

ENGENHARIA DE SEGURANÇA NO PROJETO MECÂNICO DE UMA PERFURATRIZ DE HÉLICE CONTÍNUA. ODS 9

Renan Clemente Moreira (Universidade de Taubaté)

Marcia Regina de Oliveira (Universidade de Taubaté)

Valter João de Sousa (Universidade de Taubaté)

Diego José Rodrigues Marques (Universidade de Taubaté)

Roque Antônio de Moura (Universidade de Taubaté / FATEC SJC)

Resumo

No Brasil o desenvolvimento de inovações tecnológicas na construção civil teve seu ápice nas décadas de 40 e 50. Entretanto, curiosamente houve um retrocesso em determinados aspectos como assunção de características artesanais onde operários realizavam diversas funções. Atualmente a alta competitividade de mercado obriga as empresas a buscarem processos produtivos que privilegiem a redução de custos, aumento de produtividade e motivação dos funcionários. O objetivo desta pesquisa é aplicar a engenharia de segurança no projeto mecânico de uma perfuratriz de hélice contínua, visando reduzir os riscos de acidentes e lesões para os operadores e trabalhadores da obra. Algumas das principais medidas de segurança incluem estabilidade da máquina, proteção contra quedas pois os trabalhadores devem ser protegidos contra quedas de alturas e proteção do contato com partes energizadas. Além dessas medidas de segurança específicas, é importante também considerar os princípios gerais de segurança no trabalho, como a utilização de equipamentos de proteção individual. A metodologia adotada foi a de pesquisa exploratório-descritiva buscando-se apresentar um estudo de caso em uma empresa do setor de construção civil no qual se analisa o processo produtivo de uma perfuratriz de hélice contínua e a proposição de implementação de um método automatizado de limpeza das hélices. Como resultado pode-se perceber a necessidade de inovação e melhoria nos itens como segurança, motivação dos funcionários e produtividade. Conclui-se que a adoção de medidas de segurança no projeto mecânico de uma perfuratriz de hélice contínua é essencial para garantir a segurança dos trabalhadores da obra. A inovação e criatividade, a partir do reconhecimento das dificuldades em processos produtivos são fundamentais para a manutenção da competitividade das empresas.

Palavras-chave: Fundação. Hélice contínua. Limpa hélice. Perfuratriz hidráulica.

Introdução

Segundo Moura *et al* (2022), novas competências e habilidades profissionais estão voltadas para a Indústria 4.0 se ajustando a toda cadeia de modernização e automatização que dela se originam. Nesse sentido, nos últimos anos a indústria do setor de construção civil avançou significativamente nos processos de execução de perfurações e fundações seguindo a necessidade de obras cada vez maiores, com

grandes cargas envolvidas amparadas pelo aprimoramento tecnológico da engenharia tanto no quesito civil quanto mecanicamente relacionado a construção de máquinas, equipamentos e dispositivos.

Na construção civil há diversos tipos de técnicas para execução de fundações profundas, sendo as estacas moldadas *in loco* uma das mais importantes nos dias de hoje. As estacas do tipo hélice contínua foram utilizadas primeiramente nos Estados Unidos na década de 50 e no Brasil a partir dos anos 90 com aplicações para diâmetros maiores que 425 milímetros e profundidade superior a quinze metros (Albuquerque; Paschoalin; Carvalho, 2008).

Os equipamentos atuais, monitorados e automatizados, se apoiam no avanço da tecnologia para realizar processos de melhor qualidade e desempenho durante todas as etapas do processo de uma fundação.

Segundo Souza (2010), apesar da evolução no setor da construção civil, há ainda processos tradicionais e arcaicos, que demandam trabalhos artesanais, ou seja, expõe um maior risco à saúde do trabalhador por serem manuais. Nesse sentido, há oportunidade de implementar uma nova visão de processos e práticas no setor da construção civil, considerando a alta representatividade deste na economia brasileira (Lima, 2007).

Reconhece-se que houve uma redução dos índices de acidentes de trabalho no setor da construção civil após a vigência da norma regulamentadora 18 (NR18). Contudo a construção civil é um dos setores produtivos com péssimos índices no quesito segurança e acidentes de trabalho, sendo mais comuns quedas, lesões provocadas por ações manuais em ferramentas e máquinas, além de lesões causadas por impacto de objetos (Oliveira *et al.*, 2021).

