

DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA DE INTEGRAÇÃO DA PRIMEIRA UNIDADE DE CIMENTAÇÃO TERRESTRE (UCT-01) PELA BRASERV PETRÓLEO: SUPERANDO DESAFIOS NO DESCOMISSIONAMENTO E ABANDONO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Lucas Alberto Lima Matos ^{(1), (2)} (al.lucasmatos@gmail.com), Márcio Roberto de Jesus Barreto ⁽²⁾ (marcio.barreto@braservpetroleo.com.br), Wanderley Ferreira de Amorim Júnior. ⁽¹⁾ (wanderley.ferreira@ufcg.edu.br)

⁽¹⁾ UFCG; Centro de Ciência e Tecnologia; Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica

⁽²⁾ BRASERV Petróleo; Operações Especiais

RESUMO: *Este trabalho descreve o desenvolvimento da primeira Unidade de Cimentação Terrestre (UCT-01) da BRASERV Petróleo LTDA, focando nas operações para descomissionamento e abandono de poços. Apesar de contar com uma equipe pequena com pouca experiência em construção de máquinas para cimentação na indústria petrolífera, foi adotada uma metodologia de projeto de máquinas para superar esses desafios. A abordagem baseou-se na integração aplicada, segmentando o equipamento em subsistemas e componentes para melhor controle. Os componentes foram categorizados quanto à abordagem de construção: compra, adaptação, cópia ou desenvolvimento. Essa integração metodológica contribuiu significativamente para o avanço tecnológico da BRASERV no setor de cimentação. Concluída em março de 2024 e operacionalizada em junho do mesmo ano, a UCT-01 atendeu às expectativas de desempenho, confiabilidade e eficiência, fortalecendo a segurança operacional, a proteção ambiental e a competitividade na indústria petrolífera.*

PALAVRAS-CHAVE: UNIDADE DE CIMENTAÇÃO, INTEGRAÇÃO APLICADA, GERENCIAMENTO DE PROJETO, ENGENHARIA MECÂNICA.

DEVELOPMENT AND INTEGRATION METHODOLOGY OF THE FIRST LAND CEMENTING UNIT (UCT-01) BY BRASERV PETRÓLEO: OVERCOMING CHALLENGES IN OIL WELL DECOMMISSIONING AND ABANDONMENT

ABSTRACT: *This paper describes the development of BRASERV Petróleo LTDA's first Land Cementing Unit (UCT-01), focusing on operations for well decommissioning and abandonment. Despite having a small team with limited experience in cementing machinery construction for the oil industry, a machine design methodology was adopted to overcome these challenges. The approach was based on applied integration, segmenting the equipment into subsystems and components for better control. Components were categorized based on construction approaches: procurement, adaptation, replication, or development. This methodological integration significantly contributed to BRASERV's technological advancement in the cementing sector. Completed in March 2024 and operationalized in June of the same year, UCT-01 met performance, reliability, and efficiency expectations, enhancing operational safety, environmental protection, and competitiveness in the oil industry.*

KEYWORDS: CEMENTING UNIT, APPLIED INTEGRATION, PROJECT MANAGEMENT, MECHANICAL ENGINEERING

1. INTRODUÇÃO

Na indústria petrolífera, o ciclo de vida dos poços produtores é um elemento fundamental que norteia as atividades de extração e produção de petróleo. Desde as fases iniciais de estudo da geologia da região até o momento do descomissionamento, uma série de etapas são meticulosamente conduzidas. Isso inclui a perfuração, produção, desenvolvimento e manutenção dos poços, cada uma demandando investimentos substanciais, não apenas na fase inicial de mobilização, mas ao longo de todo o seu ciclo operacional (Furtado, 2018).

À medida que um poço envelhece, é inevitável que sua produção de petróleo diminua gradualmente, enquanto os custos de manutenção aumentam. Essa dinâmica torna imperativo uma avaliação contínua da viabilidade financeira do poço. No entanto, estimar o momento exato em que um poço se torna financeiramente inviável é uma tarefa complexa devido à multiplicidade de variáveis envolvidas, como as flutuações no preço do petróleo, a possibilidade de compartilhamento de recursos entre poços vizinhos e a consideração de possíveis estratégias de abandono temporário (Araújo, 2020).

