

VIABILIDADE E CONTINUIDADE EM PROJETOS DE AUTOMAÇÃO: UMA TRANSIÇÃO DE ATUADORES PNEUMÁTICOS PARA ELÉTRICOS SEGUINDO OS CONCEITOS DE INDUSTRIA 4.0 E 5.0

FEASIBILITY AND CONTINUITY IN AUTOMATION PROJECTS: A TRANSITION FROM PNEUMATIC TO ELECTRIC ACTUATORS FOLLOWING INDUSTRY 4.0 AND 5.0 CONCEPTS

VICTOR SOBRAL MORENO

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

ALEXANDRE ABDALLA DUARTE SERRANO

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

WELINTON GAZANA

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

FRANCISCO DEIJANGLE EVANGELISTA DA COSTA

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

Comunicação:

O XIII SINGEP foi realizado em conjunto com a 13th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

Agradecimento à orgão de fomento:

Agradeço à UNINOVE pela concessão da bolsa de estudos e por acreditar no meu potencial durante essa jornada acadêmica. Ao Professor Dr. Walter Cardoso Satyro, meu orientador, expresso minha profunda gratidão pela orientação, paciência e incentivo constante. Estendo meu agradecimento a toda a minha família, pelo apoio incondicional, amor e suporte em todos os momentos da minha vida — este trabalho também é de vocês.

VIABILIDADE E CONTINUIDADE EM PROJETOS DE AUTOMAÇÃO: UMA TRANSIÇÃO DE ATUADORES PNEUMÁTICOS PARA ELÉTRICOS SEGUINDO OS CONCEITOS DE INDUSTRIA 4.0 E 5.0

Objetivo do estudo

Realizar a substituição de atuadores pneumáticos por atuadores elétricos em uma linha de envase de adoçantes, com foco na melhoria da produtividade, redução de custos operacionais, redução do consumo de energia e garantia da sustentabilidade do projeto ao longo do tempo

Relevância/originalidade

A relevância desse estudo ocorre devido ao aumento na demanda por produtos que visam reduzir o consumo de energia pelas empresas, aumento da produtividade e efetividade, aumentando as oportunidades de negócios envolvendo atuadores elétricos.

Metodologia/abordagem

Utilizou-se uma abordagem qualitativa, por meio de uma pesquisa ação. O processo de coleta de dados se deu por meio de visitas técnicas e análise de documentos do projeto. Após isto então foi realizada a análise dos dados.

Principais resultados

Com a implementação dos atuadores elétricos, houve redução no consumo de energia, aumento da produtividade e melhora na qualidade do produto. No entanto, surgiram problemas a longo prazo, como corrosão de placas eletrônicas e acúmulo de detritos nos atuadores.

Contribuições teóricas/metodológicas

O estudo proporciona contribuições para o conhecimento científico buscando compreender e resolver problemas de precisão, custos de manutenção elevados, redução no consumo de energia e geração de CO₂ e qualidade do produto e principalmente a abordagens para sustentabilidade do projeto.

Contribuições sociais/para a gestão

Esse relato técnico permite auxiliar as organizações a alcançar uma maior viabilidade em seus projetos, exemplificando as dificuldades encontradas no setor de envase a fim de melhorar a qualidade tanto do produto quanto ao ambiente de trabalho, melhorando a ergonomia e saúde

Palavras-chave: industria4.0 e 5.0, gestão de projetos, pneumática, atuadores-elétricos, automação

FEASIBILITY AND CONTINUITY IN AUTOMATION PROJECTS: A TRANSITION FROM PNEUMATIC TO ELECTRIC ACTUATORS FOLLOWING INDUSTRY 4.0 AND 5.0 CONCEPTS

Study purpose

To replace pneumatic actuators with electric actuators in a sweetener bottling line, focusing on improving productivity, reducing operational costs and energy consumption, and ensuring the project's long-term sustainability.

Relevance / originality

The relevance of this study lies in the growing demand for products that aim to reduce energy consumption in companies, increase productivity and efficiency, and expand business opportunities involving electric actuators.

