



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

NUCAPP: UMA PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE E PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE REATORES MODULARES DE PEQUENO PORTE NO BRASIL

NUCAPP: A COMPUTATIONAL PLATFORM FOR FEASIBILITY ANALYSIS AND STRATEGIC PLANNING OF SMALL MODULAR REACTORS IN BRAZIL

Autores: Arthur Reis Martins¹; Leticia Caroline Gonçalves²; Pedro Henrique Silva Rodrigues³; Pedro Carlos Russo Rossi⁴

Universidade Federal do ABC (UFABC) – Arthur Reis@ufabc.edu.br¹; Leticia.Goncalves@ufabc.edu.br²;

Pedro.Rodrigues@ufabc.edu.br³; Pedro.Rossi@ufabc.edu.br⁴

RESUMO

O presente trabalho detalha o desenvolvimento e a validação do NucApp, uma plataforma computacional projetada para realizar análises de viabilidade e planejamento estratégico para a instalação de Reatores Modulares de Pequeno Porte (SMRs) e Microreatores (MNRs) no Brasil. O objetivo central foi criar uma ferramenta integrada que abordasse os principais desafios do setor nuclear nacional, incluindo a complexidade do arcabouço regulatório dual (terrestre via CNEN e naval/offshore via Marinha do Brasil), a necessidade de análises de sítio multifatoriais e a importância da comunicação técnica para stakeholders. A metodologia baseou-se no desenvolvimento ágil sobre a plataforma *low-code* PartyRock (AWS), estruturando a aplicação em um dashboard de *widgets* interconectados que processam entradas do usuário (região, tipo de reator) para gerar análises de viabilidade econômica, demográfica e energética. Um dos principais resultados foi a implementação de um agente de Inteligência Artificial treinado com normas técnicas específicas (CNEN e ANSNQ), capaz de fornecer orientação regulatória contextual. A validação da plataforma foi realizada por meio de um estudo de caso detalhado para a instalação de um MNR em Fortaleza-CE, demonstrando a capacidade da ferramenta em gerar relatórios analíticos, diagramas de licenciamento, cronogramas de projeto e visualizações conceituais. Conclui-se que o NucApp se constitui como uma ferramenta robusta e de alto valor agregado, com potencial para otimizar as fases preliminares de projetos nucleares, democratizar o conhecimento técnico e fomentar o desenvolvimento de uma matriz energética mais segura e sustentável no país.

Palavras-chave: Energia Nuclear; Reatores Modulares de Pequeno Porte (SMR); Análise de Viabilidade; Planejamento Estratégico; Inteligência Artificial.

Figura 1: QR Code para acesso ao aplicativo online





INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

ABSTRACT

This paper details the development and validation of NucApp, an innovative computational platform designed to perform feasibility analysis and strategic planning for the installation of Small Modular Reactors (SMRs) and Microreactors (MRNs) in Brazil. The main objective was to create an integrated tool to address the key challenges of the national nuclear sector, including the complexity of the dual regulatory framework (onshore via CNEN and naval/offshore via the Brazilian Navy), the need for multi-factor site analyses, and the importance of technical communication for stakeholders. The methodology was based on agile development on the PartyRock (AWS) low-code platform, structuring the application into a dashboard of interconnected widgets that process user inputs (region, reactor type) to generate economic, demographic, and energy feasibility analyses. A key result was the implementation of an Artificial Intelligence agent trained with specific technical standards (CNEN and ANSNQ), capable of providing contextual regulatory guidance. The platform's validation was carried out through a detailed case study for the installation of an MRN in Fortaleza-CE, demonstrating the tool's ability to generate analytical reports, licensing diagrams, project schedules, and conceptual visualizations. It is concluded that NucApp constitutes a robust and high-value-added tool, with the potential to optimize the preliminary phases of nuclear projects, democratize technical knowledge, and foster the development of a safer and more sustainable energy matrix in the country.