Recentemente, houve um crescente interesse em operações de abandono de poços nas bacias Potiguar e Sergipe-Alagoas. Esse aumento na demanda estimulou investimentos substanciais no setor de cimentação, em especial na mobilização de unidades de cimentação, que são equipamentos essenciais para as atividades relacionadas ao abandono de poços. Nesse cenário, a BRASERV PETRÓLEO LTDA, uma empresa consolidada no setor de petróleo e gás, iniciou o desenvolvimento de sua primeira unidade de cimentação. O projeto deste equipamento foi elaborado para atender às necessidades específicas das operações de cimentação de tampões de abandono e squeeze, inserindo a empresa no setor de cimentação com responsabilidade e competitividade.

1.1 Desafios

A UCT-01 foi construída por uma equipe de manutenção mista, composta por colaboradores da BRASERV e prestadores de serviço terceirizados. Devido à falta de experiência da equipe com equipamentos de cimentação de poços de petróleo, a JF Consultora foi contratada como suporte técnico, oferecendo sua expertise em operações de cimentação.

Apesar de algumas mudanças na equipe ao longo do projeto, a configuração mais constante incluiu onze membros: um gerente de operações (Engenheiro Mecânico), um supervisor de operações (graduando em Engenharia Mecânica), um operador experiente de equipamentos de cimentação da JF Consultoria, um mecânico, um eletricitista, três soldadores e três auxiliares. Com

exceção do gerente de operações, que acompanhava o projeto remotamente de Macaé-RJ, todos estavam na base em Alagoinhas.

A JF Consultoria forneceu conhecimentos operacionais e de manutenção, princípios de funcionamento, políticas de bom uso e insights de layout para a UCT-01. O supervisor de operações integrou esses conhecimentos aos requisitos técnicos e operacionais, garantindo a seleção adequada dos componentes e a conformidade com as normas reguladoras, junto ao setor de SMS (Saúde, Meio Ambiente e Segurança).

Uma característica importante do projeto é sua construção como equipamento móvel, montado sobre uma prancha baixa, assim o UCT-01 torna-se capaz de atender o mercado on-shore de campos maduros com autonomia, podendo ser transportada como uma carreta, ou seja, como um semirreboque tracionado por um caminhão-trator do tipo cavalo mecânico.

Buscando baratear os custos do projeto, foram utilizados itens do inventário de equipamentos da BRASERV Petróleo, o que forçou as lideranças da equipe a realizarem modificações no projeto durante todo o processo de construção. As modificações incluíram, mas não foram limitadas a: modificação no layout, redimensionamento de bombas e motores, e, adaptação nas tubulações e linhas da UCT-01.

O desenvolvimento da unidade ocorreu na base em Alagoinhas, Bahia, por meio de uma colaboração multidisciplinar envolvendo diversas áreas da engenharia. A unidade foi projetada para ser ágil o suficiente para enfrentar os desafios das operações em locais de difícil acesso, mantendo processos simplificados de operação e manutenção, permitindo sua utilização por equipes reduzidas.

