

O Impacto do Building Information Modelling BIM na Sustentabilidade de Hidroeléctricas: Licções de Itaipu para a África Austral e Angola

Autor: José Paulo Kai, Doutor | jose.kai@uan.ao | Doutor em Mecânica das Estruturas | Departamento de Arquitectura, Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto "FEUAN" | **Orcid Id::** 0009-0006-3255-9900

Recebido: Setembro, 2025 | **Aceite:** Dezembro, 2025 | **Publicado:** Janeiro, 2026

RESUMO

A região da África Austral, incluindo Angola, depende criticamente do seu potencial hídrico para o desenvolvimento socioeconómico. No entanto, o parque hidroelétrico regional enfrenta desafios de fiabilidade, eficiência e gestão do ciclo de vida dos ativos. Este artigo investiga o papel da metodologia Building Information Modelling (BIM) como catalisador para a sustentabilidade e resiliência do sector. Através de uma análise qualitativa, centrada no estudo de caso da renovação da Hidroelétrica de Itaipu (Brasil/Paraguai) e de uma caracterização do contexto regional, o estudo demonstra que o BIM, en-

quanto gémeo digital, potencia a colaboração, reduz trabalho de correcção e otimiza a operação e manutenção. Os resultados indicam que a adopção do BIM em projectos emblemáticos, como a barragem de Caculo Cabaça (Angola) ou a repotenciação de Cahora Bassa (Moçambique), pode mitigar riscos, preservar conhecimento e assegurar o retorno financeiro. Conclui-se que a implementação estratégica do BIM é um imperativo para a segurança energética regional, recomendando-se políticas públicas promotoras, capacitação local e a execução de projectos-piloto.

Palavras-chave: Building Information Modelling; Hidroelétricas; Sustentabilidade; Digitalização; África Austral; Angola.

ABSTRACT

Southern Africa, including Angola, critically depends on its hydropower potential for socioeconomic development. However, the regional hydropower fleet faces challenges in reliability, efficiency, and asset life-cycle management. This article investigates the role of the Building Information Mo-

delling (BIM) methodology as a catalyst for the sector's sustainability and resilience. Through a qualitative analysis, focused on the case study of the Itaipu Hydroelectric Plant (Brazil/Paraguay) refurbishment and a characterization of the regional context, the study demonstrates that BIM, as a digital twin, enhan-

ces collaboration, reduces rework, and optimizes operation and maintenance. The results indicate that the adoption of BIM in emblematic projects, such as the Caculo Cabaça dam (Angola) or the Cahora Bassa repowering (Mozambique), can mitigate risks, preserve knowledge, and ensure financial returns. It is concluded that the strategic implementation of

BIM is an imperative for regional energy security, recommending promoting public policies, local capacity building, and the execution of pilot projects. their presence in the media; it also addresses the industrialization of national languages, and finally points to the need for them to be present in other areas of national life.

Keywords: Building Information Modelling; Hydropower; Sustainability; Digitalization; Southern Africa; Angola.

INTRODUÇÃO

No contexto da transição energética e da segurança hídrica e elétrica da África Austral, é crucial compreender os mecanismos para modernizar e otimizar o parque de infraestruturas hidroelétricas, considerando os desafios de financiamento, capacidade técnica e alterações climáticas que este campo oferece. O presente estudo surge da necessidade de explorar o potencial da metodologia Building Information Modelling (BIM) como ferramenta de digitalização transversal, fornecendo subsídios teóricos e práticos que contribuam para aumentar a resiliência, eficiência e sustentabilidade económica do sector hidroelétrico regional.

Questão de Estudo

A questão que norteia este trabalho é: de que forma a metodologia BIM, aplicada no ciclo de vida completo de hidroelétricas, pode catalisar ganhos de sustentabilidade e eficiência no contexto específico da África Austral e de Angola? Justificativa de Estudo

A relevância deste estudo está fundamentada na sua contribuição para a gestão de infraestruturas críticas de

energia, permitindo uma transição de um paradigma reativo para um modelo de gestão preditiva e integrada. Este trabalho destaca-se pela sua pertinência, tanto para a comunidade científica quanto para empresas de utilities, governos e financiadores de projetos, promovendo a optimização de custos de capital (CAPEX) e operacionais (OPEX). Além disso, a pesquisa busca preencher lacunas identificadas na literatura, como a escassa documentação sobre a aplicação de BIM em projectos de grande escala em contextos africanos, e propor soluções práticas e inovadoras alinhadas com as necessidades locais.