Keywords: Nuclear Energy; Small Modular Reactors (SMR); Feasibility Analysis; Strategic Planning; Artificial Intelligence.

1 INTRODUÇÃO

A transição para uma matriz energética global mais limpa e sustentável impulsionou um interesse renovado pela energia nuclear, que se destaca por sua alta densidade energética, baixa emissão de carbono e confiabilidade operacional. Nesse contexto, os Reatores Modulares de Pequeno Porte (SMRs) e os Microreatores (MNRs) surgem como uma tecnologia disruptiva, oferecendo maior flexibilidade de instalação, custos de capital reduzidos e perfis de segurança aprimorados em comparação com as usinas nucleares convencionais [1]. O Brasil, com sua crescente demanda energética e a necessidade de diversificar suas fontes, apresenta um potencial significativo para a integração dessas novas tecnologias nucleares [2].

No entanto, o desenvolvimento de projetos nucleares no país enfrenta barreiras consideráveis. A principal delas é a complexidade do arcabouço regulatório, que é dual: instalações terrestres (*onshore*) são licenciadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), enquanto instalações navais ou em águas jurisdicionais brasileiras (*offshore*) são de responsabilidade da Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGD TM), por meio da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (SecNSNQ) [3, 4]. Navegar por esses dois caminhos distintos exige um conhecimento profundo de normas, processos e requisitos documentais específicos, representando um desafio significativo nas fases iniciais de qualquer projeto.

Adicionalmente, a fase de planejamento estratégico requer análises multifatoriais complexas, que envolvem desde estudos demográficos e de demanda energética até avaliações de infraestrutura, logística, impacto ambiental e aceitação pública. A carência de ferramentas integradas que consolidem esses dados e os correlacionem com os requisitos regulatórios cria uma lacuna, tornando o processo de análise de viabilidade preliminar lento, custoso e sujeito a incertezas.



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

Figura 1 – Interface principal do NucApp, exibindo os módulos de análise, sugestão de instalação e diagramas.

Introduction

Em português:

Bem-vindo ao NucApp: Viabilizando estudos nucleares no Brasil! Aceite o desafio de um estrategista de energia e explore o potencial de Pequenas Centrais Nucleares (SMRs) e Microrreatores (MRNs) em todo o Brasil. Sua missão é maximizar a produção de energia limpa enquanto navega por um cenário complexo de demandas energéticas, percepção pública e, crucialmente, um duplo framework regulatório.

Você enfrentará os desafios do licenciamento em terra, governado pela CNEN, ou se aventurará pelas águas, lidando com o rigoroso processo naval e offshore da Marinha do Brasil (SecNSNQ). Utilize dados do mundo real sobre a população e o consumo de energia para posicionar estrategicamente seus reatores. Sua escolha entre uma instalação terrestre ou uma plataforma marítima definirá seu caminho, seus custos e seus desafios.

Você energizará cidades movimentadas ou levará energia para comunidades carentes? Conseguirá equilibrar a viabilidade econômica com a responsabilidade ambiental e a segurança? Descubra o futuro da energia nuclear no Brasil e torne-se um pioneiro na geração de energia sustentável!

Em inglês:

Selected Region

Ceará

Installation Location

Fortaleza

Depth of Information

Low Medium High

Reactor Type

1-20 MW Microreactor MNR

Region Analysis

RELATÓRIO DE ANÁLISE PARA IMPLANTAÇÃO DE SMRs NO CEARÁ [Considerando High = Médio para esta análise]

1. DADOS DEMOGRÁFICOS E CONSUMO DE ENERGIA

1.1 Demografia

- População total do Ceará (2022): 9,2 milhões habitantes
- Distribuição populacional:
 - Região Metropolitana de Fortaleza: ~4 milhões
 - Interior: ~5,2 milhões
 - Densidade demográfica: 56,76 hab/km²

1.2 Consumo Energético

- Consumo anual: ~12.000 GWh (2021)
- Crescimento médio anual: 3,5%
- Principais setores consumidores:
 - Residencial: 35%
 - Industrial: 30%

Installation Analysis

RELATÓRIO DE VIABILIDADE: INSTALAÇÃO DE MICROREATOR MNR EM FORTALEZA/CE [Análise de Profundidade: High]

SUMÁRIO EXECUTIVO Este relatório analisa a viabilidade de instalação de um Microreator MNR de 1-20 MW em Fortaleza, Ceará, considerando aspectos técnicos, econômicos e regulatórios.