Methodology / approach

A qualitative approach was used through action research. Data collection was conducted via technical visits and analysis of project documents, followed by data analysis.

Main results

As a result of implementing electric actuators, a reduction in energy consumption was observed, along with an increase in productivity on the bottling line and improved product quality due to greater dosing precision. However, some long-term issues were identified, such as corrosion.

Theoretical / methodological contributions

The study provides contributions to scientific knowledge that seeks to understand and solve problems of precision, high maintenance costs, reduction in energy consumption and CO₂ generation and product quality, and especially approaches to project sustainability.

Social / management contributions

This technical report helps organizations achieve greater viability in their projects, exemplifying the difficulties encountered in the packaging sector in order to improve the quality of both the product and the work environment, improving ergonomics and health.

Keywords: Industry 4.0 and 5.0, project management, pneumatics, electric actuators, automation

VIABILIDADE E CONTINUIDADE EM PROJETOS DE AUTOMAÇÃO: UMA TRANSIÇÃO DE ATUADORES PNEUMÁTICOS PARA ELÉTRICOS SEGUINDO OS CONCEITOS DE INDÚSTRIA 4.0 E 5.0

1. Introdução

Os paradigmas de produção da Indústria 4.0 que é a quarta revolução industrial, caracterizada pela integração de tecnologias digitais como IoT, inteligência artificial, big data e automação nos processos produtivos. Seu objetivo é aumentar a eficiência, flexibilidade e personalização na indústria. Essa transformação conecta máquinas, sistemas e dados em tempo real, e agora com a Indústria 5.0 que consiste na Indústria 4.0, focando na colaboração entre humanos e máquinas inteligentes. Valoriza a personalização em massa, a sustentabilidade e o bem-estar dos trabalhadores. Busca equilibrar tecnologia com responsabilidade social e ambiental, têm incentivado as empresas a buscarem maior produtividade, qualidade e sustentabilidade em seus processos. Nesse contexto, a Gestão de Projetos Sustentáveis (GPS) surge como uma área relevante, promovendo práticas que conciliem desempenho operacional com responsabilidade ambiental e social (Sabini, Muzio & Alderman, 2019).

Este relato técnico apresenta uma intervenção realizada em uma linha de envase de adoçantes, onde atuadores pneumáticos foram substituídos por atuadores elétricos. A proposta visou reduzir falhas no porcionamento, melhorar a eficiência energética e garantir a viabilidade da operação ao longo do tempo. A mudança foi motivada por limitações no sistema pneumático, como oscilações de pressão, alto consumo energético e elevado custo de manutenção.

A pesquisa foi conduzida por meio de uma abordagem qualitativa, utilizando a metodologia de pesquisa-ação, com foco na resolução de problemas reais e na implementação de melhorias no ambiente industrial.

Diante das limitações operacionais identificadas nos atuadores pneumáticos, como instabilidades na pressão e elevado consumo energético, este relato técnico propõe uma intervenção orientada pelos princípios da Indústria 5.0, que valoriza a integração entre tecnologia avançada, sustentabilidade e adaptação ao contexto humano e ambiental (Huemann & Silvius, 2017). A substituição inicial por atuadores elétricos buscou ganhos em precisão e eficiência energética; contudo, a presença constante de névoa de adoçante comprometeu a durabilidade desses dispositivos, evidenciando a importância de considerar variáveis ambientais desde o planejamento. Como solução, foi adotada uma abordagem híbrida, com a reintrodução de atuadores pneumáticos de maior qualidade e a implementação de práticas sustentáveis, como a varredura por vazamentos na linha de ar comprimido. Assim, o estudo visa demonstrar como a sustentabilidade em projetos de automação depende não apenas da tecnologia escolhida, mas de sua adequação às condições operacionais reais.

2. Referencial Teórico

2.1. Sistema pneumático

A pneumática é um ramo da engenharia que faz uso de gás ou ar pressurizado. A origem da palavra "pneumática" remonta ao grego antigo, proveniente de "pneuma", que significa fôlego, vento e, filosoficamente, alma, surgindo assim o termo (Marins, 2009).

