



Graduação Pós-Graduação
 Artigo completo Relato de prática Resumo expandido

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA HÍDRICA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PARA CULTIVO DE AÇAÍ NA AMAZÔNIA

Hinton Hennington Portilho Bentes Neto
Universidade da Amazônia - UNAMA
falecom@hintonbentes.com.br

Edmar dos Santos Rocha Junior
Universidade da Amazônia - UNAMA
edmar.rochajr@gmail.com

Markos Thadeu Campelo Barroso
Instituto Federal do Pará - IFPA
markosthadeu@gmail.com

João Lazaro dos Santos Rodrigues
Instituto de Estudos Sustentáveis e Tecnológicos da Amazônia - AMAZONIA TEC
joao@amazoniatec.com.br

Camilly Cantuaria Moutinho dos Santos
Universidade Federal Rural do Pará - UFRA
camilly@amazoniatec.com.br

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar comparativamente a eficiência hídrica em sistemas de irrigação voltados ao cultivo de açaí nos municípios amazônicos de Abaetetuba e Igarapé-Miri, avaliando a influência da vulnerabilidade hídrica na produtividade. Fundamentado nos conceitos de desenvolvimento como liberdade, governança dos comuns e gestão de stakeholders, emprega abordagem mista, combinando análise qualitativa e quantitativa, com dados secundários e indicadores de desempenho. A pesquisa evidencia que Igarapé-Miri apresenta maior eficiência hídrica e produtividade, porém enfrenta maior vulnerabilidade dos aquíferos, ressaltando a necessidade de governança participativa para a sustentabilidade hídrica. Os resultados geram implicações práticas para políticas públicas e gestão local, reforçando a importância de contratos sociais, monitoramento comunitário e incentivos para recarga artificial. Limitações estão relacionadas à restrição geográfica e à ausência de séries históricas longas. O estudo contribui com um diagnóstico que integra indicadores ambientais a modelos produtivos, ampliando a compreensão da sustentabilidade em contextos hidrológicos complexos na Amazônia.

Palavras-chave: Irrigação sustentável, Vulnerabilidade hídrica, Gestão comunitária, Desenvolvimento regional, Recursos naturais.

1 INTRODUÇÃO

A análise comparativa entre países lusófonos e anglo-saxões (BENTES et al., 2025a) demonstra que a pandemia ocorrida devido a COVID-19 teve impactos significativos nos setores de água potável e saneamento e a gestão sustentável dos recursos hídricos na Amazônia não ficou de fora deste desafio crítico, especialmente no contexto da produção de açaí, *Euterpe oleracea Mart.*, fruto emblemático da região que é fundamental para a segurança alimentar e a economia local e o Pará, responsável por mais de 90% da produção nacional de açaí (IBGE, 2023), enfrenta pressões hídricas crescentes devido às mudanças climáticas e à expansão agrícola.

Nesse cenário, a irrigação eficiente torna-se um fator determinante para garantir a produtividade e a sustentabilidade do cultivo, alinhando-se diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 (Água limpa e saneamento) e, indiretamente, com o ODS 2 (Fome zero) (BENTES et al., 2022) e no contexto global, a escassez hídrica afeta regiões semiáridas e tropicais, exigindo soluções adaptativas e no Brasil, a Amazônia, apesar de sua abundância hídrica superficial, apresenta vulnerabilidades em aquíferos e desigualdades no acesso à água (MAIA et al., 2024).

Contudo, a heterogeneidade nos regimes pluviométricos, na infraestrutura hídrica e na vulnerabilidade dos aquíferos impõe desafios significativos ao desenvolvimento regional e à implementação de sistemas de irrigação otimizados (TAGORE; VASCONCELLOS SOBRINHO; CANTO, 2024, p. 330).

A crescente demanda por açaí como produto estratégico na bioeconomia amazônica evidencia a relevância de práticas irrigatórias eficientes para a sustentabilidade socioeconômica da região, especialmente nos municípios de Abaetetuba e Igarapé-Miri, o cultivo irrigado de açaí articula diretamente os ODS 6 ao promover gestão hídrica adequada, e ODS 2 ao garantir a segurança alimentar regional (QUARESMA; EULER, 2023, p. 80).

Regionalmente, municípios como Abaetetuba e Igarapé-Miri, polos produtores de açaí, ilustram essa contradição enquanto a várzea é naturalmente irrigada, áreas de terra firme dependem de sistemas artificiais, cuja eficiência varia significativamente (TAGORE et al., 2024).

No plano teórico, adota-se a perspectiva de desenvolvimento humano ampliado, conforme Sen (1999), que concebe a liberdade como condição central para a expansão das capacidades individuais e coletivas e nesse contexto, a manutenção de recursos hídricos adequados constitui fator de empoderamento socioeconômico nas comunidades envolvidas no



cultivo de açaí, pois “o desenvolvimento deve ser visto como um processo de expansão das liberdades reais gozadas pelas pessoas” (SEN, 1999, p. 45).

Paralelamente, a fundamentação metodológica baseia-se no paradigma de pesquisa em administração proposto por Saccol (2009), que enfatiza a articulação entre teoria e prática para a geração de conhecimento aplicável, onde “os paradigmas de pesquisa direcionam as escolhas metodológicas e os resultados que podem ser alcançados” (SACCOL, 2009, p. 252).