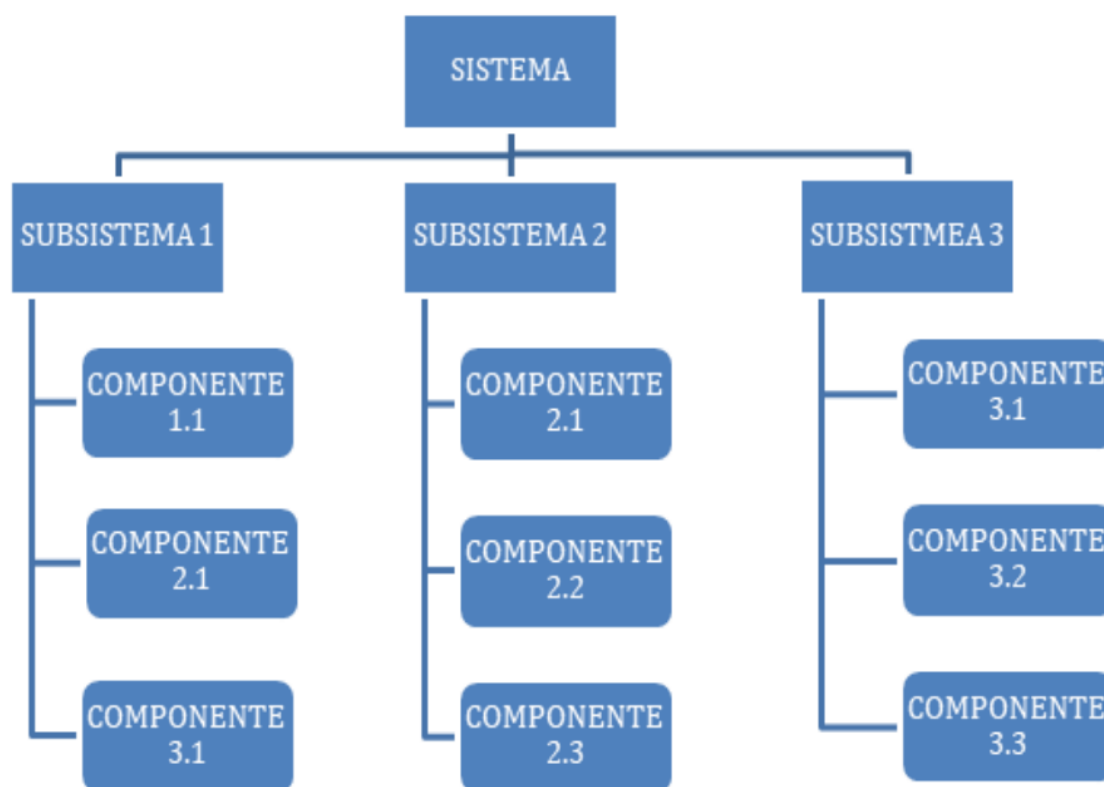
1.2 Objetivos

1. Desenvolver uma unidade de cimentação compacta, confiável e de fácil operação e manutenção, para realizar operações de tamponamento e squeeze em poços de petróleo para a BRASERV Petróleo LTDA, respeitando as resoluções da ANP e as recomendações de QSMS (Qualidade, Saúde, Meio Ambiente e Segurança).
2. Utilizar a integração metodológica durante o gerenciamento do projeto para garantir que as etapas do desenvolvimento e construção sejam completadas dentro dos requisitos de prazo, orçamentários, operacionais e de QSMS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para o desenvolvimento da Unidade de Cimentação Terrestre (UCT-01) da BRASERV Petróleo LTDA foi fundamentada na técnica de integração aplicada ao desenvolvimento de produtos/equipamentos de engenharia. Esta abordagem proporcionou uma estrutura organizada para o gerenciamento do projeto, permitindo a categorização dos equipamentos em sistema, subsistema e componentes, o que facilitou a visualização sistêmica e detalhada dos processos macros envolvidos na construção, montagem, manutenção e operação da máquina projetada, conforme ilustrado na Figura 1.

FIGURA 1: Fluxograma metodológico do desenvolvimento da UCT-01



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A técnica de integração envolveu a avaliação de cada componente da UCT-01 quanto à sua abordagem de engenharia, levando em consideração quatro categorias principais:

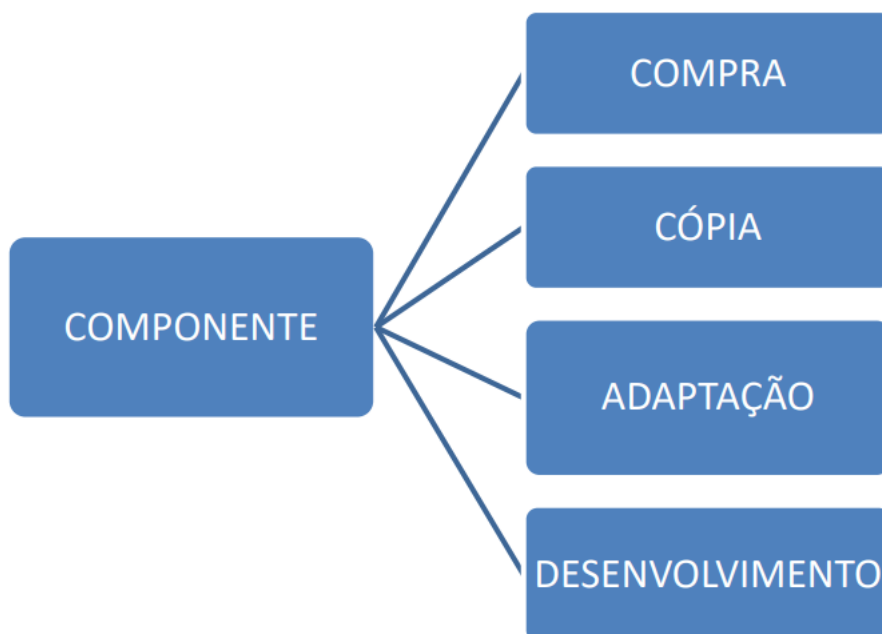
- **Compra:** Componentes nos quais o melhor custo-benefício é obtido através da aquisição direta de fornecedores. Essa escolha é motivada por diversos fatores, como

