**Título do Projeto:** Desenvolvimento de Gêmeo Digital para Caldeira CFB de 350 MW

**Cliente:** Energia Seival (Nome Fantasia)

**Autor:** Wilson R. Melo – RM357053

**Aviso de Confidencialidade**

Este documento é parte de um projeto desenvolvido sob acordo de confidencialidade e exclusividade firmado entre as partes. O uso para apresentação acadêmica já está previsto no próprio contrato, respeitando todas as cláusulas de confidencialidade. Por razões de confidencialidade, o cliente será referenciado como **Energia Seival** ao longo deste documento, preservando a anonimidade conforme estabelecido no acordo firmado. Todas as informações apresentadas são confidenciais e qualquer uso não autorizado ou divulgação indevida está sujeito às penalidades previstas no contrato.

**1. Problema do Cliente**

A Energia Seival enfrenta dificuldades em **otimizar a operação e manutenção de uma caldeira CFB de 350 MW** devido à complexidade dos processos e variáveis envolvidas. O problema está relacionado ao **controle preciso de eficiência, confiabilidade e segurança da caldeira**, além de minimizar custos operacionais e paradas não planejadas. Atualmente, há uma lacuna no monitoramento em tempo real e na previsão dos comportamentos da caldeira, o que leva a **decisões baseadas em dados históricos limitados** e sem insights preditivos robustos.

**2. Contexto do Cliente e da Caldeira CFB**

A caldeira CFB (Circulating Fluidized Bed) de 350 MW é um componente crítico da planta de geração de energia da Energia Seival. Esse tipo de caldeira é amplamente utilizado por sua capacidade de queimar uma ampla variedade de combustíveis com alta eficiência e baixas emissões. No entanto, a operação dessas caldeiras envolve a gestão de várias variáveis simultâneas, como temperatura, fluxo de ar, pressão e qualidade do combustível, o que torna o controle e a otimização extremamente desafiadores.

Os operadores enfrentam constantes desafios para manter a caldeira funcionando de forma eficiente e segura, uma vez que pequenas variações em qualquer um desses parâmetros podem impactar negativamente a eficiência e a segurança. Além disso, as condições de operação podem mudar rapidamente devido a fatores como variações no combustível ou condições externas, exigindo ajustes rápidos e precisos que nem sempre são fáceis de implementar.

**3. Necessidade de uma Solução Inovadora**

Diante desses desafios, a Energia Seival necessita de uma solução inovadora que permita melhorar o controle operacional e aumentar a previsibilidade do desempenho da caldeira. A solução deve permitir não apenas reagir a eventos à medida que eles ocorrem, mas também antecipar problemas e otimizar os parâmetros operacionais antes que eles comprometam a performance.

**4. Solução Proposta: Gêmeo Digital**

A criação de um **gêmeo digital** da caldeira permitirá simular diferentes condições operacionais e cenários, oferecendo à Energia Seival a possibilidade de:

* **Analisar e prever comportamentos** em condições variadas;
* **Reduzir custos de manutenção** por meio de análises preditivas;
* **Evitar paradas não planejadas**, aumentando a confiabilidade e segurança da operação;
* **Identificar falhas e oportunidades de melhoria** na operação em tempo real.

Com essa solução, a Energia Seival espera ter **um ambiente seguro para testes e otimizações**, onde seja possível ajustar parâmetros e validar estratégias de operação, sem risco para a operação real.

**5. Benefícios Esperados**

A implementação do gêmeo digital trará uma série de benefícios à Energia Seival, incluindo:

* **Melhoria na Eficiência Operacional**: Com a capacidade de simular e prever cenários, os operadores poderão ajustar os parâmetros da caldeira para otimizar o consumo de combustível e maximizar a eficiência.
* **Redução de Custos de Manutenção**: A análise preditiva permitirá identificar potenciais falhas antes que elas ocorram, reduzindo o custo de manutenções corretivas e aumentando a vida útil dos componentes.
* **Aumento da Confiabilidade e Segurança**: A previsão de problemas operacionais e a possibilidade de testar soluções em um ambiente simulado garantirão maior segurança e confiabilidade na operação da caldeira.
* **Ambiente de Treinamento**: O gêmeo digital também servirá como uma ferramenta de treinamento para novos operadores, que poderão aprender a lidar com diferentes situações sem risco para a planta real.