Apesar de a base da pneumática ser conhecida há milênios, apenas no século XIX, mais precisamente nos anos 1950, é que seu estudo se tornou sistemático e passou a ser amplamente aplicada na produção industrial. Antes disso, havia aplicações em setores como mineração, construção civil e indústria ferroviária. No entanto, com a crescente demanda por automação e racionalização dos processos, seu uso foi ampliado (Camargo, 2010). O uso de ar comprimido, fundamental para o funcionamento dos sistemas pneumáticos, apresenta vantagens e desvantagens. As principais vantagens estão descritas no Quadro 1.

Quadro 01: Vantagens oferecidas no uso do ar comprimido

PROPRIEDADES POSITIVAS DO USO DO AR COMPRIMIDO	
PROPRIEDADE	DESCRIÇÃO
Qualidade	O ar é encontrado em qualidade ilimitadas, em quase todos os lugares
Transporte	O ar comprimido é de fácil transporte por tubulações, mesmo em longas distâncias
Armazenamento	Não é preciso preocupar com o retorno de ar. Pode ser armazenado em reservatórios para ser usado depois, quando os compressores se encontrarem desligados.
Temperatura	O trabalho realizado com o ar comprimido não varia com oscilações de temperatura, garantindo também, em situações térmicas extremas, um funcionamento seguro.
Segurança	Não existe risco de explosão ou incêndio, sendo seguro contra explosão e eletrocussão, sendo indicado para aplicações especiais.
Limpeza	É limpo. O ar, que venha a escapar das tubulações ou elementos inadequadamente vedados, não polui o ambiente. Sendo está uma exigência nas indústrias alimentícias, têxteis, química, eletrônicas.
Construção de elementos	Os elementos de trabalho são de construção simples e podem ser obtidos a baixo custo.
Velocidade	O ar comprimido é um meio de trabalho rápido, que permite alcançar altas velocidades de trabalho.
Regulagem	As velocidade e forças de trabalho dos elementos ao ar comprimido são reguláveis, sem escala, porém, são exigidos elementos como válvulas reguladoras de pressão e fluxo.
Seguro contra sobre cargas	Elementos e ferramentas ao ar comprimido são carregáveis até a parada total e, seguros contra sobrecargas.

Fonte: Pavani (2010)

A quadro 02 detalha as desvantagens do uso de ar comprimido em sistemas pneumáticos.

Quadro 02: Desvantagens oferecidas no uso do ar comprimido

PROPRIEDADES NEGATIVAS DO USO DO AR COMPRIMIDO	
PROPRIEDADE	DESCRIÇÃO
Preparação	O ar comprimido requer uma boa preparação. Impureza e umidade devem ser evitadas, pois provocam desgastes nos elementos pneumáticos, oxidando nas tubulações e projeção de óxidos.
Compressibilidade	Não é possível manter uniforme e constante as velocidades dos pistões mediante ar comprimido. Quando é exigível, recorre-se a dispositivos especiais.
Forças	O ar comprimido é econômico somente até determinada força, limitado pela pressão normal de trabalho de 700kPa (7bar)

Escape de ar	O escape de ar é ruidoso. Mas, com o desenvolvimento de silenciadores, esse problema está solucionado.
Custo	O ar comprimido é uma fonte de energia muito cara. Porém, o alto custo de energia é compensado pelo custo baixo da instalação e pela rentabilidade do ciclo de trabalho.

Fonte: Pavani (2010).