falta de capacidade para fabricação própria, custos elevados de produção, ou tempo extenso de fabricação.

- Adaptação: Componentes disponíveis no mercado, mas que requerem ajustes para se adequarem aos requisitos do projeto ou ao regime de operação desejado.
- Cópia: Fabricação de componentes baseada em soluções existentes no mercado. Esta abordagem é adotada quando a aquisição do componente original não é viável devido a diversos fatores, como disponibilidade no mercado, prazos de entrega, custos associados à compra, complexidade de transporte, entre outros.
- Desenvolvimento: Componentes que precisam ser customizados especificamente para atender às demandas do projeto e, portanto, não estão disponíveis no mercado. Nesses casos, a fabricação e desenvolvimento dos componentes são realizados internamente pela equipe do projeto.

Essa estrutura pode ser resumida em um fluxograma de decisão para cada componente, conforme a Figura 2.

FIGURA 2: Fluxo de decisão para confecção de componentes



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A partir dessa metodologia de integração, o projeto da UCT-01 foi concebido, levando em consideração as características específicas de cada componente e sua função dentro do sistema. Além disso, a análise detalhada dos requisitos operacionais e de desempenho permitiu a seleção dos melhores enfoques de engenharia para cada parte da unidade de cimentação.

A implementação dessa metodologia de integração proporcionou uma visão integrada e abrangente do projeto, garantindo não apenas a eficiência e confiabilidade da UCT-01, mas também otimizando os custos e prazos de desenvolvimento, além de assegurar a compatibilidade com as exigências ambientais e regulatórias do setor petrolífero. A utilização dos equipamentos disponíveis no inventário da BRASERV Petróleo LTDA também representou uma estratégia eficaz para reduzir os custos de construção da unidade, sem comprometer sua qualidade ou desempenho.

O processo de desenvolvimento da Unidade de Cimentação Terrestre, conforme delineado na metodologia de integração, adotou uma abordagem baseada em uma ferramenta de integração aplicada. O objetivo principal era viabilizar a condução de múltiplas etapas do projeto de forma simultânea, sem que houvesse interferências entre elas.

A divisão sistemática resultante proporciona uma visão mais concisa dos processos macro, possibilitando uma detalhada descrição dos passos a serem seguidos durante as fases de construção, montagem, manutenção e operação da máquina.

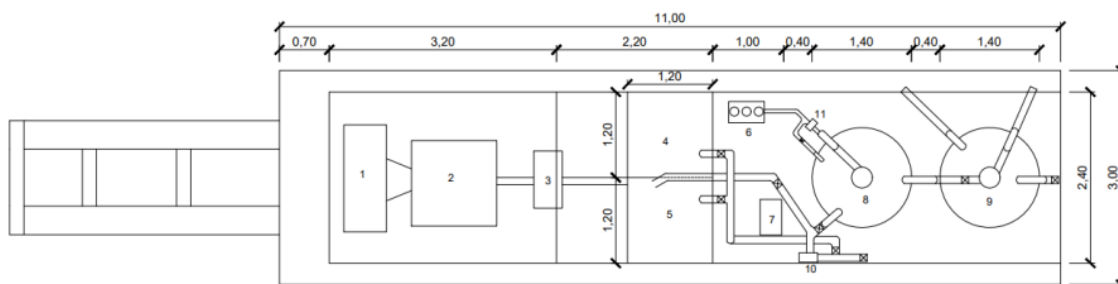
Essa ferramenta de integração aplicada é proveitosa no contexto do desenvolvimento de produtos e equipamentos de engenharia, desempenhando um papel importante no gerenciamento de projetos de máquinas, permitindo a organização dos elementos do projeto em sistemas, subsistemas e componentes.