Por fim, recorre-se à abordagem de benchmarking para sistemas de irrigação, conforme Malano e Burton (2004), que recomendam indicadores de desempenho (KPIs) como instrumentos de diagnóstico e melhoria contínua pois “o benchmarking em irrigação permite comparar práticas e resultados para orientar decisões técnicas e gerenciais” (MALANO; BURTON, 2004, p. 120).

Este estudo adota a abordagem do desenvolvimento como liberdade de Amartya Sen, que enfatiza a importância das capacidades institucionais e tecnológicas para promover equidade “o desenvolvimento requer que sejam removidos os principais obstáculos à liberdade: a pobreza, a tirania, a carência de oportunidades econômicas, a destituição social sistemática, a negligência dos serviços públicos” (SEN, 2000, p. 18).

Aplicando essa perspectiva, analisamos como a eficiência na irrigação pode ampliar as oportunidades econômicas para agricultores familiares e complementarmente, seguimos o paradigma interpretativista proposto por Saccol (2009), que valoriza a contextualização dos fenômenos sociais “a pesquisa qualitativa busca compreender os significados que os atores atribuem às suas práticas, inseridas em um contexto específico” (SACCOL, 2009, p. 255).

Diante deste arcabouço, o problema de pesquisa que norteia este estudo é de que forma a vulnerabilidade hídrica e as características estruturais de Abaetetuba e Igarapé-Miri influenciam o desempenho irrigatório e produtivo do açaí avaliado por meio de KPIs comparativos? O objetivo principal consiste em avaliar a performance dos sistemas de irrigação destinados ao cultivo de açaí nesses dois municípios, relacionando-a aos indicadores de vulnerabilidade hídrica (Índice GOD) e a atributos socioambientais e econômicos.

A justificativa deste trabalho reside na escassez de estudos que integrem análises multiescalares de gestão hídrica, produção agrícola e desenvolvimento humano na Amazônia (BENTES, 2023) e apesar do reconhecimento da importância do açaí para a economia nacional, lacunas persistem na compreensão dos fatores que limitam a eficiência irrigadora e, conseqüentemente, as liberdades produtivas dos produtores.

Ao combinar referências de Sen (1999), Saccol (2009) e Malano & Burton (2004) com

dados empíricos de campo, este estudo inova ao propor um diagnóstico comparativo robusto, capaz de subsidiar políticas públicas e estratégias de governança participativa da água, conforme observado por Maia et al. (2024), fomentando a sustentabilidade integrada dos recursos hídricos e o desenvolvimento regional.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O presente artigo opta por oferecer uma estrutura analítica para os problemas socioambientais, combinando a base normativa de desenvolvimento como expansão de capacidades com ferramentas práticas de governança coletiva para uma possível implementação em comunidades rurais que dependem de recursos hídricos compartilhados e a falta de acesso à água, que alguns autores como Sen, podem entender isso como uma privação de liberdade, mas podendo ser mitigada por arranjos institucionais baseados nos princípios de Ostrom.

Tabela 1: Relações entre as Teorias no Estudo de Caso

Aspectos Comuns	Desenvolvimento como Liberdade	Teoria dos Comuns	Teoria dos Stakeholders	Aplicabilidade ao Caso
Participação Comunitária	Liberdade de escolha e voz política são essenciais para o desenvolvimento	A governança eficaz requer envolvimento ativo dos usuários	Engajamento contínuo de atores diversos fortalece decisões	Comunidades locais podem definir regras de uso da água, garantindo acesso justo
Sustentabilidade	A privação de recursos limita capacidades humanas	Sistemas autogestionados evitam a tragédia dos comuns	Valor compartilhado equilibra custos e benefícios	Combate à escassez hídrica através de acordos coletivos

Fonte: Levantamento editorial dos autores

No presente estudo revela que através da integração do ODS 6 e ODS 10 (Redução das desigualdades) destacam a necessidade de acesso equitativo a recursos, enquanto estes mecanismos surgem para evitar a degradação ambiental e juntas, elas permitem analisar tanto a dimensão humana quanto a institucional da sustentabilidade.

Onde este difícil acesso a água pode ser enfrentada com mecanismos de governança local, reforçada por coalizões de stakeholders e a participação democrática na gestão hídrica legítima as regras comunitárias ampliando assim o engajamento de todos os atores, assegurando adaptações eficazes a secas e as variabilidades climáticas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa caracteriza-se por uma abordagem mista, integrando métodos quantitativos e qualitativos para investigar a correlação entre a vulnerabilidade hídrica e o desempenho produtivo do açaí em sistemas de irrigação nos municípios de Abaetetuba e Igarapé-Miri e a estratégia metodológica fundamenta-se na triangulação de dados, articulando a fundamentação teórica com a evidência empírica por meio de um estudo de caso comparativo.

3.1. Estratégia de Pesquisa e Base Teórica

O arcabouço conceitual foi construído mediante pesquisa bibliográfica sistemática, o que permitiu, sob a ótica de Gil (2008) e Lakatos e Marconi (2003), não apenas o mapeamento do estado da arte, mas a reinterpretação de temas clássicos sob novos enfoques. A base teórica sustenta-se nos pilares do Desenvolvimento como Liberdade, Governança dos Comuns e Gestão de Stakeholders.