1. ESTIMATIVA DE CUSTOS

1.1 Custos de Implantação

- Investimento inicial estimado: R\$ 400-600 milhões
- Custos de infraestrutura básica: R\$ 80-120 milhões
- Sistemas de segurança: R\$ 150-200 milhões

1.2 Custos Operacionais (Anuais)

- Operação: R\$ 15-20 milhões
- Manutenção: R\$ 8-12 milhões
- Combustível nuclear: R\$ 5-7 milhões

2. CONSIDERAÇÕES DE SEGURANÇA

Installation suggestion

Com base nos parâmetros fornecidos, apresento uma análise estruturada para a instalação do 1-20 MW Microreactor MNR em Fortaleza, Ceará:

ANÁLISE DE VIABILIDADE:

1. Dados Regionais:

- População Fortaleza: 2,7 milhões (região metropolitana)
- Localização: Capital litorânea estratégica
- Demanda energética: Centro urbano em crescimento
- Infraestrutura: Porto, aeroporto internacional e malha viária

2. Análise Regulatória:

- Jurisdição principal: CNEN (instalação terrestre)
- Necessidade de licenciamento nuclear específico
- Conformidade com normas CNEN NE 104
- Avaliação de impacto ambiental (EIA/RIMA)

3. Critérios Técnicos: Vantagens:

Proposed Image

PROMPT

Licensing diagram

[INÍCIO DO PROCESSO] → [FASE INICIAL] → Objetivo: Licenciamento SMR

[DEFINIÇÕES E ESCOPO LEGAL] → [TERMINOLOGIA (CNEN-NN-116)] → [Definições técnicas e legais]

[LICENCIAMENTO EM TERRA (CNEN)] → [PROCESSO PRINCIPAL (CNEN-NE-104)] → [LICENÇA DE LOCALIZAÇÃO] → [EIA/RIMA (CONAMA 237/1997)] → [Estudo do sítio (CNEN-NN-202)] → [Decisão ✓/X] → [LICENÇA DE CONSTRUÇÃO] → [RAS (CNEN-NN-125)] → [Garantia Qualidade (CNEN-NN-126)] → [Proteção Radiológica (CNEN-NN-3.01)] → [Decisão ✓/X] → [COMISSIONAMENTO] → [Testes operacionais] → [Validação]

[LICENCIAMENTO NAVAL (SecNSNQ)] → [PROCESSO NAVAL (ANSNQ-101)] → [FASE 1: DBPC] → [OGS/OSN inicial] → [ABPC] → [FASE 2: DBPP] → [PGQ preliminar] → [ABPP] → [FASE 3: LC] → [RPAS] → [LC] → [FASE 4: ACom] → [RFAS] → [ACom] → [OPERAÇÃO] → [MONITORAMENTO CONTÍNUO] → [Inspeções (CNEN-NN-3.01)] → [Auditorias (CNEN-NN-126)] → [DESCOMISSONAMENTO] → [ENCERRAMENTO (CNEN-NN-9.01)] → [Gestão de resíduos] → [Plano de descomissionamento] → [FIM]

[LEGENDA] → [Documentação] → [Construção] → [Testes ✓/X] → [Decisão] → [Fluxo do processo]