3. RESULTADOS

3.1 Unidade de Cimentação Terrestre (UCT-01)

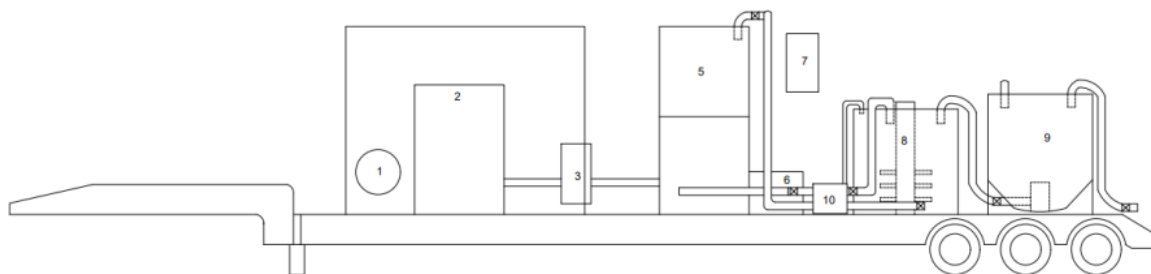
A primeira unidade de cimentação da BRASERV Petróleo, conhecida como Unidade de Cimentação Terrestre 01 (UCT-01), foi projetada como um equipamento pioneiro para a empresa. Uma concepção inicial registrada em um esboço está ilustrada nas Figuras 3 e 4.

FIGURA 3: Vista superior do primeiro layout pensado para a UCT-01.



Fonte: Braserv Petróleo (2023).

FIGURA 4: Vista lateral do primeiro layout pensado para a UCT-01.



Fonte: Braserv Petróleo (2023).

Os equipamentos montados sobre uma prancha baixa como indicados no layout:

1. Radiador
2. Motor diesel acionador da bomba triplex
3. Caixa de marchas
4. Tanque de deslocamento 1
5. Tanque de deslocamento 2
6. Bomba triplex
7. Painel de controle

8. Tanque de Mistura com Agitador
9. Silo de cimento
10. Centrífuga de captação
11. Centrífuga de mistura

Ao longo das reuniões de desenvolvimento, o projeto sofreu grandes alterações, seguindo os parâmetros de operação e requisitos de projeto, os reservatórios previstos (tanques de deslocamento 1 e 2, tanque de mistura e silo de cimento) foram redesenhados. Um ensaio do layout foi executado na base em alagoinhas, utilizando uma unidade de bombeio offshore e tanques do inventário da Braserv, como mostra a Figura 5.

FIGURA 5: Ensaio do posicionamento dos equipamentos sobre a prancha.



Fonte: Acervo do autor (2023).

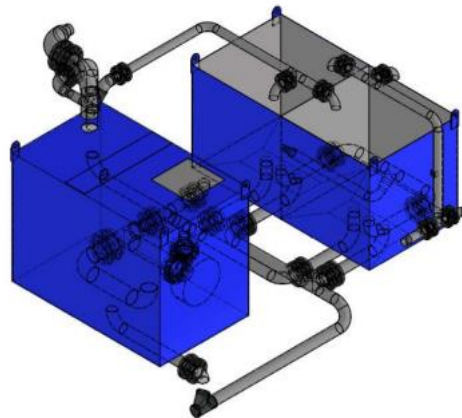
O silo foi reduzido para diminuir o peso sobre a prancha baixa, ao mesmo tempo que mantinha o volume de cimento em pó suficiente para realizar no mínimo três operações, com segurança, seu posicionamento deve ser bem pensado, pois trata-se de um componente que será transportado carregado de cimento, logo, com um peso elevado, com área de contato com o assoalho da prancha relativamente pequena. Uma particularidade do silo de cimento, é a seu enquadramento como um vaso de pressão, e, portanto, sua construção foi feita de acordo a NR13.