Para o tratamento qualitativo das referências e documentos, aplicou-se a Análise de Conteúdo (Bardin, 2016), seguindo as fases de leitura flutuante, exploração do material e tratamento das inferências. A coleta de dados foi balizada pelos critérios de inclusão e exclusão detalhados na Tabela 2.

Tabela 2: Critérios de Elegibilidade para a Revisão Bibliográfica

Critério	Inclusão	Exclusão
Recorte Temporal	Publicações 2000-2025	Estudos anteriores a 2000
Idiomas	Português, inglês, espanhol	Outros idiomas
Bases Científicas	SciELO, Scopus, Web of Science, repositórios institucionais	Fontes não revisadas por pares
Relevância Teórica	Relação direta com irrigação, recursos hídricos, ODS, desenvolvimento rural	Estudos sem aplicação prática
Tipo de Fonte	Livros acadêmicos, artigos científicos, teses, dissertações	Literatura cinzenta não acadêmica

Fonte: Elaborado pelos autores

A justificativa deste modelo de elegibilidade surge pelo mapeamento da contemporaneidade e relevância temporal, sobre a questão da acessibilidade e compreensão linguística, a busca de publicações com uma qualidade e rigor científico além da pertinência ao objeto de pesquisa e consequentemente a manutenção da credibilidade científica do trabalho.

3.2. Procedimentos de Coleta e Análise de Dados

A investigação empírica utiliza a estratégia de casos múltiplos (Yin, 2015), focando em unidades de irrigação nos dois maiores polos produtores de açaí da região. A análise foi operacionalizada em duas frentes, a de vulnerabilidade e produtividade, onde utilizou-se o Método GOD para mapear a vulnerabilidade aquífera, com dados provenientes do SIAGAS e ANA. Os indicadores de eficiência produtiva (KPIs) foram extraídos de bases oficiais da SEDAP, FAPESPA e EMBRAPA (recorte 2015-2024). Agora para a análise estatística, os dados quantitativos foram processados no software R Studio (v. 4.5.1), para a geração dos gráficos e as técnicas de estatística descritiva, Correlação de Pearson e Regressão Linear Simples, adotando-se nível de significância de $p < 0,05$.

3.3 Aspectos Éticos e Limitações

A pesquisa fundamenta-se exclusivamente em dados secundários de acesso público, o que dispensa a submissão a comitês de ética, conforme a legislação vigente, embora mantenha o rigor na citação e propriedade intelectual. Como limitações, aponta-se a dependência de dados pontuais de poços cadastrados e a ausência de séries históricas extensas, o que confere ao estudo um caráter exploratório. Contudo, a relevância socioeconômica aos municípios de Abaetetuba e Igarapé-Miri justifica o recorte geográfico, fornecendo subsídios para a proposição de diretrizes de governança participativa alinhadas aos ODS.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Antes de adentrarmos nas questões hídricas específicas dos resultados é importante contextualizar a questão legal uma vez que apesar de avançada, a Lei nº 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH) enfrenta desafios na implementação, especialmente na Amazônia, onde a fiscalização é limitada. Estudos como os de Bentes (2025) destacam que a cobrança pelo uso da água é incipiente em estados como o Pará, onde apenas 12% dos usuários são cadastrados (ANA, 2023).

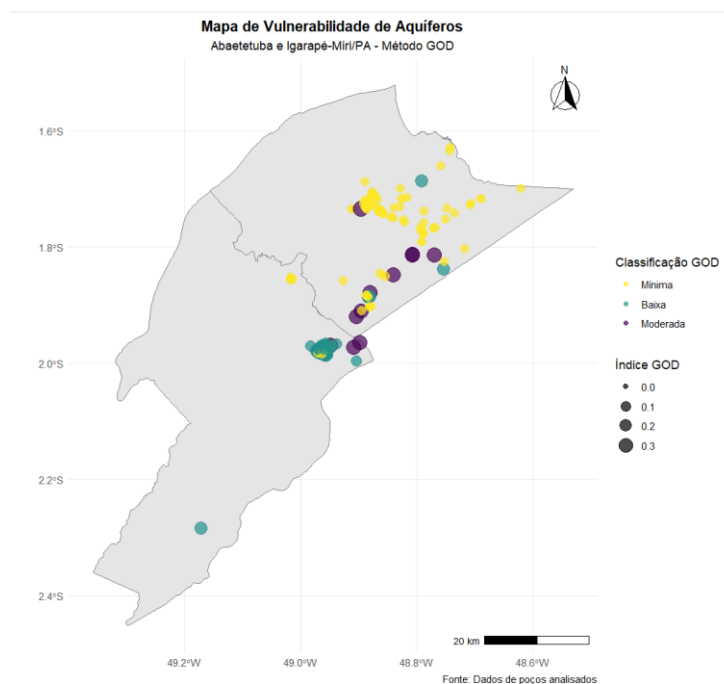
Mesmo existindo diretrizes para outorga de direito de uso de recursos hídricos, Resolução CNRH nº 77/2021, esta resolução não considera especificidades regionais, como a dependência de comunidades ribeirinhas, uma realidade dos municípios estudados, por água de

várzea, um vácuo apontado por Tagore et al. (2024) o que acaba despertando novas maneiras de se pensar na aplicação da legislação como nas práticas dos povos da flores que vivem na região amazônica, Bentes Neto, Rocha Junior e Cruz (2025).