Objectivos

- Objectivo Geral: Analisar o impacto da metodologia BIM na sustentabilidade e eficiência de hidroelétricas, extrapolando as lições do caso de Itaipu para o contexto da África Austral e Angola.

Objectivos Específicos:

Caracterizar o parque hidroelétrico existente e em construção na região, identificando necessidades de modernização;

Sistematizar os benefícios do BIM nas fases de projecto, construção e operação, com base na literatura e no caso de estudo;

Propor um quadro de referência para a implementação estratégica do BIM em projectos hidroeléctricos na região.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Diversos autores destacam a relevância da digitalização no sector da energia, abordando a transformação digital como um vector de eficiência (International Energy Agency, 2023). Por exemplo, Eastman et al. (2011) argumentam que o BIM é mais do que um modelo 3D, sendo um processo que engloba a geração e gestão de representações digitais das características físicas e funcionais de um ativo. Outros estudos, como o de Bryde, Broquetas e Volm (2013), complementam ao discutir os benefícios tangíveis do BIM na redução de custos e prazos em projectos de construção complexos.

No entanto, apesar dos avanços identificados na literatura, ainda existem lacunas significativas. Estas incluem a limitada transferência de conhecimento sobre a aplicação prática de BIM em infraestruturas de energia em desenvolvimento, que limitam a aplicabilidade ou abrangência das teorias existentes. É neste contexto que o presente estudo se propõe a contribuir, abordando esta lacuna específica através de um caso de estudo relevante.

Por outro lado, os avanços recentes têm proporcionado novos entendimentos e ferramentas para a gestão do ciclo de vida de ativos (Asset Lifecycle Management), como demonstrado pela integração de BIM com Common Data Environments (CDE) e gémeos digitais para

operação (BIMcollab, 2025). Tais avanços abrem novas possibilidades para investigar a optimização de hidroeléctricas existentes.

Dessa forma, este referencial teórico estrutura-se a partir dos pilares da digitalização, gestão de ciclo de vida e estudos de caso de sucesso, promovendo uma análise crítica e integrada da literatura existente, com o objetivo de embasar e direccionar o presente estudo.

2.1 O CONTEXTO HIDROELÉTRICO DA ÁFRICA AUSTRAL E ANGOLA

A região possui um potencial hídrico significativo, materializado em empreendimentos de grande escala. As Figuras 1 e 2, e a Tabela 1 caracteriza algumas das principais barragens, destacando a sua relevância e o seu estado, o que evidencia a oportunidade para a aplicação de metodologias como o BIM.

Figura 1: Barragem de Laúca com capacidade de 2 070 MW, operacional, Angola.