Os tanques de deslocamento 1 e 2 foram redesenhados em um tanque de deslocamento único, com capacidade de 20 bbl. Diminuindo a estrutura, e mantendo um volume suficiente de água para realizar um tampão, com sobra de água para manobra de recirculação de água para lavar as linhas de cimento, evitando bloqueio das tubulações de mistura.

O tanque de mistura foi redesenhado, adotando uma geometria retangular, o que proporcionou um melhor posicionamento sobre a prancha, ganhando espaço para instalação de áreas de movimentação do operador. A Figura 6 mostra o design após mudanças no tanque de

mistura (esquerda) e tanque de deslocamento (direita), assim como a posição da tubulação de mistura, em cinza.

FIGURA 6: Esquema inicial do subsistema de mistura da UCT-01.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O conjunto motor, caixa de marcha e bomba triplex foi adaptado de uma unidade de bombeio offshore do inventário de itens da Braserv, essa unidade de bombeio montada sobre skid, como ilustrado na Figura 7, possui o peso aproximado de 9 toneladas.

FIGURA 7: Unidade de bombeio offshore montada sobre skid.



Fonte: Acervo do autor (2023).

Visando a melhor distribuição de peso na estrutura da carreta (prancha baixa), o layout do pré-projeto foi invertido, reposicionado o conjunto motor, caixa de marcha e bomba para o fundo da prancha em cima dos eixos. Os tanques, que permanecem vazios e apenas são preenchidos no momento da operação, foram posicionados no meio da prancha, enquanto o silo que é preenchido

com cimento em pó durante a mobilização, ou seja, antes de iniciar as operações foi posicionado próximo ao pescoço da prancha, em uma área mais próxima do pino rei.

A disposição final dos itens pode ser observada na Figura 8, obtida já na fase de posicionamento final dos equipamentos, meses após o esboço do primeiro layout.

FIGURA 8: Posicionamento final dos equipamentos sobre a prancha.



Fonte: Acervo do autor (2024).

O projeto recebeu o nome de Unidade de Cimentação Terrestre devido às suas características específicas, entre elas, o fato de que todo o equipamento foi montado sobre uma prancha baixa, de modo que a Unidade possa ser movimentada como uma carreta. A Unidade de Cimentação Terrestre, de TAG UCT-01 é equipada com o chamado "trio completo", o que significa que engloba os três subsistemas essenciais para sua operação: o subsistema pneumático de descarga de cimento, o de mistura da pasta de cimento e o de bombeio do cimento para o poço.

A integração harmoniosa de todos os componentes na UCT-01 foi viabilizada pelo escopo de operações claramente definido, que permitiu dimensionar adequadamente o tamanho dos reservatórios, otimizando o espaço de instalação.

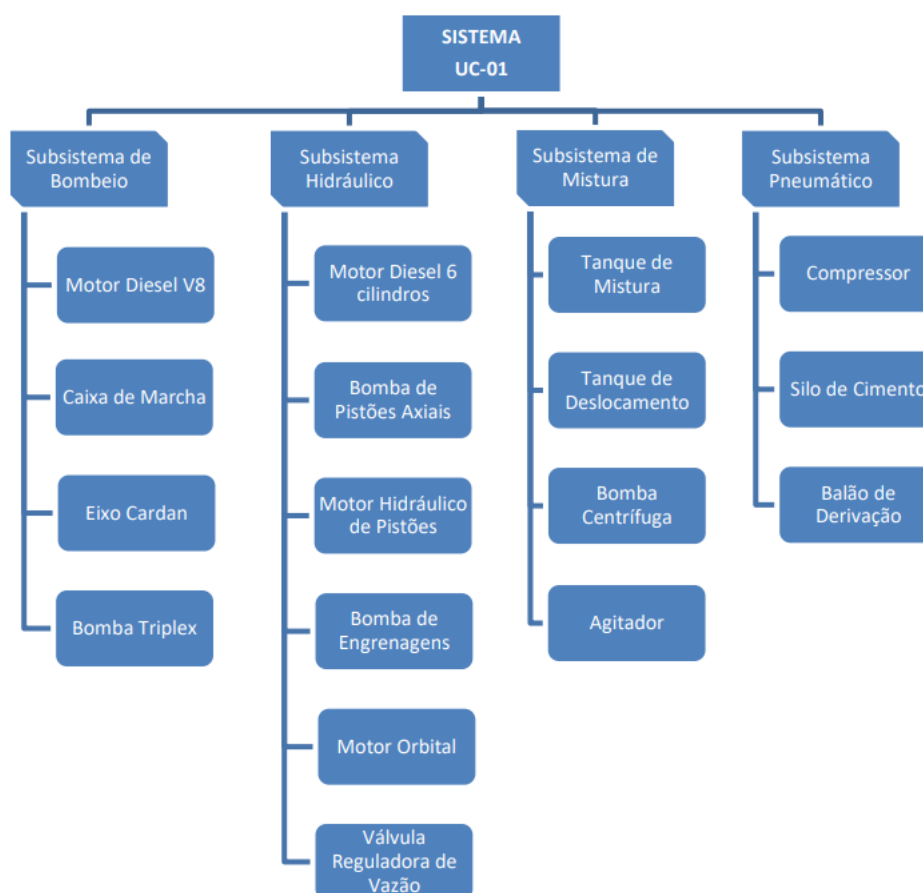
A Braserv Petróleo possui um inventário de equipamentos disponíveis para implementação em projetos de engenharia. Dentre esses equipamentos, destacam-se motores de combustão interna de ciclo Diesel e Otto, bombas hidráulicas e centrífugas, motores elétricos, entre outros materiais do setor de petróleo e gás. Para o projeto da UCT-01, uma estratégia para redução de custos foi a utilização desses equipamentos disponíveis no inventário da BRASERV.