Agora o Estado do Pará com sua lei específica nº 6.381/2001 (Política Estadual de Recursos Hídricos – PERH) que visa garantir a disponibilidade hídrica para o desenvolvimento socioeconômico (Art. 2º) e inclui o enquadramento de corpos d'água e a cobrança pelo uso (Art. 5º), pode ser criticada por sua baixa efetividade, uma vez que segundo dados da SEMAS-PA (2023) mostram que apenas 5% das outorgas são fiscalizadas, comprometendo a gestão em áreas de cultivo de açaí.

Para tanto é importante deixar claro a existência da Portaria SEMAS-PA nº 527/2022, que trata dos critérios para outorga em irrigação, que define vazões máximas para cultivos, incluindo o açaí, todavia a portaria ignora práticas tradicionais de manejo, como as dos ribeirinhos, que dependem de ciclos naturais de cheia (QUARESMA; EULER, 2023).

Figura 1: Vulnerabilidade de Aquíferos

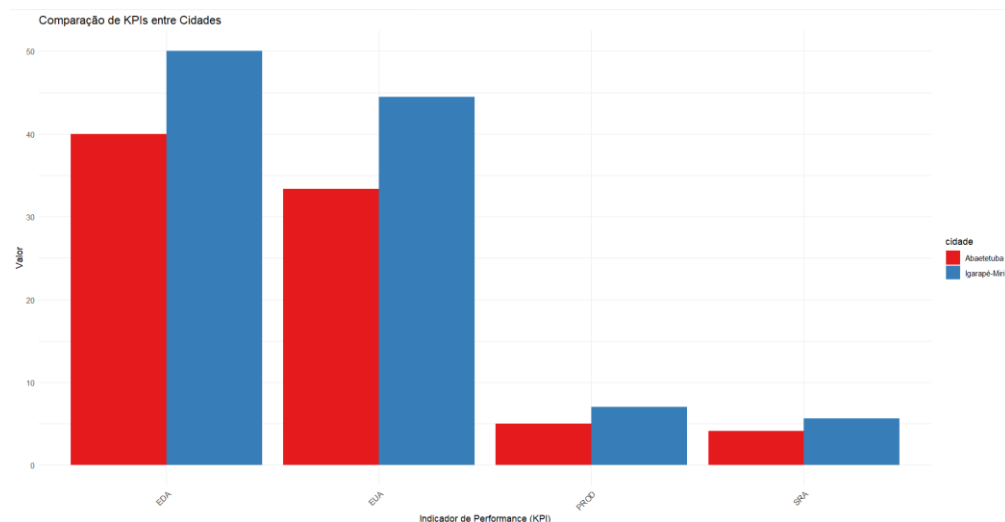


Fonte: SIAGAS e ANA

O mapa evidencia que Igarapé-Miri concentra aquíferos de vulnerabilidade moderada a alta em praticamente todo o seu território, refletindo valores de GOD entre 0,32 e 0,42. Em Abaetetuba, 30% dos poços estão em zona de vulnerabilidade mínima ($GOD < 0,25$), indicando menor risco de contaminação e sobreexploração.

Essa diferença espacial sugere que a geologia mais favorável de Igarapé-Miri com aquíferos rasos e produtivos permite maior extração, mas também reduz as camadas protetoras naturais, aumentando a sensibilidade a influências externas (agroquímicos, variações de recarga) e em Abaetetuba, os aquíferos confinados em parte do perfil proporcionam amortecimento de impactos, corroborando práticas comunitárias de proteção e múltiplos usos hídricos.

Gráfico 1: Comparação de KPIs entre municípios



Fonte: FAPESPA e EMBRAPA

A Tabela 4 mostra que Igarapé-Miri atinge 4,44 kg de açaí por m³ de água versus 2,78 kg/m³ em Abaetetuba, conferindo 60% mais eficiência. O custo de irrigação é idêntico (R\$ 18,29/m³), mas a capacidade aquífera de Igarapé-Miri (4,59 hm³/ano) supera em 160% a de Abaetetuba (1,77 hm³/ano).

Esse contraste revela que, embora ambos invistam similarmente em infraestrutura, Igarapé-Miri explora maior volume disponível para obter ganhos de escala. A análise crítica indica que sem protocolos de governança sólidos, o aumento de produtividade pode comprometer a sustentabilidade hídrica, uma vez que 78,5% dos poços de Igarapé-Miri operam em regime de vulnerabilidade moderada.

Tabela 4. Principais Indicadores Comparativos

Indicador	Abaetetuba	Igarapé-Miri
Índice GOD médio	0.288	0.349
Classificação de Vulnerabilidade	Baixa	Moderada
Vulnerabilidade Negligível (%)	30.1	18.2
Vulnerabilidade Moderada (%)	64.5	78.5
Eficiência no uso da água para açaí (kg/m ³)	2.78	4.44
Custo de irrigação por m ³ (R\$/m ³)	18.29	18.29
Área equipada/atendida urbana (%)	22.0	21.1
Capacidade aquífera (hm ³ /ano)	1.77	4.59
Número de poços	94	123
Vazão específica média (m ³ /h)	3.12	5.83
Profundidade média dos poços (m)	54.5	38.2