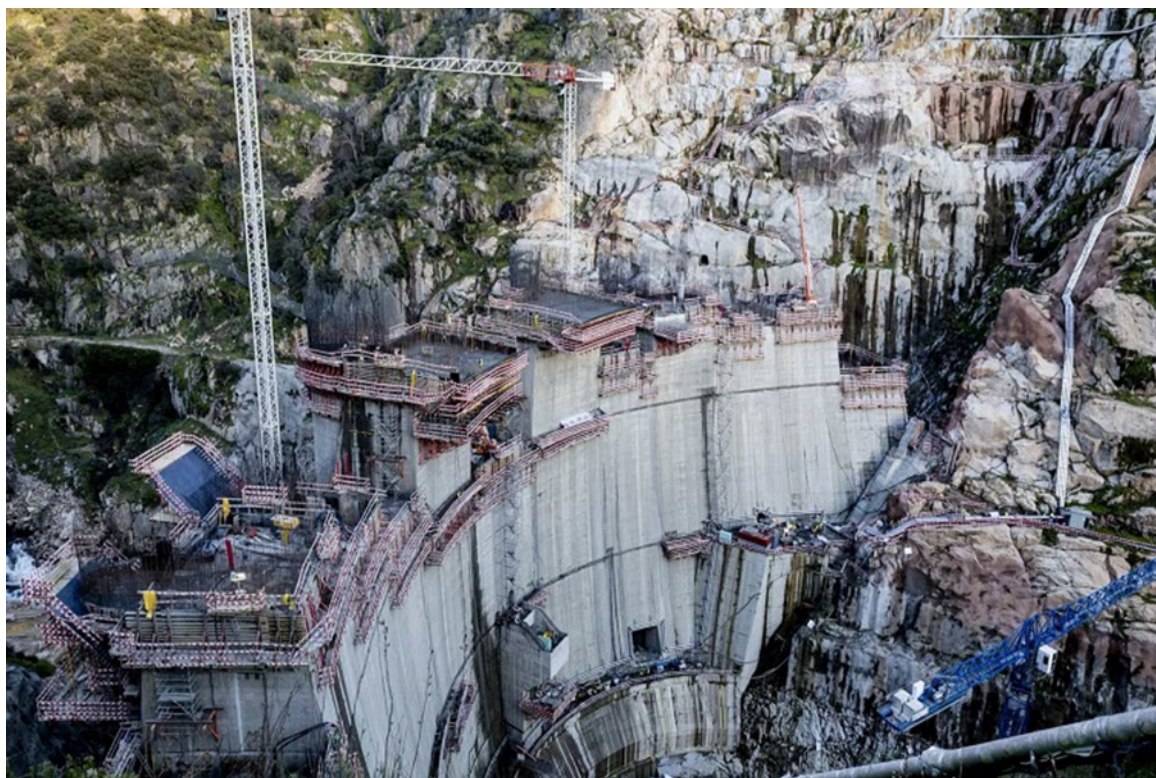
Fonte: Imagem retirada da internet

Tabela 1: Caracterização de Principais Hidroelétricas na África Austral e Angola.

Nome	País	Capacidade (MW)	Estado (2024)	Observações Relevantes
Cahora Bassa	Moçambique	2,075	Operacional	em processo de repotenciação e expansão.
Laúca	Angola	2,070	Operacional	Maior do país; concluída recentemente.
Caculo Cabaça	Angola	2,172	Em Construção	Maior projeto em desenvolvimento; fase crítica de implementação.
Capanda	Angola	520	Operacional	Ativo estratégico; beneficiária de modernização digital.
Gove	Angola	60	Operacional	Pequena escala; caso para aplicação de BIM em reabilitação
Baynes	Angola/Namíbia	600	Planeada	Oportunidade para implementar BIM desde a conceção.
Grand Inga	(Conjunto) R.D. Congo	~40,000 (pot.)	Planeada	Projeto futurista; a digitalização desde o início é crucial.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Ministério de Energia e Águas de Angola (2023) e da Southern African Power Pool (2023).

Figura 2: Barragem de Caculo Cabaça de 2 172 MW, em construção, Angola.



Fonte: Imagem retirada da internet

3. METODOLOGIA

A metodologia adoptada neste artigo é de natureza qualitativa e exploratória, baseando-se numa abordagem de estudo de caso intrínseco (Stake, 1995). O caso da modernização da Hidroeléctrica de Itaipu pela Nova Participações foi seleccionado por ser um exemplo paradigmático e bem-documentado da aplicação do BIM num contexto de grande complexidade e longa duração, análogo aos desafios regionais. A análise de conteúdo foi aplicada a fontes documentais publicadas, incluindo o relatório de caso da Nova Participações (2025), literatura científica sobre BIM e relatórios sectoriais sobre a África Austral. A análise focou-se em extrair mecanismos de impacto (colabo-

ração, gestão de ciclo de vida) e em extrapolar a sua aplicabilidade para os ativos caracterizados na Tabela 1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da análise do caso de Itaipu e do enquadramento regional são sintetizados e discutidos em três eixos principais.