Este trabalho tem a finalidade de demonstrar o processo de utilização de uma máquina perfuratriz de hélice contínua e a busca pela melhoria de seu processo de limpeza das lâminas com maior segurança.

A relevância deste trabalho justifica-se pelas soluções tecnológicas e inovadoras na aprimoração do processo, buscando-se melhores performances nos quesitos segurança, efetividade, eficácia e satisfação no trabalho.

Referencial Teórico

No início as fundações eram feitas utilizando-se de dados empíricos, sendo que com a evolução dos estudos e das tecnologias, ocorreram grandes progressos na área de mecânica dos solos. A transmissão das cargas da edificação para camadas de solo resistente sem que ocorra ruptura do solo é responsabilidade das fundações (Abrahão; Velloso, 1998).

Conforme descrito por Velloso e Lopes (2010), as fundações profundas podem ser classificadas em dois grandes grupos, ou seja, as fundações superficiais e as fundações profundas. Ambas podem ser separadas seguindo a definição de que uma fundação profunda é aquela cujas bases estão implantadas a pelo menos três metros de profundidade, tendo também uma profundidade duas vezes maior que a sua menor dimensão.

Existem alguns diferentes tipos de fundações profundas, como estacas, tubulão e caixão, sendo as estacas um tipo bem importante no cenário atual, esse tipo de fundação é realizado por máquinas chamadas de perfuratrizes hidráulicas de hélice contínua (Barbosa, 2009).

Segundo a NBR 6122 (2019), à estaca de hélice contínua é de concreto moldada *in loco*, onde ela é executada diante da introdução de um trado helicoidal contínuo e mesmo diâmetro ao longo de toda sua extensão no solo através de rotação.

Posteriormente é realizada a injeção de concreto através do diâmetro interno do tubo central do trado e simultaneamente é realizada a retirada do trado. Por fim, ao término da concretagem da estaca é colocado a armadura na mesma (Velloso; Lopes, 2010).

Barbosa (2009) comenta que as estacas do tipo hélice contínua é realizado com uma ferramenta chamada de trado de diâmetros entre 30cm e 100cm e comprimentos de 15m a 30m em equipamentos comuns. Os trados são constituídos de um tubo central e chapas helicoidais soldadas em torno do tubo central e garras na extremidade inferior do trado, facilitando assim a remoção de material. Esse tipo de fundação tem o princípio de realizar a perfuração e a concretagem simultaneamente, sendo necessário alcançar toda a profundidade do furo sem a retirada da ferramenta do solo em nenhum momento (Velloso; Lopes, 2010).

A limpeza de hélice é comumente efetuada de forma manual por operadores com enxadas diretamente na ferramenta ou por operadores utilizando outro

maquinário para realização da tarefa, tornando-se um trabalho lento e com grande risco aos operadores, uma vez que pedras e outros materiais dispostos no solo retirado podem se desprender e cair sobre os operadores (Pereira Filho, 2016).

Com isso, o material que é transportado pela hélice durante a perfuração, deve ser removido durante todo o processo evitando possíveis acidentes e prejuízos de desempenho do equipamento, contudo, apesar de serem bastante modernas e atuais estas máquinas, algumas empresas utilizam apenas o método de limpeza manual das lâminas. Um modelo dessas máquinas está ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Máquina perfuratriz de hélice contínua



Fonte: Solotrat, 2021

Metodologia

O conhecimento técnico-científico resulta da investigação científica a partir da realidade vivida nas práticas e a busca por soluções dos desafios enfrentados. A busca por confiabilidade nas análises exige uma série de atividades racionais e sistemáticas para que se possa definir como ciência (Marconi; Lakatos, 2007).

A metodologia adotada foi a de pesquisa exploratório-descritiva, por meio de um estudo de caso que ocorre pelo fato de se possuir pouco conhecimento no assunto estudado, buscando-se, então, uma maior profundidade desses conhecimentos.