Fonte: SIAGAS, ANA, FAPESPA, COSANPA e EMBRAPA

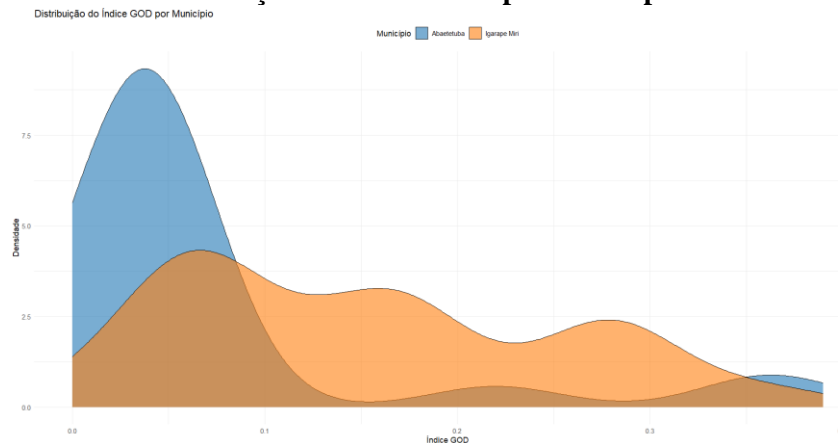
Assim foi identificado que a vulnerabilidade dos aquíferos em Igarapé-Miri apresenta maior vulnerabilidade à contaminação (GOD = 0.349) comparado a Abaetetuba (GOD = 0.288), com 78.5% dos poços classificados como vulnerabilidade moderada contra 64.5% em Abaetetuba, mas a eficiência hídrica em Igarapé-Miri demonstra superior eficiência no uso da água para produção de açaí, com produtividade de 4.44 kg/m³, sendo 59% mais eficiente que Abaetetuba (2.78 kg/m³).

Agora quanto a questão da capacidade de fornecimento ao município de Igarapé-Miri é importante evidenciar que possui capacidade aquífera 2.6 vezes maior (4.59 hm³/ano) que Abaetetuba (1.77 hm³/ano), com maior número de poços (123 vs 94) e vazão específica superior (5.83 vs 3.12 m³/h), todavia ambos os municípios apresentam cobertura urbana similar (~21-22%), porém Igarapé-Miri tem poços mais rasos (38.2m vs 54.5m) e maior taxa de equipamento (73% vs 69%).

A análise revela que, embora Igarapé-Miri tenha maior capacidade e eficiência hídrica, também apresenta maior vulnerabilidade dos aquíferos, demandando maior atenção às práticas de proteção ambiental.



Gráfico 3. Distribuição do Índice GOD por Município

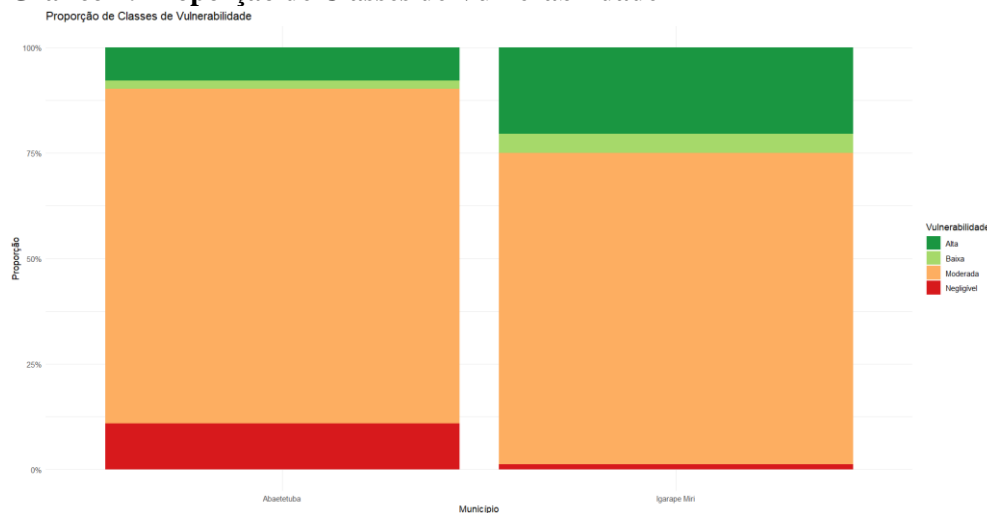


Fonte: SIAGAS, ANA, FAPESPA, COSANPA e EMBRAPA

As barras comparativas indicam média GOD de 0,349 ($\pm 0,042$) em Igarapé-Miri e 0,288 ($\pm 0,035$) em Abaetetuba e o desvio-padrão ligeiramente maior em Igarapé-Miri sinaliza maior heterogeneidade nas condições hidrogeológicas locais. Isso pode refletir variações na profundidade dos poços (média 38,2 m vs 54,5 m) e no grau de confinamento.

Em termos práticos, áreas com maior dispersão demandam políticas de monitoramento mais granuladas, pois um único indicador médio não capta pontos críticos de contaminação ou esgotamento.