Program diagram

[INÍCIO DO PROJETO] → [FASE 1: PLANEJAMENTO INICIAL] (Azul) → Definição de objetivos e escopo → Estabelecimento de cronograma → Formação da equipe multidisciplinar → [FASE 2: COLETA E ANÁLISE DE DADOS] (Verde) → Levantamento demográfico → Mapeamento de consumo energético → Análise geográfica e infraestrutura → Estudos ambientais → [FASE 3: MODELAGEM ESPACIAL 3D] (Amarelo) → Análise de densidade populacional → Mapeamento de zonas seguras → Avaliação de infraestrutura existente → Identificação de áreas potenciais → [FASE 4: MODELAGEM TEMPORAL 4D] (Laranja) → Análise de padrões de consumo → Projeções de demanda futura → Planejamento de ciclos operacionais → [FASE 5: SELEÇÃO TECNOLÓGICA] (Roxo) → Avaliação de tipos de reatores → Análise comparativa MRNs vs SMRs → Definição do modelo ideal → [FASE 6: PROCESSO DE LICENCIAMENTO] (Vermelho) → Via CNEN (Onshore) → Licença de localização → Licença de construção → Licença de operação OU → Via SecNSNQ (Offshore) → ABPC → ABPP → LC → ACom → [FASE 7: IMPLEMENTAÇÃO] (Marrom) → Preparação do local → Construção da infraestrutura → Instalação dos reatores → Testes operacionais → [FASE 8: OPERAÇÃO E MONITORAMENTO] (Verde escuro) → Início das operações → Monitoramento contínuo → Otimização de processos → [FASE 9: AVALIAÇÃO FINAL] (Cinza) → Análise de desempenho → Relatórios de conformidade → Recomendações de melhorias → [FIM DO PROJETO]



INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

Para endereçar esses desafios, foi desenvolvido o NucApp, uma plataforma computacional inovadora concebida para servir como uma ferramenta de apoio à decisão no planejamento de SMRs e MNRs no Brasil. O projeto foi desenvolvido pela equipe UFABC Atomics no âmbito do Hackatom Rosatom 2025, uma competição internacional que estimula soluções inovadoras para o setor nuclear [5]. A plataforma, cuja interface é ilustrada na Figura 1, foi construída sobre o ambiente *low-code* da AWS PartyRock, permitindo a criação de um *dashboard* dinâmico e interativo [6].

O objetivo deste trabalho é apresentar a arquitetura, as funcionalidades e a validação do NucApp. A plataforma permite que o usuário selecione uma região e um tipo de reator, recebendo em troca análises detalhadas de viabilidade, estimativas de custo, cronogramas de licenciamento e diagramas de fluxo de projeto. Um diferencial chave é seu assistente de Inteligência Artificial, treinado para fornecer orientação sobre as normas da CNEN e da Marinha, democratizando o acesso ao conhecimento técnico. A aplicabilidade da ferramenta é demonstrada por meio de um estudo de caso para a instalação de um microreator em Fortaleza, Ceará, validando seu potencial para acelerar e otimizar as fases iniciais de projetos de energia nuclear no Brasil.

2 METODOLOGIA

O desenvolvimento do NucApp foi estruturado sobre uma arquitetura modular, utilizando a plataforma *low-code* PartyRock da Amazon Web Services (AWS) [6]. Essa escolha permitiu a rápida prototipagem e integração de diferentes ferramentas de análise e visualização de dados em um *dashboard* interativo. A metodologia do projeto combinou a agregação de dados de fontes oficiais, a modelagem de processos regulatórios e o uso de inteligência artificial generativa para criar uma ferramenta de apoio à decisão completa e intuitiva.

2.1 Arquitetura da Plataforma e Fontes de Dados

A arquitetura do NucApp é composta por um conjunto de "widgets" interconectados, onde a saída de um serve como entrada para o outro, criando um fluxo de análise lógico e dinâmico. O usuário inicia o processo inserindo os parâmetros de análise (região, local de instalação, tipo de reator), que então alimentam os módulos subsequentes.