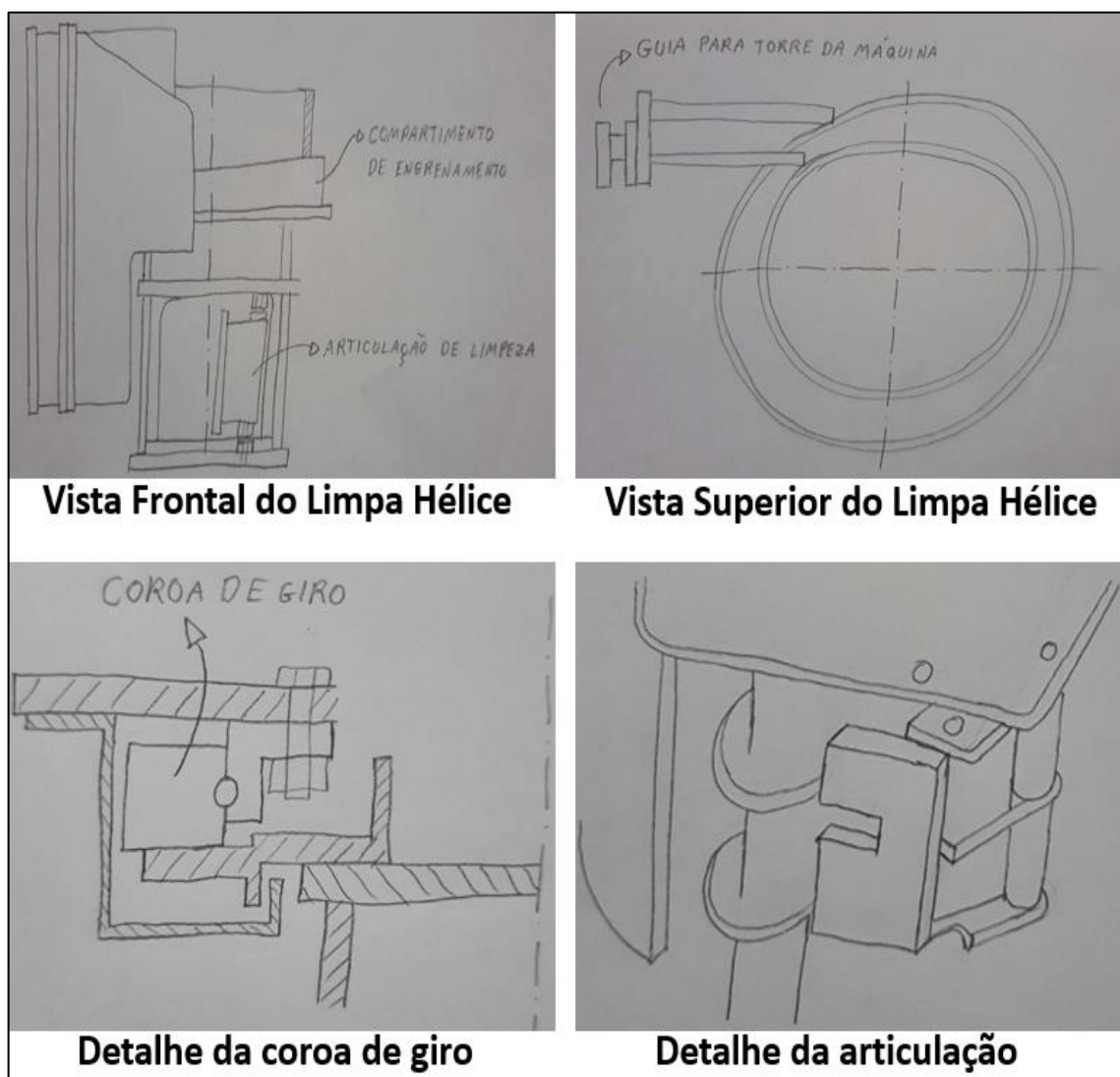
Conforme Gil (2007) o estudo exploratório tem como principal objetivo fornecer uma visão mais ampla a respeito do assunto. Já a pesquisa descritiva, segundo o mesmo autor, preocupa-se com em observar os fatos, registrá-los e interpretá-los em

relação aos procedimentos para condução da pesquisa, tratando-se de um estudo de caso. Para coleta dos dados utilizou-se de análise documental e entrevistas com responsáveis pela operação e pelo novo projeto.

Desenvolvimento do projeto de máquina

Segundo Velloso e Lopes (2010), o processo de limpeza de uma ferramenta de hélice contínua de máquinas perfuratrizes por muitas vezes feita manualmente por um operador, torna o processo lento e perigoso. Diante disso, há uma oportunidade para um projeto de limpa hélice automatizado, permitindo maior segurança e eficiência na perfuração do solo. A concepção inicial da estrutura do limpa hélice foi desenvolvida através de um esboço desenhado a mão livre conforme ilustra a Figura 2 para exemplificar pontos importantes do projeto.