2.2. Atuadores Pneumáticos

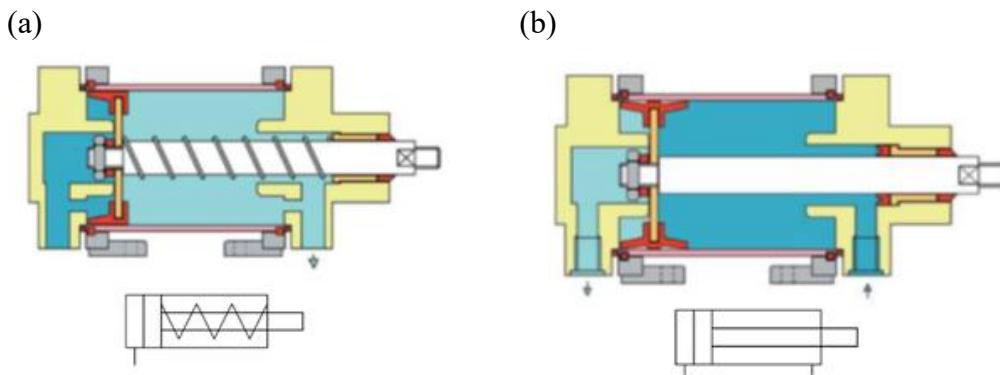
O atuador pneumático é o componente responsável pela transformação da energia pneumática em energia cinética, gerada pelo ar pressurizado em expansão (Fialho, 2004). Conforme Schoenmeier, Hammes, Valdiero e Rasia (2014), o atuador corresponde a um sistema que possibilita posicionar uma carga em um determinado ponto do curso ou realizar uma trajetória variável em função do tempo.

Os atuadores pneumáticos podem apresentar movimentos retilíneos, giratórios ou angulares. No entanto, devido à compressibilidade do fluido (ar comprimido), possuem baixa rigidez, o que compromete a precisão no controle de posicionamento. O movimento dos atuadores retilíneos apresenta duas condições: extensão e compressão, o que permite um controle simples e de baixo custo.

Para o funcionamento adequado de um atuador pneumático, são necessários alguns componentes básicos: um compressor, responsável pelo fornecimento do ar comprimido; uma unidade de preparação (com filtro e regulador de pressão); e válvulas direcionais (Romano & Dutra, 2002).

Existem dois tipos principais de atuadores pneumáticos com movimento retilíneo: os de ação simples e os de ação dupla, conforme ilustrado na Figura 1. Os atuadores de ação simples realizam movimento em apenas um sentido, impulsionados pelo ar comprimido. O retorno ocorre por meio de uma mola (movida por força elástica) ou, na ausência desta, pela ação da gravidade. Já os atuadores de ação dupla têm ambos os sentidos de movimento (extensão e compressão) acionados pneumaticamente. Esses atuadores, quando normalizados, possuem um limite de curso determinado pelas possibilidades de deformação da haste, seja por flexão ou por flambagem (Moreira, 2012).

Figura 1. Atuador pneumático de ação simples com retorno por mola (a) e de ação dupla (b), ambos com simbologia ISO 1219-1



Fonte: Adaptado de Moreira (2012)

2.3. Atuadores Elétricos

Atuadores elétricos são dispositivos que convertem energia elétrica em movimento mecânico. Eles são utilizados para controlar mecanismos ou sistemas, realizando movimentos

lineares ou rotativos. Atuadores elétricos são fundamentais em diversas aplicações industriais, automotivas e de robótica, onde a precisão e o controle são essenciais. Funcionam com motores elétricos, e podem ser equipados com feedback para ajustar o posicionamento, velocidade e força. Isso permite que os atuadores elétricos sejam usados em sistemas de automação, como válvulas de controle, robôs industriais e equipamentos de fabricação automatizada. (Festo, s.d.)

Os atuadores elétricos operam convertendo energia elétrica em movimento mecânico, utilizando motores (DC ou AC) que acionam componentes como engrenagens, correias dentadas e fusos de esferas. Esses atuadores transformam o movimento rotativo do motor em movimento linear ou rotativo, conforme necessário.

Esses dispositivos são equipados com sistemas de feedback, como sensores de posição (encoders ou potenciômetros), que monitoram e ajustam o movimento em tempo real, garantindo precisão e controle. Esse feedback em malha fechada permite que o atuador ajuste automaticamente sua posição, velocidade e força, adaptando-se às necessidades específicas de cada aplicação.