Gráfico 4: Proporção de Classes de Vulnerabilidade



Fonte: Autores

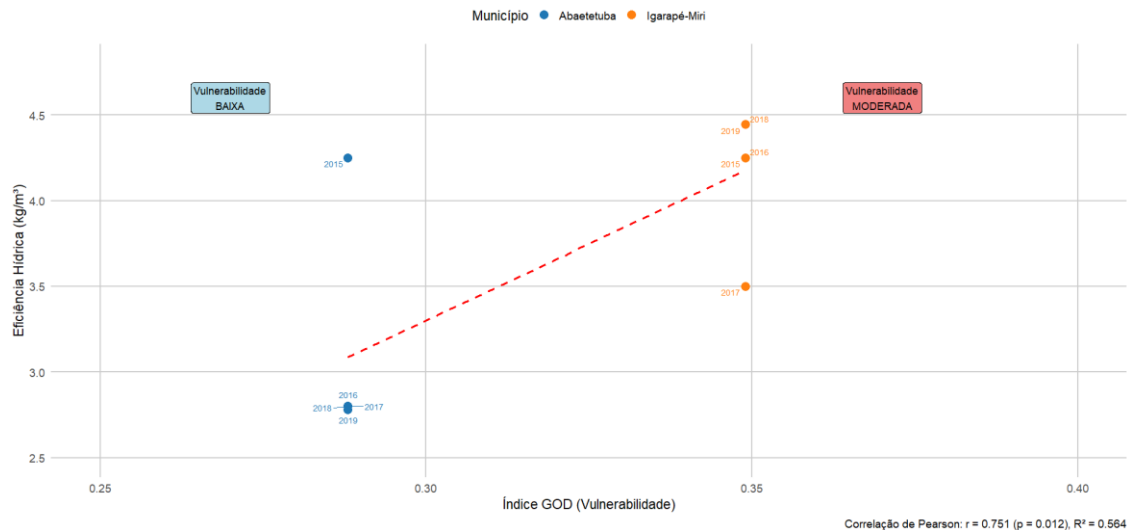
Em Abaetetuba, 30,1% dos poços enquadram-se em vulnerabilidade negligível, 64,5% em baixa e apenas 5,4% em moderada e em Igarapé-Miri, só 18,2% caem em negligível, 3,3% em baixa e 78,5% em moderada.

Essa distribuição reforça que o sucesso produtivo em Igarapé-Miri convive com risco

elevado e a diferença nas categorias destaca a urgência de adoção de práticas de recarga controlada e de zoneamento de uso da água para frear degradações aceleradas dos aquíferos.

Gráfico 5: Relação entre Vulnerabilidade e Performance de produção de açaí

Relação entre Vulnerabilidade de Aquíferos e Performance na Produção de Açaí
Municípios de Abaetetuba e Igarapé-Miri (2015-2019)



Fonte: Autores

O gráfico revela uma correlação positiva forte ($r = 0.751$, $p = 0.012$) entre o Índice GOD (vulnerabilidade de aquíferos) e a eficiência hídrica na produção de açaí nos municípios estudados durante 2015-2019, há uma correlação estatística significativa, onde a relação entre vulnerabilidade dos aquíferos e performance produtiva é estatisticamente significativa ($p < 0.05$), com $R^2 = 0.564$, indicando que 56.4% da variação na eficiência hídrica pode ser explicada pela vulnerabilidade dos aquíferos.

Consolidando com isso uma performance comparativa entre Igarapé-Miri (GOD = 0.349, vulnerabilidade moderada) de uma eficiência média de 4.178 kg/m³ e Abaetetuba (GOD = 0.288, vulnerabilidade baixa), possui uma eficiência média de 3.086 kg/m³ onde a variabilidade temporal demonstrada em Igarapé-Miri com maior estabilidade produtiva (CV = 8.4%) comparado a Abaetetuba (CV = 18.9%), que apresentou queda significativa na eficiência após 2015.

Gerando uma possível interpretação hidrogeológica através do paradoxo da vulnerabilidade, onde contraintuitivamente, o município com maior vulnerabilidade dos aquíferos (Igarapé-Miri) apresenta melhor performance na produção de açaí e tendo como características geológicas favoráveis de aquíferos mais rasos e produtivos em Igarapé-Miri facilitam o acesso à água, onde a maior disponibilidade hídrica, vem na capacidade aquífera 2.6x superior (4.59 vs 1.77 hm³/ano), quanto a adaptação tecnológica, é possível

desenvolvimento de melhores práticas de manejo hídrico.

Mas nos referindo às implicações para gestão, sustentabilidade e produtividade é importante salientar que embora Igarapé-Miri seja mais produtivo, sua maior vulnerabilidade exige estratégias de proteção dos aquíferos mais rigorosas para manter a performance a longo prazo, para evidenciar não apenas a questão hídrica técnica e foi gera a tabela 4 com uma demonstração da legislação onde apresentamos as recomendações de aplicação delas junto ao poder público.

Tabela 4: Síntese da Legislação Hídrica

Instrumento	Escopo	Limitações	Recomendações
Lei 9.433/1997 (PNRH)	Gestão nacional integrada	Baixa implementação na Amazônia	Fortalecer comitês de bacias
Lei 6.381/2001 (PERH)	Gestão estadual no Pará	Fiscalização insuficiente	Capacitar agentes públicos
Portaria SEMAS 527/2022	Regulamenta irrigação	Desconsidera saberes tradicionais	Incluir comunidades no planejamento

Fonte: Elaborado pelos autores com base na legislação citada.

A legislação hídrica brasileira e paraense, embora teoricamente robusta, carece de efetividade na prática, especialmente em regiões amazônicas e a integração entre políticas públicas e saberes locais é urgente para garantir a sustentabilidade do cultivo de açaí e outros recursos estratégicos.