Figura 2: Croqui detalhado do projeto limpa hélice.

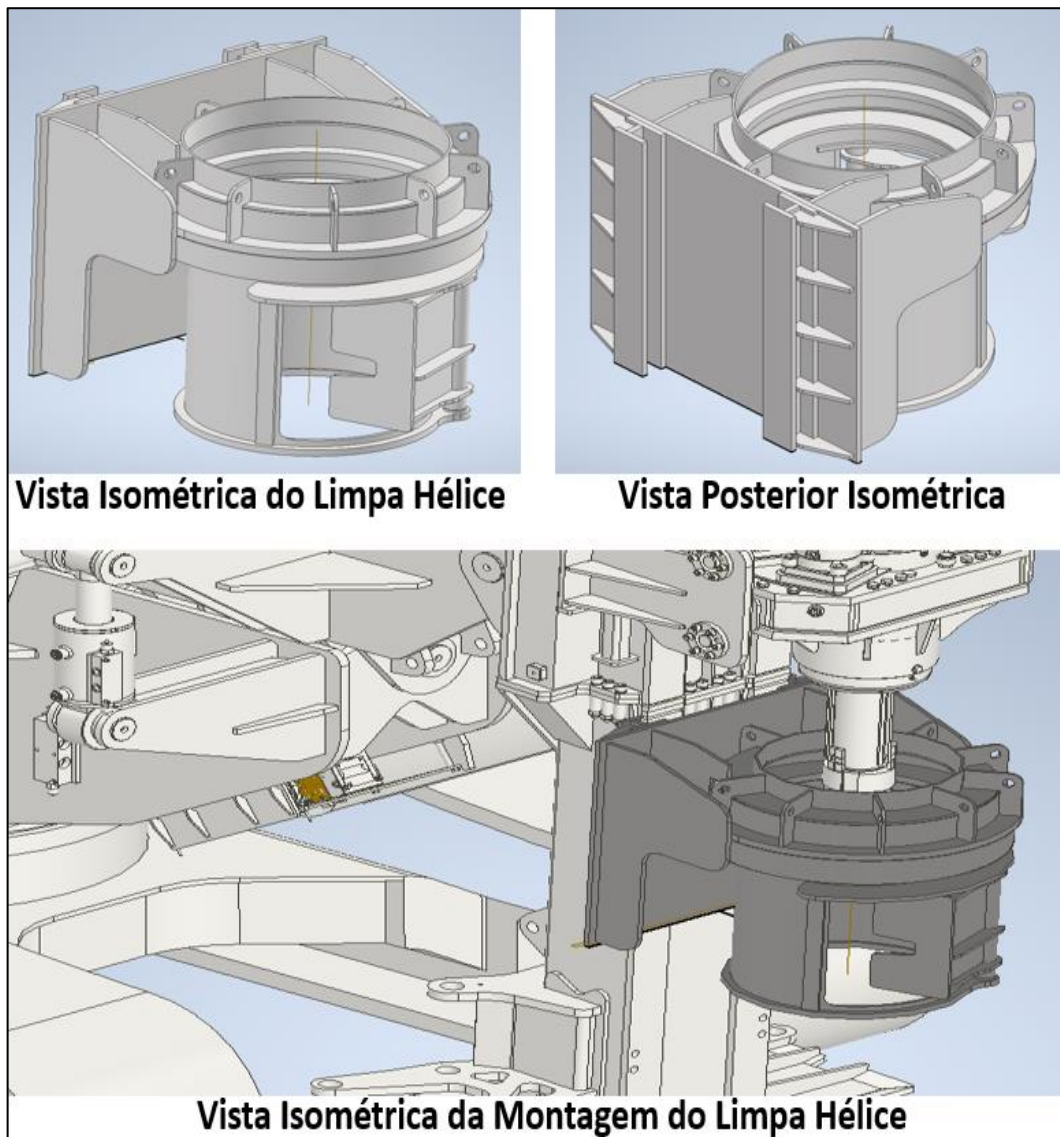


Fonte: Próprio Autores (2023).