Os atuadores elétricos integram-se facilmente com sistemas de automação, como PLCs e redes industriais (Ex: EtherCAT, Modbus), permitindo controle remoto e sincronizado em processos industriais. Essa combinação de precisão, controle e fácil integração faz dos atuadores elétricos a escolha ideal para aplicações como automação de movimentos, automação de válvulas e ajustes em maquinários. (Festo, s.d.)

Existem vários tipos de atuadores elétricos atualmente, cada um projetado para atender a necessidades específicas em termos de movimento, força e aplicação.

Neste projeto foi utilizado o modelo de Atuador de fuso de esferas, que são mecanismos que transformam a rotação do fuso em movimento linear usando esferas que rolam entre o fuso e a porca. Esse design proporciona alta eficiência e precisão, sendo comumente utilizado em sistemas onde a precisão de posicionamento é crucial. (Festo, s.d.)

Segundo SMC (2023) para um atuador elétrico que transfere uma carga horizontal de 20 kg, a quantidade de energia consumida enquanto mantém a posição de parada é quase a mesma. Por esta razão, mesmo quando o número de operações por minuto aumenta, a quantidade de emissões de CO₂ permanece estável. Por outro lado, se o número de operações por minuto de um cilindro pneumático aumenta, a quantidade de ar consumido aumenta proporcionalmente, pelo que a quantidade de emissões de CO₂ também aumenta. Portanto, especialmente para processos de transferência de curso longo, um atuador elétrico é a melhor opção para reduzir as emissões de CO₂, chegando em 1Kg-CO₂e.

2.4. Sustentabilidade em projetos

A crescente valorização da sustentabilidade tem moldado decisões políticas, estratégias empresariais e códigos éticos (Sabini, Muzio & Alderman, 2019). Nesse cenário, a gestão de projetos (GP) destaca-se como ferramenta essencial para incorporar práticas sustentáveis nas organizações (Sabini, Muzio & Alderman, 2019), consolidando o campo da Gestão de Projetos Sustentáveis (GPS).

2.4.1 Conceitos de GPS

A GPS diferencia-se entre projetos que entregam soluções sustentáveis (“sustentabilidade pelo projeto”) e aqueles conduzidos com processos sustentáveis (“sustentabilidade do projeto”) (Huemann & Silvius, 2017). A abordagem abrangente considera ambos: produto e processo (Silvius & Schipper, 2014a, 2015). A perspectiva interna aborda práticas ao longo do ciclo de vida do projeto; a externa, os impactos sociais e ambientais mais amplos (Carvalho & Rabechini, 2011). No entanto, a definição do conceito ainda carece de clareza e consenso (Sabini, Muzio & Alderman, 2019; Tufinio, Mooi, Ravestijn, Bakker & Boorsma, 2013).

2.4.2 Narrativas da Pesquisa em GPS

A literatura organiza-se em três vertentes principais (Sabini, Muzio & Alderman, 2019):

- **Por que adotar?**

A sustentabilidade em projetos se justifica por razões éticas (Silvius, Schipper & Nedeski, 2013a), resiliência organizacional (Perrini & Tencati, 2006), desempenho econômico (Gareis, Huemann & Martinuzzi, 2011) e sucesso a longo prazo (Russell & Shiang, 2012). Mudanças nos processos centrais e atenção aos impactos sociais e ambientais contribuem para o sucesso do projeto (Carvalho & Rabechini, 2017).

- **O que muda?**

A sustentabilidade influencia a GP em três níveis:

- **Micro:** competências e decisões individuais dos gestores (Gaziulusoy & Ryan, 2017; Martens & Carvalho, 2017b).
- **Projeto:** ferramentas e metodologias tradicionais são ajustadas para considerar sustentabilidade (Banihashemi, Hosseini & Golizadeh, 2017; Kivilä, Martinsuo & Vuorinen, 2017). Há necessidade de equilibrar meio ambiente, economia e justiça social (Martek, Hosseini, Shrestha, Zavadskas & Seaton, 2018).
- **Macro:** impactos de longo prazo e lacunas em normas, prática profissional e teoria acadêmica (Brones, Carvalho & Zancul, 2014; Hueskes, Verhoest & Block, 2017). Padrões como o PMBoK e a ISO 21500 abordam pouco a sustentabilidade (Silvius & Schipper, 2014a).