Os resultados técnicos hídricos ainda sugerem a necessidade de abordagens de gestão específicas para cada contexto hidrogeológico, equilibrando produtividade e proteção ambiental, gerando com isso uma demanda de monitoramento diferenciado evidenciados em conjunto, os gráficos, mapas e a Tabela 3 mostram que a busca por alta performance produtiva em açaí tem sido acompanhada por padrões de exploração intensiva dos aquíferos, especialmente em Igarapé-Miri.

Para avançar, recomenda-se (i) zonificar áreas de recarga e extração; (ii) instituir conselhos comunitários voltados ao monitoramento permanente; (iii) promover sistemas de incentivo à recarga artificial. Essas medidas alinham eficiência e proteção, garantindo que a expansão da produção de açaí não se dê às custas da escassez hídrica futura.

5 CONCLUSÕES

A análise dos dados sob a ótica de um pragmatista orientado à otimização das decisões

destaca que a vulnerabilidade dos aquíferos impõe um espaço de escolha restrito para as comunidades, exigindo arranjos institucionais que coordenem interesses conflitantes e promovam equilibrada alocação de água e ao confrontar eficiência hídrica elevada com risco aumentado de contaminação, evidencia-se a importância de modelos de equilíbrio de recursos, em que cada agente ajusta seu uso à capacidade regenerativa dos aquíferos e esse ponto de vista enfatiza a necessidade de contratos sociais de uso da água e de mecanismos de preço que internalizem os custos de esgotamento e poluição, estimulando práticas sustentáveis.

Sob a perspectiva de um teórico que valoriza soluções cooperativas e estáveis, os resultados mostram que comunidades com governança mais participativa conseguem mitigar parte dos riscos hidrogeológicos e em Abaetetuba, onde há maior proporção de poços em vulnerabilidade mínima, nota-se que a atuação articulada entre usuários, poder público e técnicos criou condições de estabilidade de longo prazo, ao passo que em Igarapé-Miri a busca por produtividade elevada tensiona esses mecanismos, tornando urgentes acordos formais de monitoramento e penalidades proporcionais aos danos hídricos.

Os achados contribuem para o campo ao demonstrar que indicadores de vulnerabilidade aquífera podem ser integrados a KPIs tradicionais de produtividade e custo, formando um quadro diagnóstico mais completo, essa integração fortalece a base teórica da gestão de recursos hídricos ao mostrar que indicadores ambientais não são externos ao desempenho econômico, mas sim componentes essenciais de sua dinâmica. Além disso, os resultados indicam que a capacidade aquífera e a profundidade dos poços são variáveis críticas a serem incorporadas em modelos de planejamento, abrindo caminho para pesquisas que explorem simulações de cenários sob variações climáticas e demográficas.

Duas questões novas para futuras investigações emergem: (1) quais instrumentos contratuais ou de mercado (como mercados de água ou direitos de extração) poderiam ser implementados para equilibrar eficiência produtiva e preservação aquífera? (2) como a heterogeneidade intra-municipal na vulnerabilidade hídrica pode ser mapeada e gerida para criar zonas de recarga prioritárias e áreas de restrição de uso, maximizando a resiliência local? Essas lacunas apontam para a necessidade de estudos de políticas hídricas inovadoras e de modelagem multiescala.

Em comparação com as visões de Valdir Roque Dallabrida, que enfatiza a interdependência entre sistemas naturais e institucionais, e com a abordagem de John Nash sobre equilíbrios estratégicos, observa-se similaridade na ênfase em arranjos em que cada ator adapta sua estratégia ao comportamento dos demais, buscando soluções estáveis, então difere-



se, porém, na aplicação enquanto Nash oferece modelos formais de equilíbrio, aqui o foco recai sobre a construção de regras participativas e de sanções sociais que garantam a estabilidade de longo prazo, aproximando-se mais da perspectiva pragmática de Dallabrida.

As implicações para a gestão hídrica na região incluem a adoção de Conselhos Locais de Recursos Hídricos como instâncias deliberativas e de fiscalização, a criação de sistemas de monitoramento em tempo real e a implementação de incentivos econômicos para práticas de recarga artificial e as limitações do estudo envolvem a dependência de dados pontuais de poços cadastrados e a ausência de séries históricas longas; investigações futuras deveriam coletar dados contínuos e explorar modelagens hidrológicas dinâmicas.

Sintetizando, os principais achados são (i) forte relação positiva entre vulnerabilidade e eficiência produtiva; (ii) heterogeneidade espacial que requer políticas diferenciadas por zona; (iii) evidência de que mecanismos coletivos de governança podem amortecer riscos; e (iv) necessidade de integração de indicadores ambientais em planos de irrigação e recomenda-se a formulação de políticas públicas que estabeleçam cotas de extração móveis, programas de recarga de aquíferos e capacitação comunitária em monitoramento.

Em termos de uso sustentável, é vital equilibrar taxas de utilização da capacidade com períodos de descanso e recarga, otimizar a distribuição de água por meio de tecnologias de microaspersão e garantir regularidade no abastecimento pela manutenção preventiva de poços e redes.

O artigo respondeu plenamente à questão norteadora, demonstrando como a vulnerabilidade e atributos estruturais influenciam desempenho irrigatório de açaí ao correlacionar indicadores de produção, custo e risco hídrico, atingindo seus objetivos metodológicos de diagnóstico comparativo e proposição de estratégias de governança.