A metodologia combinando pesquisa e ação prática para gerar conhecimento e promover mudanças em uma determinada situação após a identificação do problema e leitura das literaturas existentes, mais a análise do contexto, coleta de dados e planejar as etapas subsequentes do projeto, encontrou na pesquisa-ação um processo iterativo e colaborativo que permitiu aperfeiçoar as intervenções e alcançar resultados mais significativos.

A Figura 3 é um modelo 3D das vistas isométricas do projeto limpa hélice que foi desenvolvido utilizando o *software Autodesk Inventor 2023* a partir de um modelo conceitual do projeto.

Figura 3: Vistas Isométricas do projeto limpa hélice.



Fonte: Próprio Autores (2023)

Projeto detalhado

No desenvolvimento do projeto em relação aos materiais foi utilizado aço carbono ASTM A572 Gr.50, ASTM A36, SAE 1045 e material polimérico de Delrin (Poliacetal), seguindo as especificações conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades mecânicas ASTM A572.

Classe	Limite Escoamento (mín.)		Resistência a tração (mín.)		Alongamento (mín.) % ^{B, C, D}	
	ksi	[MPa]	ksi	[MPa]	Em 200mm	Em 50mm
42 [290]	42	[290]	60	[415]	20	24
50 [345]	50	[345]	65	[450]	18	21
55 [380]	55	[380]	70	[485]	17	20
60 [415]	60	[415]	75	[520]	16	18
65 [450]	65	[450]	80	[550]	15	17

^B Alongamento não necessita ser determinado para chapa de piso.

^C Perfil de flanges largos acima de 426 lb/pés [634 kg/m], alongamento em 2 pol. [50mm].

^D Placas com largura maior que 24 pol. [600mm] o alongamento requisitado é reduzido 2 pontos percentuais para classes 42, 50 e 55 [290, 345 e 380], e três pontos percentuais para classes 60 e 65 [415 e 450]. Verificar ajustes de requisitos na seção Testes de Tensão da especificação A 6/A 6M.

Fonte: Adaptado pelos Autores da ASTM A572 (2006)

No desenvolvimento dimensional de chapas, perfis e barras foi utilizado aço carbono ASTM A36 seguindo as especificações conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades mecânicas do ASTM A36.

Propriedades Mecânicas	Chapas, Perfis ^B e Barras	Chapas e Barras ^{D, E}	Perfis
Resistência a Tração, ksi [MPa]	58-80 [400-550]	-	-
Limite de Escoamento mín., ksi [MPa]	36 [250] ^C	-	-
Alongamento em 200mm, mín. (%)	-	20	20
Alongamento em 50mm, mín. (%)	-	23	21 ^B

^B para perfis de flanges largos com espessuras acima de 3 pol. [75mm], a resistência a tração máxima de 80 ksi [550MPa] não se aplica e o alongamento mínimo em 2 pol. [50mm] de 19% aplica-se.

^C Limite de escoamento de 32 ksi [220MPa] para chapas acima de 8 pol. [200mm] de espessura.

^D Alongamento não necessita ser determinado para chapa de piso.

^E para placas com largura maior que 24 pol. [600mm] o alongamento requisitado é reduzido 2 pontos percentuais. Verificar a subseção Ajustes de Requisitos de Alongamento na seção Testes de Tensão da especificação A 6/A 6M.

Fonte: Adaptada pelos Autores da ASTM A36 (2005)

Poliacetal

Poliacetal ou polioximetileno (POM) é um polímero altamente cristalino e rígido, com excelentes propriedades mecânicas, boa estabilidade dimensional e baixo coeficiente de atrito. Possui alta resistência à tração, rigidez e resistência tornando-o

adequado para aplicações que requerem componentes de suporte de carga ou peças sujeitas a estresse repetitivo, como engrenagens, rolamentos, fixadores e componentes automotivos (Junior *et al.*, 2010).

Quanto a estabilidade dimensional, o Poliacetal possui baixa absorção de umidade, baixo coeficiente de expansão térmica e excelente estabilidade dimensional em uma ampla faixa de temperatura de trabalho. Também possui excelentes propriedades de isolamento elétrico, sendo amplamente utilizado em conectores elétricos, interruptores, isoladores e outros componentes eletrônicos (Polybrasil, 2008).