**6. Comparativo com Sistema Pronto (IZANA)**

O sistema IZANA é uma solução proprietária da Sumitomo Foster Wheeler (SFW) e é oferecido pela SFW Digital Services. A comparação a seguir foi feita com base na proposta técnica fornecida pela SFW para a Energia Seival.

Para avaliar as vantagens do desenvolvimento do gêmeo digital em relação a uma solução pronta oferecida pelo mercado, foi realizada uma comparação entre o gêmeo digital e o **Sistema Pronto (IZANA)**. Abaixo estão os principais pontos de comparação:

* **Funcionalidades**: Ambos os sistemas oferecem funcionalidades essenciais, como diagnóstico de hot loop, gerenciamento de leito, detecção de vazamentos, e gerenciamento de combustão. No entanto, o gêmeo digital apresenta vantagens como **foco em desgaste do revestimento e tubos**, **modelo estatístico baseado em dados históricos** e **customização específica para a caldeira CFB**.
* **Flexibilidade e Customização**: O gêmeo digital permite um desenvolvimento altamente customizado, adaptando-se às necessidades específicas da planta da Energia Seival, enquanto o sistema IZANA possui **flexibilidade de desenvolvimento limitada**.
* **Transferência de Conhecimento**: O **Sistema Pronto (IZANA)** oferece uma solução pronta com treinamento padronizado e documentação abrangente, facilitando uma transferência de conhecimento inicial rápida, mas limitada. Em contrapartida, o desenvolvimento do gêmeo digital promove um **processo de aprendizagem interna profundo**, permitindo que a equipe adquira conhecimento detalhado do funcionamento do sistema.
* **Relação Homem-Máquina**: O sistema IZANA possui uma interface desenvolvida e potencialmente mais amigável inicialmente, enquanto o gêmeo digital oferece uma **interface homem-máquina altamente personalizada**, desenvolvida com base no feedback dos operadores da planta, o que facilita a adaptação e melhora a aceitação do sistema.
* **Autonomia e Dependência**: O gêmeo digital proporciona **maior autonomia e controle** sobre o sistema, reduzindo a dependência de fornecedores externos, ao passo que o sistema IZANA depende de suporte e atualizações do fornecedor.
* **Adaptabilidade e Evolução**: O gêmeo digital possui uma maior capacidade de evoluir junto com as necessidades específicas da planta e incorporar novos conhecimentos adquiridos ao longo do tempo. Em contraste, o sistema IZANA segue um cronograma de atualizações baseado em demandas gerais do mercado.

**7. Metodologia Utilizada para Desenvolvimento do Projeto**

A metodologia aplicada para o desenvolvimento do projeto seguiu as diretrizes acadêmicas estabelecidas pela instituição, utilizando a ferramenta [Board Innovation AI](https://ai.boardofinnovation.com) para a criação e validação dos cenários iniciais. Abaixo estão os passos realizados:

**7.1 Criação de Cenários Futuros**

Utilizando a ferramenta Board Innovation AI, foram criados diversos cenários futuros para compreender as possíveis variáveis e desafios enfrentados pela Energia Seival. Esses cenários ajudaram a mapear contextos críticos de operação da caldeira CFB.

* **Cenário 1: Controle Sustentável (2030)**: O gêmeo digital prioriza práticas sustentáveis, minimizando as emissões de carbono e o impacto ambiental, com um módulo de controle verde que fornece dados em tempo real sobre emissões e consumo de energia.
* **Cenário 2: Operação Autônoma (2030)**: O gêmeo digital evoluiu para operar de maneira autônoma, minimizando a necessidade de intervenção humana com o uso de IA e sensores avançados.