De acordo a integração metodológica, o equipamento foi estruturado com base em uma abordagem sistêmica, organizando os sistemas, subsistemas e componentes em uma hierarquia clara.

A UCT-01 é considerada o Sistema, representando a instância principal que engloba os subsistemas. Os conjuntos de equipamentos foram agrupados conforme suas funções nas diferentes etapas de operação da UCT-01. Essas etapas são: a pressurização e transporte pneumático do cimento em pó (Subsistema Pneumático), o acionamento de bombas e motores hidráulicos (Subsistema Hidráulico), a circulação de fluido e cimento em pó, mistura da pasta e pré-carga de bombeamento (Subsistema de Mistura), e o bombeamento da pasta de cimento para o poço (Subsistema de Bombeamento).

O fluxograma resultante da organização desses elementos se apresenta dividido em 4 subsistemas, o Subsistema de Bombeio, o Subsistema Hidráulico, o Subsistema de Mistura e o Subsistema Pneumático, todos com suas especificações de equipamentos suas funções definidas no processo de Cimentação, conforme a Figura 9 a seguir.

FIGURA 9: Fluxograma do sistema e seus componentes



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.2 Matriz de integração dos processos

A partir da determinação dos componentes do sistema que compõe o equipamento, foi feita a análise dos pontos críticos de cada um para o andamento do projeto, entre eles: custo, prazos, complexidade. E o resultado desta avaliação originou na Tabela 1, onde os componentes críticos do sistema e suas respectivas abordagens de engenharia estão representados.

TABELA 1: Definição da abordagem de projeto para os componentes

COMPRA	ADAPTAÇÃO	CÓPIA	DESENVOLVIMENTO
Caixa de Marcha	Motor Diesel V8	Agitador	Tanque de Mistura
Eixo Cardan	Bomba Triplex		Tanque de Deslocamento
Motor Diesel 6 cilindros			Silo de Cimento
Bomba de Pistões Axiais			Balão de Derivação
Bomba de Engrenagens			
Motor Hidráulico de Pistões			
Motor Orbital			
Válvula Reguladora			
Bomba Centrífuga			
Compressor			

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4. RESULTADO

A construção da Unidade de Cimentação Terrestre UCT-01 foi finalizada em março de 2024, com período de testes efetuado em abril, na base da BRASERV em Alagoinhas. As baterias de testes foram realizadas na base, com linha de bombeio mista, composta por linhas de aço de 2 polegadas figura 1502 (suportam até 15.000 psi), e mangueira flexível de 2 polegadas, com extremidade livre. Durante as baterias de testes, todos os subsistemas foram submetidos a carga de trabalho, com pressão de bombeio referente ao requisitado para operação (3.500 psi), e com pressões maiores (5.000 psi), de modo a testar o equipamento com um bom fator de segurança.