É processado por métodos como moldagem por injeção e extrusão em suas diversas formas, incluindo chapas, barras e grânulos. No desenvolvimento deste projeto, as propriedades mecânicas do Poliacetal quanto ao método de teste e especificações está exemplificado na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades mecânicas do Poliacetal

Propriedades Mecânicas	Método de teste	Unidade	Valor
Tensão de deformação	DIN EN ISO 527	N/mm ²	67
Elongação até a ruptura	DIN EN ISO 527	%	30
Módulo de tensão elástica	DIN EN ISO 527	MPa	2800
Resistência impacto (entalhado)	DIN EN ISO 179	kJ/m ²	6,0
Resistência a carga circular	DIN EN ISO 2039-1	MPa	150
Dureza Shore	DIN EN ISO 868	escala D	81

Fonte: Adaptada de Polybrasil (2008)

A escolha desses materiais se dá principalmente pela necessidade de boa soldabilidade para os subconjuntos soldados aliado a uma boa resistência mecânica.

O material polimérico Delrin é utilizado nas guias de desgaste do equipamento, tendo esse material uma boa resistência mecânica em relação a polímeros e um baixo coeficiente de atrito para sua aplicação, além de ser um material de boa usinabilidade devido à sua baixa absorção de umidade.

Como processos de fabricação, deverá considerar primeiramente processos de corte das chapas do subconjunto que podem ser feitos por cortes a plasma. Em algumas peças necessitaremos de processo de conformação mecânica de dobramento e em outras usinagens por torno e fresa (casos dos pinos e guias). Para a caldeiraria do subconjunto, teremos o processo de soldagem em processo MIG. Na finalização da fabricação teremos a realização de alguns furos de montagens que

poderão ser realizados em máquinas radiais e/ou CNC, além de realizações de fresamentos para encostos de montagens.

Componentes e sistema hidráulico da limpa hélice

O projeto da limpa hélice é constituído por diversos componentes mecânicos que podem ser subdivididos no grupo estrutural, grupo de acionamento, grupo de fixação e grupo de desgaste.

No grupo estrutural, temos toda a carcaça do equipamento feita majoritariamente de aço para receber todos os componentes.

O grupo de acionamento conta diversos componentes como motor hidráulico, sistemas de engrenamento composto por pinhão e coroa de giro para realizar a movimentação de giro do componente.

O grupo de fixação é composto por diversos parafusos e alguns pinos de travamento. Por fim, no grupo de desgaste temos guias poliméricas para movimento da estrutura pela guia da torre de uma perfuratriz e discos poliméricos para guia na hélice da ferramenta da máquina perfuratriz.

O projeto da limpa hélice é um equipamento pensado para automatização do processo de perfuração de uma perfuratriz de hélice contínua. Atualmente o processo de limpeza de hélice é feito por operários usando alguma ferramenta ou até mesmo outras máquinas para limpeza.

Esse novo equipamento automatizaria o processo de perfuração possibilitando o próprio operador da perfuratriz realizar o processo com acionamentos por botões no comando da máquina, não sendo mais necessário operadores externos para realização dessa tarefa.

O princípio de funcionamento do equipamento limpa hélice consiste na transformação de energia hidráulica em energia mecânica através de motor hidráulico. O acionamento do funcionamento do equipamento é feito por comando de botões do operador que podem estar localizados no *joystick* de comando da máquina, esse botão aciona uma válvula hidráulica que por vez aciona o motor hidráulico.

Manutenção do equipamento

O projeto da limpa hélice é um equipamento com diversos componentes que necessitam de uma manutenção planejada para bom funcionamento do equipamento

e preservação de toda sua funcionalidade. Diante disso, foi criado o Programa de Manutenção abaixo que deve ser seguido conforme indicado no Quadro 1.

Quadro 1: Proposta Programa de Manutenção

Programa de Manutenção Preventiva				
Item para verificar	Diário	Semanal	Mensal	Semestral
Verifique o nível de óleo do motor	X			
Inspecionar visualmente o equipamento	X			
Lubrificar guias de desgaste	X			
Verificar aperto de elementos de fixação		X		
Inspecionar visualmente trincas		X		
Drenar óleo do sistema de engrenagem				
Reabastecer óleo sistema engrenagem			X	
Coletar amostra de óleo para análise			X	
Verificar funcionamento elétrico			X	
Verificar a integridade das vedações				X
Verificar integridade kit transmissão				X

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

Resultados e Discussões

Como resultado pode-se perceber a necessidade de inovação e melhoria de máquinas e equipamentos para aumentar a percepção de segurança, motivação dos funcionários e ganhos de produtividade.