**7.2 Criação da Persona**

A partir dos cenários criados, desenvolvemos personas representativas dos principais stakeholders, utilizando arquétipos que capturam as características dos envolvidos na operação da usina. Essas personas foram criadas com base nas preocupações e expectativas dos usuários quanto à adoção de tecnologias avançadas, automação e gestão de riscos.

* **Maria, a Diretora Experiente**: Maria é uma diretora com mais de 20 anos de experiência na indústria termelétrica. Ela valoriza a eficiência, mas está preocupada com a dependência excessiva de automação e IA na operação da caldeira. Para Maria, o equilíbrio entre automação e supervisão humana é fundamental para garantir a eficiência operacional e a segurança. Ela tem um foco específico na mitigação dos riscos de falhas em algoritmos de IA e busca sempre garantir que haja intervenção humana pronta para lidar com questões críticas.
* **Carlos, o Conselheiro Entusiasta de Tecnologia**: Carlos é um membro do conselho com uma forte formação em ciência de dados e tecnologia. Ele está entusiasmado com os avanços em IA e aprendizado de máquina, mas reconhece os riscos da dependência excessiva de automação. Carlos defende o investimento em treinamento contínuo da equipe para garantir que estejam preparados para intervir em falhas dos sistemas de IA, e acredita em uma abordagem proativa para lidar com potenciais riscos de segurança e interrupções operacionais.
* **João, o Diretor Equilibrado**: João valoriza a inovação tecnológica, mas também é cauteloso com os riscos associados à automação. Ele reconhece os benefícios da automação, mas enfatiza a necessidade de supervisão humana para garantir a segurança e eficácia das operações. Além disso, ele está atento às vulnerabilidades introduzidas pela integração de sistemas digitais e busca mitigar riscos de ataques cibernéticos, defendendo um modelo operacional que combine tecnologia avançada com expertise humana.
* **Ana, a Estrategista Financeira**: Ana é uma estrategista financeira com uma visão voltada para o equilíbrio entre inovação tecnológica e responsabilidade financeira. Ela entende que a adoção de tecnologia avançada é crucial, mas está atenta aos impactos financeiros e operacionais. Ana valoriza o retorno sobre investimento e procura maneiras de otimizar processos e reduzir custos sem comprometer a eficiência e a confiabilidade da usina.

**7.3 Desenvolvimento do Questionário de Pesquisa**

Cenários e personas foram alimentados em um modelo de IA da OpenAI para a formulação de 10 perguntas que abordassem as principais preocupações dos stakeholders de forma objetiva e não direcionada. As perguntas foram elaboradas para explorar temas como segurança cibernética, retorno sobre investimento, maturidade tecnológica e adaptação cultural. Aqui estão algumas das perguntas formuladas:

* Como você avalia o potencial de otimização operacional através da implementação de tecnologias avançadas na usina? (Escala de 1 a 5)
* Qual sua percepção sobre a capacidade atual da equipe em lidar com sistemas automatizados de alta complexidade? (Escala de 1 a 5)

**7.4 Aplicação da Pesquisa em Stakeholders Reais**

O questionário foi aplicado aos stakeholders reais da Energia Seival, incluindo operadores, engenheiros de manutenção e gestores, para entender os desafios operacionais e validar as hipóteses levantadas.

**7.5 Análise dos Resultados da Pesquisa**

A análise dos dados coletados revelou alguns pontos críticos e oportunidades de melhoria:

* **Potencial de Otimização Operacional**: A maioria dos stakeholders reconheceu o alto potencial de otimização operacional com a implementação de tecnologias avançadas, indicando abertura e entusiasmo para inovações que possam melhorar a eficiência e produtividade da usina.
* **Capacidade da Equipe**: Houve um reconhecimento de que a equipe atual não está plenamente preparada para lidar com sistemas automatizados de alta complexidade, destacando a necessidade de programas de capacitação e treinamento.
* **Segurança Cibernética e Maturidade da Tecnologia**: A preocupação com a segurança cibernética e a maturidade das tecnologias de IA foi moderada, sugerindo a necessidade de fortalecer defesas digitais e demonstrar a eficácia das tecnologias em contextos industriais.
* **Retorno Financeiro e Adaptação Cultural**: Os stakeholders demonstraram confiança no retorno financeiro a longo prazo, mas apontaram desafios em relação à adaptabilidade da cultura organizacional, indicando resistência potencial às mudanças tecnológicas.
* **Prevenção de Falhas**: Uma das maiores preocupações foi a capacidade atual dos sistemas em prever e prevenir falhas operacionais críticas, reforçando a importância do gêmeo digital como uma solução para mitigar esse problema.