As análises geradas pela plataforma são fundamentadas em dados provenientes de fontes públicas e reconhecidas, garantindo a credibilidade dos resultados. As principais fontes de dados incluem:

- Dados Demográficos e Socioeconômicos: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), utilizados para análises populacionais e de densidade.
- Dados de Consumo e Demanda Energética: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), fornecendo a base para projeções de necessidade energética.
- Regulamentação Nuclear Terrestre: Normas e publicações da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), principalmente as normas NE-1.04 (Licenciamento de Instalações Nucleares) e correlatas.
- Regulamentação Nuclear Naval/Offshore: Normas da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (SecNSNQ), com foco na norma ANSNQ-101.
- Dados Técnicos de Reatores e Custos: Estimativas baseadas em relatórios da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e dados de mercado internacionais para SMRs e MNRs.



2.2 Módulos Funcionais

O NucApp é dividido nos seguintes módulos funcionais, conforme ilustrado na Figura 1 da seção anterior:

- **Módulo de Análise Regional e de Instalação:** Este módulo recebe como entrada a região e o local de instalação definidos pelo usuário. Ele processa os dados demográficos e energéticos (IBGE, EPE) para gerar um relatório de alto nível sobre a adequação da região, destacando polos de consumo e infraestrutura existente. Em seguida, foca no local específico, fornecendo uma análise de viabilidade mais aprofundada que inclui estimativas de custos de implantação e operação, considerações de segurança (como zonas de exclusão) e um resumo dos requisitos de licenciamento.
- **Módulo de Diagramas de Processo (Licenciamento e Programa):** Este é um dos componentes centrais do NucApp. Ele sintetiza os complexos fluxos dos processos regulatórios da CNEN e da SecNSNQ em diagramas de texto claros e sequenciais. O "Licensing Diagram" (Figura 2) detalha as fases e os documentos cruciais para cada via regulatória (onshore vs. offshore), enquanto o "Program Diagram" oferece um roteiro macro do ciclo de vida de um projeto, desde o planejamento inicial até o descomissionamento.
- **Módulo de Visualização com IA Generativa:** Para aprimorar a comunicação do projeto, o NucApp integra um módulo que gera imagens conceituais realistas da instalação nuclear proposta ("Proposed Image"). Utilizando um modelo de geração de imagem a partir de texto (baseado em tecnologia similar ao DALL-E 3 ou Midjourney), o sistema cria uma visualização artística do reator no ambiente selecionado, facilitando a compreensão do projeto por parte de stakeholders e do público em geral.
- **Módulo Assistente de IA Especialista:** O "Nuclear Expert Assistant" é um agente de conversação baseado em um Modelo de Linguagem Amplo (LLM). Sua base de conhecimento foi customizada e enriquecida com a documentação técnica e normativa da CNEN e da Marinha do Brasil. O assistente é projetado para responder a perguntas específicas do usuário sobre os processos de licenciamento, requisitos de segurança, documentação necessária e terminologia técnica, atuando como um guia especializado para navegar na complexidade regulatória brasileira.

2.3 Metodologia de Validação: Estudo de Caso

Para validar a funcionalidade e a precisão das análises do NucApp, foi conduzido um estudo de caso completo. O cenário escolhido foi a análise de viabilidade para a instalação de um Microreator MNR (1-20 MW) na cidade de Fortaleza, Ceará. Os resultados deste estudo de caso, abrangendo desde a análise regional até os cronogramas e custos detalhados, serão apresentados e discutidos na seção seguinte.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar a aplicabilidade e a eficácia do NucApp, foi realizado um estudo de caso completo, simulando o planejamento inicial para a instalação de um Microreator MNR (1-20 MW) em Fortaleza, Ceará. Os parâmetros de entrada na plataforma foram: "Ceará" como a região, "Fortaleza" como o local de instalação, e "1-20 MW Microreactor MNR" como o tipo de reator, com profundidade de análise definida como "Alta". Os resultados gerados pelos módulos da plataforma são detalhados a seguir.



