brazil"*. Revista de Economia e Sociologia Rural 61(4), e276113.

JUNQUEIRA, A.S. (2009). *"Avaliação dos Projetos Públicos de Irrigação (PPI) por meio de indicadores de desempenho"*. Monografia de Especialização, Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), Brasília, 68 p.

MARTINEZ-TUNARROZA, A.; et al. (2022). *"Methodological design to determine water resource management indicators in Irrigation district"*. Agronomy 72, p. 1407.

PAHL-WOSTL, C. (2009). *"A Conceptual Framework for Analysing Adaptive Capacity and Multi-Level Learning Processes in Resource Governance Regimes".* Global Environmental Change 19, pp. 354 – 365.

STOCKER, T.F.; et al. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

YANG, D.; YANG, Y.; XIA, J. (2021). *"Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review".* Geography and Sustainability 2(2), pp. 115 – 122.