**7.6 Devolutiva e Discussão dos Resultados**

Foi realizada uma devolutiva aos stakeholders, onde discutimos os resultados da pesquisa e os caminhos escolhidos para o desenvolvimento do gêmeo digital. Essa etapa garantiu que todas as partes estivessem alinhadas quanto às expectativas e às funcionalidades da solução.

**8. Projeto Básico, Metodologia de Desenvolvimento e Cronograma de Implantação**

**8.1 Projeto Básico**

O projeto de desenvolvimento do Gêmeo Digital para a caldeira CFB de 350 MW foi estruturado para abordar as principais necessidades de eficiência, otimização e manutenção da operação. Utilizando técnicas avançadas de modelagem, automação e integração com sistemas de monitoramento em tempo real, o objetivo é criar um ambiente que simule as condições da planta e permita ajustes contínuos para maximizar o desempenho e prevenir falhas.

**8.2 Metodologia de Desenvolvimento**

A metodologia adotada segue os princípios da pesquisa e inovação tecnológica, combinando métodos ágeis e fases iterativas de desenvolvimento. A criação do gêmeo digital inclui:

1. **Fase de Planejamento**: Definição dos requisitos e análise dos processos críticos da caldeira CFB, com o envolvimento de especialistas e stakeholders da Energia Seival.
2. **Fase de Desenvolvimento Iterativo**: Implementação de protótipos do gêmeo digital, testes em condições simuladas e ajustes de acordo com os resultados obtidos. Esta fase também envolve a validação contínua dos modelos desenvolvidos com dados reais coletados da planta.
3. **Integração e Validação Final**: Integração dos sistemas de monitoramento em tempo real e IA ao gêmeo digital, garantindo a compatibilidade e eficácia das funcionalidades propostas. A validação é realizada em conjunto com os operadores da usina para garantir a usabilidade e os benefícios esperados.

**8.3 Cronograma de Implantação**

O cronograma de implantação foi dividido em sete fases principais, conforme ilustrado no diagrama de Gantt fornecido:

1. **Fase 1: Sensibilização para o Projeto** (outubro a dezembro): Apresentação do conceito de gêmeo digital aos stakeholders e preparação do ambiente operacional.
2. **Fase 2: Configuração e Preparação** (novembro a janeiro): Configuração do ambiente tecnológico e integração dos sistemas de monitoramento e coleta de dados.
3. **Fase 3: Planejamento Detalhado do Projeto** (novembro a fevereiro): Definição detalhada dos requisitos técnicos e preparação dos processos para o desenvolvimento.
4. **Fase 4: Desenvolvimento Iterativo (Sprints)** (novembro a agosto): Desenvolvimento contínuo do gêmeo digital, com sprints para implementar e testar as funcionalidades.
5. **Fase 5: Validação e Ajustes Finais** (julho a outubro): Validação do gêmeo digital com a equipe operacional, coleta de feedback e ajustes finais.
6. **Fase 6: Implementação e Monitoramento** (outubro a dezembro): Implementação oficial do gêmeo digital na planta e monitoramento inicial para ajustar a operação.
7. **Fase 7: Encerramento do Projeto** (dezembro a janeiro): Encerramento do projeto com a entrega da documentação final e treinamento da equipe.

Essa metodologia garante que o desenvolvimento do gêmeo digital seja realizado de forma estruturada e colaborativa, envolvendo todos os stakeholders da Energia Seival para maximizar o valor agregado da solução proposta.