4.1. BIM PARA COLABORAÇÃO E PRECISÃO EM CONTEXTOS MULTIDISCIPLINARES

O caso Itaipu demonstra a transição de um paradigma fragmentado (CAD) para um ambiente colaborativo. A afirmação de Brunetto (Nova Participações, 2025) – "O BIM coloca todos os envolvidos num ambiente colaborativo... todos

começam com as mesmas informações" – materializa-se na coordenação de mais de 400 pessoas diretamente no fluxo BIM. Para projectos regionais como Caculo Cabaça, que envolvem consórcios internacionais e mão-de-obra local, um Common Data Environment (CDE) asseguraria a integridade da informação. A validação de modelos com ferramentas como o BIMcollab Zoom para detecção precoce de interferências é crucial para evitar erros de coordenação dispendiosos, um risco elevado em projectos de tal magnitude.

4.2. GESTÃO DO CICLO DE VIDA: DA CONSTRUÇÃO À OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (O&M)

O maior valor do BIM para a região reside na fase de O&M. A abordagem "construir digitalmente primeiro" cria um gémeo digital do ativo (Nova Participações, 2025). Este modelo, enriquecido com dados, é uma ferramenta poderosa para gerir ativos envelhecidos como Cahora Bassa ou novos como Laúca. Permite:

- a) Planear intervenções de manutenção com impacto mínimo na produção;
- b) Simular a resposta a emergências;
- c) Gerir o stock de peças sobressalentes de forma inteligente.

A perspectiva de integrar uma CDE para O&M, tal como vislumbrado por Brunetto, assegura que o "BIM seja uma base utilizável para as fases subsequentes de manutenção e operação" (Nova Participações, 2025, p. 2), maximizando o retorno sobre o investimento.

4.3. DIGITALIZAÇÃO COMO VEÍCULO DE PRESERVAÇÃO DO CONHECIMENTO

Um desafio crítico na região é a "fuga de cérebros" e o envelhecimento da força de trabalho. Em Itaipu, a integração bem-sucedida de colaboradores veteranos da construção original na nova metodologia é um testemunho do poder do BIM como ferramenta de captura de conhecimento tácito. O modelo digital serve como um repositório vivo, assegurando que a saída de profissionais experientes não signifique a perda do seu conhecimento institucional – um factor vital para a sustentabilidade operacional de ativos com décadas de existência.

A Figura 3 ilustra conceptualmente o impacto transversal do BIM no ciclo de vida de uma hidroeléctrica, sintetizando a discussão apresentada.

Figura 3: Impacto do BIM no Ciclo de Vida de uma Hidroeléctrica.

CICLO DE VIDA:	Conceção & Projeto	Construção & Fabrico	Operação & Manutenção (O&M)		Descomissionamento
IMPACTO DO BIM	Colaboração multidisciplinar (evita Interferência)	Coordenação, Precisão no Canteiro (Reduz a reexecução)	Gestão Preditiva e Eficiência Operacional (Maximiza Uptime e Vida Útil)		Planeamento Informado (Optimiza Recursos)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5. CONCLUSÃO

Este estudo permitiu concluir que a metodologia BIM constitui um divisor de águas para a sustentabilidade do sector hidroeléctrico na África Austral e em Angola. A análise do caso Itaipu demonstrou, de forma clara, os seus benefícios na colaboração, na gestão do ciclo de vida e na preservação do conhecimento. Perante a caracterização do parque hidroeléctrico regional – com ativos envelhecidos a carecer de modernização e novos megaprojectos em fase de cons-

trução – a adopção estratégica do BIM revela-se não uma opção, mas uma necessidade para garantir a segurança energética, a resiliência operacional e a sustentabilidade financeira. A implementação bem-sucedida exigirá um esforço concertado entre governos, utilities e a academia para desenvolver políticas favoráveis, capacitar recursos humanos e iniciar projectos-piloto que demonstrem o valor tangível da digitalização no terreno.

BIBLIOGRAFIA

Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The benefits of building information modelling (BIM) for construction projects. *International Journal of Project Management*, 31(7), 971–980.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

International Energy Agency. (2023). *Africa Energy Outlook 2023*. IEA Publications. <https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2023>

Ministério de Energia e Águas de Angola. (2023). *Relatório Anual do Sector de Energia e Águas 2022*. Luanda.

Nova Participações. (2025). BIM como catalisador para a inovação: Nova Participações à frente do maior projeto hidrelétrico da América do Sul. [Comunicado de Imprensa].

Southern African Power Pool. (2023). *Annual Report 2022*. SAPP.

Stake, R. E. (1995).