2.4.3 Como implementar?

A sustentabilidade deve ser incorporada desde o início do projeto (Labuschagne, Brent & Claassen, 2005). Estratégias envolvem práticas da equipe de projeto e políticas da organização anfitriã (Sabini, Muzio & Alderman, 2019). A gestão de stakeholders é essencial para cocriar valor e mediar interesses (Keey & Huemann, 2017; Sánchez, 2015).

Os conceitos apresentados ao longo desta seção que envolvem as características técnicas de atuadores pneumáticos e elétricos, os princípios da sustentabilidade em projetos e as diretrizes da Indústria 5.0 fornecem a base teórica que sustenta a intervenção proposta neste estudo.

A substituição dos atuadores pneumáticos por modelos elétricos, inicialmente considerada mais eficiente e sustentável, mostrou-se limitada diante das condições ambientais específicas da linha de envase, especialmente pela presença de névoa constante de adoçante rica em sódio. A literatura sobre Gestão de Projetos Sustentáveis (GPS) destaca justamente a necessidade de alinhar as escolhas tecnológicas às particularidades do contexto operacional (Silvius & Schipper, 2014a), o que justifica a posterior adoção de uma solução mais adequada à realidade da planta. Assim, o embasamento teórico aqui discutido não apenas orienta a escolha das tecnologias envolvidas, mas também fundamenta a necessidade de flexibilidade, adaptação contínua e avaliação ambiental como elementos estruturantes da sustentabilidade em projetos industriais.

2.4.4 GPS e Sucesso do Projeto

Estudo com 222 projetos no Brasil e Peru mostrou que a adoção da GPS, embora ainda limitada, tem impacto positivo moderado no sucesso do projeto e na redução de impactos negativos (Carvalho & Rabechini, 2017). Isso confirma achados qualitativos anteriores (Martens & Carvalho, 2016, 2017a).

2.4.5 Desafios da Pesquisa em GPS

A pesquisa é global, prática e fragmentada, com fraca ancoragem teórica (Sabini, Muzio & Alderman, 2019). Predominam estudos de caso qualitativos, e há risco de desenvolvimento de linhas paralelas sem diálogo entre si. É necessário definir princípios comuns para integrar a GPS aos diferentes domínios da GP, tal como ocorre na literatura de sustentabilidade mais ampla (Sabini, Muzio & Alderman, 2019; Söderlund, 2011).

3. Método de Produção Técnica

Este relato técnico foi elaborado com base no protocolo para relatos de produção técnica proposto por Biancolino, Kniess, Maccari e Rabechini Jr. (2012), utilizando a metodologia de pesquisa-ação como principal abordagem. Trata-se de um método cílico e participativo, no qual o pesquisador atua como agente de mudança no ambiente estudado, buscando promover melhorias práticas enquanto constrói conhecimento (Tripp, 2005; Elliott, 1991).

A pesquisa-ação, introduzida por Lewin (1946), foi escolhida por sua adequação a contextos organizacionais que demandam intervenções reais e colaborativas. Corey (1949) complementa que essa metodologia é especialmente útil quando se busca aprimorar práticas com base em dados empíricos, envolvendo ativamente os participantes no processo de mudança.

- **Participação dos profissionais:** A intervenção foi realizada em uma linha de envase de adoçantes, contando com a participação de diferentes atores organizacionais. Destacam-se três frentes principais:
- **Equipe técnica interna:** composta por engenheiros de manutenção, operadores e supervisores, responsáveis pelo diagnóstico dos problemas com os atuadores pneumáticos e acompanhamento da nova solução;
- **Fornecedor dos atuadores elétricos:** empresa japonesa especializada em automação industrial, que atuou na especificação dos equipamentos, treinamento da equipe local e suporte durante a instalação;
- **Consultores técnicos:** profissionais externos com experiência em automação e sustentabilidade, que contribuíram com análises de viabilidade, avaliação de desempenho e elaboração de relatórios.