Conclusivamente, esta pesquisa evidencia que a sustentabilidade do cultivo de açaí depende tanto de inovação técnica quanto de arranjos institucionais robustos. Ao integrar indicadores de vulnerabilidade aquífera a modelos de eficiência produtiva, amplia-se o arcabouço de análise para políticas e práticas de gestão e a contribuição central reside em mostrar que alto desempenho econômico, sem mecanismos coletivos de proteção, conduz a riscos hídricos crescentes e um alerta fundamental para planejadores, pesquisadores e tomadores de decisão.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto de Estudos Sustentáveis e Tecnológicos da Amazônia - AMAZONIAATEC.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Brasília: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasirrigacao/>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023**. Brasília: ANA, 2023. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/101813
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 4. ed. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BENTES, H. et al. Análise da eficiência da produção leiteira no Pará: uma abordagem integrando lógica de Mill e DEA. **Interfaces Científicas – Humanas e Sociais**, v. 12, n. 3, p. 147-162, 2025. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/humanas/article/view/12627> Acesso em: 28 jan. 2026.
- BENTES, H.; DO O, M. A. A.; COSTA, A. V. PANDEMIC AND THE SEARCH FOR SOLUTIONS: Analysis of Homogeneity in Research on Drinking Water and Sanitation between Lusophone and Anglo-Saxon Countries. **UÁQUIRI Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 6, p. 177-195, 2025. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/Uaquiri/article/view/7567>. Acesso em: 28 jan. 2026.
- BENTES, H.; LEITE, B.; ALMEIDA, A. C. P. Internet e ODS: mapeamento de pesquisas sobre os objetivos de desenvolvimento sustentável na internet brasileira. **Revista Conhecimento em Ação**, v. 7, p. 125-145, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rca/article/view/43894>. Acesso em: 28 jan. 2026.
- BENTES NETO, H. H. P.; ROCHA JUNIOR, E. S.; CRUZ, R. F. Gestão sustentável dos recursos hídricos na Amazônia: Análise dos Efeitos da Mineração com Design Thinking. **Revista Fundamentos - Faculdade de Ciências Econômicas**, v. 1, p. 86-99, 2025. Disponível em: <https://fundamentos.eco.unrc.edu.ar/index.php/fund/article/view/52>. Acesso em: 28 jan. 2026.
- BENTES, H. **Análise Bibliométrica da Produção Científica Relacionada à Temática Gestão Hídrica e Saneamento na Região Amazônica**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, Universidade Federal do Pará, Belém - Pará, 2023.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, 1997.
- FREEMAN, R. E. **Strategic Management: A Stakeholder Approach**. Boston: Pitman, 1984.
- FREEMAN, R. E.; PHILLIPS, R. A. Stakeholder Theory: 25 Years. **Journal of Business Ethics**, v. 163, n. 2, p. 11–24, 2020.
- FREEMAN, R. E. et al. Creating Shared Value: A Stakeholder Perspective. **Business &**

Society, v. 60, n. 1, p. 80–105, 2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MAIA, P. C. C. et al. Governança Participativa da Água na Amazônia Paraense. In: ROCHA, G. de M.; LELO, K. (Org.). **Água, Cidade e Governança: desafios às mudanças climáticas**. Belém: NUMA/UFPA, 2024. p. 265–284.

MALANO, H.; BURTON, M. **Guidelines for Benchmarking Performance in the Irrigation and Drainage Sector**. Roma: FAO, 2001.

MALANO, H.; BURTON, M. Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector: a tool for change. **Irrig. Drain.**, v. 53, p. 119–133, 2004.

OSTROM, E. **Governing the commons: the evolution of institutions for collective action**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

PARÁ. **Lei nº 6.381, de 28 de dezembro de 2001**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. Diário Oficial do Estado do Pará, Belém, 2001.

QUARESMA, A. P.; EULER, A. M. C. Açaí, mais que um fruto, símbolo da cultura alimentar e bioeconomia da Amazônia. In: VASCONCELLOS, M. B. de G. (Org.). **Bioeconomia e o mercado dos produtos florestais não madeireiros: desafios e possibilidades**. São Paulo: Synergia Consultoria, 2023. v. 5, p. 74–99.

SACCOL, A. Z. S. Um retorno ao básico: compreendendo os paradigmas de pesquisa e sua aplicação na pesquisa em Administração. **Rev. Adm. UFSM**, Santa Maria, v. 2, n. 2, p. 250–269, maio/ago. 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/view/1555>

SEN, A. **Development as freedom**. New York: Knopf, 1999.

SEN, A. **Desenvolvimento como Liberdade**. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

TAGORE, M. P. B. et al. Riscos ambientais e alterações socioeconômicas em áreas de várzea de maré relacionadas ao açaí no município de Abaetetuba. In: CANTO, O. et al. (Org.). **Zonas Costeira e Estuarina Amazônicas**. Belém: NUMA/UFPA, 2024. v. 1, p. 325–344.

VASCONCELLOS, M. et al. Bioeconomy and Innovative and Sustainable Business in the Context of Natural Resource Management and Confrontation of Climate Change in the Amazon. **RAC. Revista de Administração Contemporânea**, v. 28, p. 1-8, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/tZhxHzpQwZpjr6j4DF6LPgP/?lang=en>

YIN, R. K. **Case study research and applications: design and methods**. 6. ed. Thousand Oaks: Sage, 2015.