Em junho de 2024 a unidade foi entregue a equipe de operação na base da BRASERV em Carmópolis, no estado do Sergipe. Desde então, a UCT-01 vem completando seus serviços satisfatoriamente, demonstrando eficiência e confiabilidade, atendendo plenamente aos requisitos técnicos e operacionais estabelecidos para o projeto.

FIGURA 11: Unidade de Cimentação Terrestre finalizada



Fonte: Acervo do autor (2024).

5. CONCLUSÕES

A construção da Unidade de Cimentação Terrestre UCT-01 exemplifica o sucesso obtido no desenvolvimento do projeto mediante a aplicação de uma metodologia de integração. As condições adversas do projeto, como a baixa experiência da equipe, o número reduzido de membros, o prazo restrito de construção e o orçamento limitado, foram superadas com eficácia por meio de um rigoroso gerenciamento de projetos de máquinas.

A integração metodológica adotada desempenhou um papel crucial nessa conquista, ao proporcionar uma visão abrangente dos processos macro e detalhar minuciosamente todas as etapas de construção, montagem, manutenção e operação. Durante o desenvolvimento da UCT-01, foram avaliadas meticulosamente as abordagens de compra direta, adaptação, cópia e desenvolvimento, a fim de garantir a eficácia e a eficiência do projeto.

A estratégia de compra direta foi selecionada para componentes complexos, enquanto adaptações foram realizadas conforme necessário. A decisão de replicar um agitador constituiu uma escolha estratégica para assegurar a qualidade e evitar complicações na aquisição do componente original. Ademais, o desenvolvimento interno de componentes específicos evidenciou a capacidade da equipe de resolver problemas e demonstrou seu pensamento inovador, ao criar soluções personalizadas e eficientes em um curto espaço de tempo.

Em suma, a construção da UCT-01 não apenas atendeu às demandas técnicas e operacionais, mas também destacou a importância de uma gestão de projetos integrada e flexível, capaz de enfrentar desafios significativos e entregar resultados de alta qualidade.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ACHANG, M.; YANYAO, L.; RADONJIC, M. A review of past, present, and future technologies for permanent plugging and abandonment of wellbores and restoration of subsurface geologic barriers. *Environmental Engineering Science*. v. 37, n. 6, p. 395-408, 2020.

ALMEIDA, F. B.; JUNIOR, J. R. S. P.; MACHADO, L. C. Estudo dos procedimentos e normas de abandono e causas de acidentes por falhas na cimentação dos poços de petróleo. *Ciências Exatas E Tecnológicas*. v. 3, n. 3, p. 51-62, 2016.

ARAÚJO, R. G. S. Uso da cinza da casca do arroz em tampões de cimento para abandono de poços petrolíferos. Tese em Ciência e Engenharia de Petróleo – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 127 p., 2020.

BEZERRA, U. T. Compósitos portland-biopolímero para cimentação de poços de petróleo. Tese em Ciência e Engenharia de Materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 297 p., 2006.

FURTADO, R. Abandono Permanente De Poços De Petróleo No Brasil: Dados, Motivações, SGIP ANP e Melhores Práticas Da Indústria. LINKEDIN. 2018. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/o-abandono-permanente-de-poços-petróleo-brasil-dados-sgipanpfurtado>>. Acesso em 10 abril 2024.

JÚNIOR AMORIM, Wanderley Ferreira. Metodologia de Integração. Notas de Aulas da disciplina de Máquinas de Elevação e Transporte. Curso Engenharia Mecânica/ CCT/UFCG. 2023.

MATOS, Lucas Alberto Lima. Inovações na cimentação de poços de petróleo: integração da unidade de cimentação para operações de tamponamento e squeeze de poços de petróleo. Monografia em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Campina Grande, 69 p., 2024.

SOUZA, H. M. A. C.; CARVALHO, P. A.; FILHO, J. C. F. Normas de abandono e acidentes causados por cimentação na indústria de petróleo. *Ciências Exatas E Tecnológicas*. v. 4, n. 2, p. 111-118, 2017.

SOUZA, H. M.; VELOSO, A. Utilidade do revestimento e da cimentação na indústria petrolífera. *Ciências Exatas E Tecnológicas*. v. 4, n. 2, p. 11-24, 2017.