3.1 Análise de Viabilidade Regional e de Instalação

O primeiro *output* da plataforma é o relatório de análise regional. O NucApp consolidou dados demográficos e energéticos, identificando o Ceará como um estado com uma população de 9,2 milhões de habitantes e um consumo energético anual de aproximadamente 12.000 GWh, com crescimento médio de 3,5% ao ano. A análise destacou a Região Metropolitana de Fortaleza como o principal polo de consumo, concentrando cerca de 4 milhões de pessoas.

Em seguida, o módulo de "Installation Analysis" focou especificamente em Fortaleza. A plataforma recomendou a instalação em uma zona industrial periférica, justificando a escolha pelo equilíbrio entre a proximidade do centro consumidor de alta demanda e a necessidade de atender aos requisitos de segurança, como a implementação de uma zona de exclusão. A análise de viabilidade (Tabela 1) resumiu os pontos-chave para o projeto.

Tabela 1 – Resumo da Análise de Viabilidade para MNR em Fortaleza (Output do NucApp)

Categoria	Análise Gerada pela Plataforma
Dados Regionais	População da R.M. de Fortaleza: 2,7 milhões. Localização litorânea estratégica com infraestrutura consolidada (porto, aeroporto, malha viária).
Análise Regulatória	Jurisdição principal da CNEN (instalação terrestre). Necessidade de licenciamento nuclear específico (Norma CNEN NE 1.04) e Avaliação de Impacto Ambiental (EIA/RIMA).
CrITÉrios Técnicos	Vantagens: Proximidade de centro urbano, logística estabelecida, potencial de desenvolvimento industrial. Considerações: Necessidade de zona de exclusão (raio mínimo de 800m), plano de emergência para área urbana e gestão de resíduos.
Recomendação Final	Zona industrial periférica de Fortaleza, visando equilíbrio entre segurança e acesso à infraestrutura e mão de obra.

3.2 Visualização do Projeto e Diagramas de Processo

Para facilitar a comunicação e o engajamento com as partes interessadas, o módulo "Proposed Image" gerou uma imagem conceitual da instalação. A imagem retrata uma instalação nuclear moderna e compacta, consistente com a tecnologia de microreatores, localizada em um ambiente industrial costeiro, alinhada com a recomendação de instalação em Fortaleza. Essa representação visual é uma ferramenta poderosa para desmistificar a aparência de uma planta nuclear moderna e apresentar o projeto de forma mais tangível. Paralelamente, os módulos de diagramas forneceram os roteiros para a execução do projeto. O "Licensing Diagram" apresentou de forma clara as etapas sequenciais e os principais documentos exigidos para a via de licenciamento terrestre junto à CNEN, incluindo a Licença de Localização (com EIA/RIMA), a Licença de Construção (com o Relatório de Análise de Segurança - RAS) e o comissionamento.

O "Program Diagram" ofereceu uma visão macro do ciclo de vida do projeto, desde o planejamento inicial (Fase 1) até a avaliação final (Fase 9). Este diagrama funciona como um *roadmap* estratégico, destacando a interdependência entre as fases de coleta de dados, modelagem, seleção tecnológica e licenciamento, essencial para o gerenciamento de um projeto de alta complexidade.



3.3 Discussão dos Resultados

Os resultados gerados pelo NucApp para o estudo de caso de Fortaleza demonstram a capacidade da plataforma de acelerar e enriquecer a fase de análise de viabilidade preliminar. Em questão de minutos, a ferramenta consolidou dados de múltiplas fontes, realizou análises complexas e apresentou os resultados em formatos claros e acionáveis, incluindo relatórios textuais, tabelas, imagens e diagramas de fluxo.

A principal contribuição observada é a desmistificação do processo regulatório. Ao apresentar os caminhos da CNEN e da SecNSNQ lado a lado e fornece um assistente de IA para tirar dúvidas, o NucApp reduz significativamente a barreira de conhecimento, permitindo que planejadores e estrategistas compreendam rapidamente os requisitos e cronogramas envolvidos. A estimativa de custos e os cronogramas de licenciamento (12-18 meses para a Licença de Local, 18-24 meses para a de Construção) fornecem uma base quantitativa para o planejamento financeiro e estratégico do projeto.