A atuação conjunta desses profissionais reforça o caráter colaborativo e prático da pesquisa-ação, conforme defendido por McNiff (2002), que destaca o valor da participação ativa dos envolvidos na construção e validação do conhecimento.

- **Coleta e análise de dados:** A coleta de dados seguiu duas etapas principais:
- 1. **Diagnóstico preliminar:** foram realizadas visitas técnicas à linha de produção para observação direta dos processos, análise de relatórios de manutenção, consumo de ar comprimido e registros de falhas. A equipe de manutenção contribuiu com relatos sobre recorrência de erros e limitações do sistema pneumático.
- 2. **Acompanhamento da intervenção:** após a substituição pelos atuadores elétricos, monitoraram-se indicadores como consumo de energia elétrica, produtividade (medida em unidades por hora) e estabilidade na dosagem. Dados foram coletados durante ciclos completos de produção, com registros padronizados pela equipe de engenharia.

A análise teve caráter qualitativo, orientada por categorias como eficiência, confiabilidade e sustentabilidade. A triangulação dos dados – combinando observações, documentos técnicos e relatos da equipe – permitiu validar os resultados de forma robusta (Tripp, 2005).

- **Aplicação do ciclo da pesquisa-ação**

O estudo seguiu o ciclo clássico da pesquisa-ação, composto por planejamento, ação, observação e reflexão (Lewin, 1946; Elliott, 1991):



- **Planejamento:** identificação dos principais problemas (instabilidade na dosagem, consumo excessivo de energia e falhas de manutenção);
 - **Ação:** aquisição e instalação de atuadores elétricos tipo fuso de esferas, treinamentos operacionais e adequações na linha;
 - **Observação:** acompanhamento do desempenho pós-implantação, com coleta de dados técnicos e operacionais;
 - **Reflexão:** análise dos resultados obtidos, identificação de novos desafios (como o acúmulo de névoa na haste dos atuadores) e proposição de alternativas de mitigação.
- Esse ciclo iterativo permitiu ajustes contínuos e aprendizado aplicado, alinhando-se à perspectiva de melhoria prática defendida por Tripp (2005) e McNiff (2002), que entendem a pesquisa-ação como um processo dinâmico voltado à transformação concreta da realidade investigada.

3.1. Estrutura analítica da intervenção: logica CIMO

Para organizar e explicitar a lógica da intervenção realizada, utilizou-se a estrutura CIMO (Contexto, Intervenção, Mecanismo e Resultado), conforme proposta por Denyer e Tranfield (2009). Essa abordagem permite sintetizar os elementos centrais da pesquisa-ação conduzida, conectando o problema organizacional à solução implementada e aos efeitos observados.

Quadro 03 – Aplicação da estrutura CIMO na intervenção

Elemento	Descrição no relato técnico
Contexto (C)	Linha de envase de adoçantes operando com atuadores pneumáticos que apresentavam instabilidade na pressão, falhas de dosagem, alto consumo energético e manutenção onerosa. O ambiente apresentava névoa constante do produto, exigindo soluções resistentes e sustentáveis.
Intervenção (I)	Substituição inicial dos atuadores pneumáticos por atuadores elétricos do tipo fuso de esferas, seguidos por ajustes posteriores com reintrodução de atuadores pneumáticos de maior qualidade e varredura por vazamentos na linha de ar comprimido.
Mecanismo (M)	Esperava-se que os atuadores elétricos, por sua precisão e menor consumo de energia, resolvessem os problemas operacionais e aumentassem a sustentabilidade do processo. Após falhas em função do ambiente, a nova configuração buscou combinar eficiência energética com robustez operacional.
Resultado (O)	Redução inicial do consumo de energia e aumento da precisão no porcionamento, seguidos de falhas por acúmulo de resíduos nos atuadores elétricos. Com a solução híbrida, obteve-se estabilidade operacional, melhoria na manutenção e adequação às condições ambientais, com ganhos de viabilidade e continuidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Denyer e Tranfield (2009).