A Tabela 4 apresenta alguns resultados esperados com a implantação do projeto utilizando a velocidade de avanço de prensas manuais.

Tabela 4: Comparativo dos ganhos com a adoção do projeto.

Item	Antes	Após
Percepção Segurança	Não	Sim
Limpa hélices	Manual	Automático
Projeto	Estático	Dinâmico
Risco ergonômico	Sim	Não

Fonte: Próprios Autores (2023).

Ressalta-se que as fases de manutenção deste projeto podem variar dependendo da metodologia específica adotada e das características nas jornadas de

uso e operacionalidade sendo recomendável consultar as diretrizes e práticas de gerenciamento da manutenção relevantes ao lidar com a vida útil do equipamento.

Considerações Finais

Esta pesquisa teve como principal objetivo a análise do processo de produção de uma perfuratriz de hélice contínua, buscando descrever sua operação e principais problemas relacionados a produtividade, eficiência, eficácia e, também, ao bem-estar de seus operadores, bem como propor uma forma de melhoria de processo.

Entende-se que o objetivo foi cumprido, tendo percebido a necessidade da busca de inovação para melhoria dos processos, o que provavelmente acarretará redução de custos e melhores resultados para a organização estudada.

Acredita-se que essa busca por melhorias de processos, por meio de inovações tecnológicas, sejam fundamentais para qualquer empresa, tendo em vista a alta competitividade do mercado em todas as áreas. A construção civil, carece, especialmente, de processos e materiais que lhes propiciem maior competitividade e possibilidades de sobrevivência no longo prazo.

Sugere-se como pesquisas futuras a análise do nível de aplicação de inovação no mercado da construção civil.

Referências

- ABRAHÃO, R. A.; VELLOSO, D. A. Fundações. In: OLIVEIRA, A. M. S; BRITO, S.N.A. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.
- ALBUQUERQUE, P.J.R.; PASCHOALIN FILHO, J.A.; CARVALHO, D. Behavior of continuous flight auger piles subjected to uplift load tests in unsaturated diabasic soil. São Paulo, 2008.
- ASTM A36/A36M. American Society for testing and materials: Standard Specification for Carbon Structural Steel. Pennsylvania: ASTM, 2005.
- ASTM A572/A572M. American Society for testing and materials. Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel. Pennsylvania: ASTM, 2006.
- BARBOSA, Christiane Lima. Fluxo contínuo: ferramenta do Sistema de Produção Enxuta aplicado ao processo de produção de estacas pré-moldadas de concreto para fundações. 2009. Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2009
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- LIMA, J.C.O. Construção civil aponta o caminho do desenvolvimento. Jornal Informa – Sinaprocim e Sinprocim, edição especial. São Paulo, 2007, 8 p.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Metodologia científica: ciência e conhecimento científico, métodos científicos, teoria, hipóteses e variáveis. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MOURA, R.; RICETTO, M.; LUCHE, D.; TOZI, L. AND SILVA, M. (2022). New professional competencies and skills leaning towards Industry 4.0. In Proceedings of the 14th International Conference on Computer Supported Education – Vol. 2, ISBN [978-989-758-562-3](#), ISSN [2184-5026](#), pp. 622-630. DOI: [10.5220/0011047300003182](#)

NBR 6122. 2019. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

OLIVEIRA, A. C.; OLIVEIRA, D. A.; SILVA, J. G.; LOPES A. K. S.; CORREIA, L. S. Acidentes de trabalho na construção civil. Brasília, 2021.

PEREIRA FILHO, E. Metodologia executiva hélice contínua. Montes Claros, 2016.

POLYBRASIL. Poliacetal Datasheet. Disponível em: <https://www.polybrasil.com.br/wp-content/uploads/2018/08/datasheet-poliacetal.pdf>
Acesso em: 25 jun.2023.

SOLOTRAT. Estaca Hélice Contínua. 2021. Disponível em: <https://www.solotrat.com.br/estaca-helice-continua.php> Acesso em: 22.mai.2023

SOUZA, M. R. Considerações sobre a implementação de princípios de construção enxuta em construtoras de médio porte. Minas Gerais, 2010.

VELLOSO, D.A.; LOPES, F.R. Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. Oficina de Textos, São Paulo, 2010.