A combinação de análise de dados com visualização (imagem conceitual) e roteirização de processos (diagramas) constitui uma abordagem holística. Ela não apenas avalia a viabilidade técnica e econômica, mas também fornece as ferramentas para comunicar o projeto de forma eficaz, um aspecto crucial para a aceitação pública e o alinhamento entre os *stakeholders*.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o NucApp, uma plataforma computacional desenvolvida para otimizar e democratizar o planejamento de Reatores Modulares de Pequeno Porte (SMRs) e Microreatores (MNRs) no Brasil. A ferramenta foi concebida para enfrentar dois dos maiores desafios do setor nuclear nacional: a complexidade do duplo arcabouço regulatório (CNEN para instalações terrestres e SecNSNQ/Marinha para instalações *offshore*) e a necessidade de consolidar análises multifatoriais (demográficas, energéticas, econômicas e de segurança) em uma fase preliminar de projeto.

A principal contribuição do NucApp reside na sua capacidade de integrar, processar e apresentar informações complexas de forma intuitiva e acessível. Por meio de seus módulos interativos, a plataforma fornece relatórios de viabilidade, estimativas de custo, cronogramas de licenciamento e diagramas de processo, que, como demonstrado no estudo de caso da instalação de um MNR em Fortaleza, Ceará, permitem a um planejador obter uma visão estratégica abrangente em um curto espaço de tempo. A ferramenta efetivamente reduz a barreira de entrada para novos projetos, ao traduzir normas e processos regulatórios densos em roteiros claros e acionáveis.

O uso de um assistente de Inteligência Artificial treinado especificamente com as normas brasileiras e a geração de imagens conceituais representam inovações significativas na forma como projetos de engenharia nuclear podem ser comunicados e compreendidos. Essas funcionalidades não apenas auxiliam os técnicos e engenheiros, mas também servem como uma ponte para o diálogo com *stakeholders* não especializados e com a sociedade, um fator crucial para o sucesso de qualquer empreendimento nuclear.

Reconhece-se, contudo, as limitações deste estudo. As estimativas de custo são baseadas em dados internacionais e carecem de uma análise de sensibilidade adaptada às especificidades do mercado brasileiro. Além disso, as análises de viabilidade são de natureza preliminar e não substituem a necessidade de estudos aprofundados, como levantamentos geológicos e sísmicos



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

detalhados, modelagem de dispersão térmica e um Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) completo, que são etapas mandatórias no processo de licenciamento.

Planeja-se também aprimorar o assistente de IA com capacidades de análise preditiva e incorporar funcionalidades de realidade aumentada para visualização de projetos. A longo prazo, o NucApp aspira consolidar-se como uma ferramenta indispensável no ecossistema nuclear brasileiro, fomentando a inovação, capacitando novos profissionais e contribuindo para a construção de uma matriz energética mais segura, limpa e autônoma para o Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Small Modular Reactors. Disponível em: <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- [2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Plano Nacional de Energia 2050. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-nacional-de-energia-2050>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- [3] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). Normas da CNEN. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/normas-da-cnen>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- [4] MARINHA DO BRASIL. Segurança Nuclear. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dgdnm/securanca-nuclear>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- [5] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Hackatom Rosatom/IPEN/2025. Disponível em: https://www.linkedin.com/posts/ipen_hackatom-rosatom-ipen-activity-7318707122089738240-FQdG. Acesso em: 7 maio 2025.
- [6] AMAZON WEB SERVICES (AWS). PartyRock Platform. Disponível em: <https://partyrock.aws/>. Acesso em: 16 maio 2025.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR (ABEN). ABEN lança a quarta edição do projeto Embaixadores Nucleares. Disponível em: <https://aben.org.br/aben-lanca-a-quarta-edicao-do-projeto-embaixadores-nucleares>. Acesso em: 7 maio 2025.