4 Contexto do Projeto

• 4.1. Caracterização da Organização

Conforme Biancolino et al. (2012), a caracterização da organização requer a apresentação de elementos como natureza jurídica, capital, porte, segmento e principais produtos. A seguir, essas informações são descritas:

- Natureza jurídica e capital: Empresa privada de capital nacional, com atuação consolidada no setor alimentício voltado à saúde e bem-estar.
- Porte: Médio porte, com operação industrial centralizada e distribuição nacional.
- Ramo de atuação: Alimentação saudável, com foco em produtos sem adição de açúcar.
- Produtos principais: Adoçantes, sobremesas diet, geleias, molhos, entre outros alimentos voltados a dietas com restrição de açúcares ou calorias.
- Histórico e posicionamento: Fundada em 2002, a empresa destacou-se no mercado por introduzir a sucralose no Brasil, oferecendo uma alternativa segura e com sabor similar ao açúcar tradicional. Inovou também no formato de embalagem, promovendo praticidade ao consumidor. Atualmente, a organização conta com mais de 100 SKUs (*Stock Keeping Unit*) e mantém parcerias com instituições como a Associação Nacional de Apoio ao Diabetes (ANAD), o que reforça sua credibilidade no segmento. Sua estratégia está voltada à reformulação de alimentos industrializados com foco em ingredientes de melhor perfil nutricional e exclusão de compostos de impacto negativo à saúde.
- Companhia parceira no projeto: A fabricante dos equipamentos implementados é uma empresa multinacional japonesa, fundada na década de 1950, líder mundial em soluções de automação e pneumática. Essa organização foi responsável pelo fornecimento dos atuadores elétricos, suporte técnico e orientações de integração à linha de produção.

A atividade aqui relatada se enquadra como uma produção técnica do tipo intervenção tecnológica com elementos de consultoria técnica, conforme a tipologia proposta por Biancolino et al. (2012). Essa classificação é justificada pelo caráter aplicado da ação desenvolvida, que envolveu diagnóstico técnico-operacional, formulação e implementação de soluções tecnológicas, e suporte especializado para assegurar a viabilidade e continuidade dos resultados alcançados na linha de envase.

• 4.2. Caracterização do Projeto

O projeto técnico teve como foco a modernização de uma linha de envase de adoçantes líquidos, originalmente equipada com atuadores pneumáticos para porcionamento. O sistema antigo apresentava problemas como imprecisão nas dosagens, desgaste prematuro de componentes e elevado consumo de ar comprimido – com impactos financeiros e ambientais significativos.

A proposta consistiu na substituição desses atuadores por modelos elétricos tipo fuso de esferas, visando ganhos em precisão, eficiência energética e sustentabilidade. A decisão foi fundamentada por um estudo de viabilidade técnica e econômica, realizado pela equipe de engenharia da empresa com apoio da fornecedora.

Para evitar repetições de conteúdo já abordado nas seções de introdução e resultados, destaca-se aqui apenas a dinâmica da implementação:

- **Etapas:** (1) levantamento técnico da linha, (2) especificação e aquisição dos atuadores, (3) instalação e integração com o sistema de controle, (4) capacitação da equipe operacional e (5) acompanhamento de desempenho em operação real.
- **Desafios enfrentados:** Após a implementação, observou-se que o ambiente operacional caracterizado por névoa constante de produto causava acúmulo de resíduos nas hastes dos atuadores, impactando sua funcionalidade e durabilidade. E a oxidação prematura das placas eletrônicas.
- **Encaminhamentos:** Foram propostas duas alternativas principais: (I) proteção física dos atuadores elétricos contra o ambiente ou (II) retorno à tecnologia pneumática, com equipamentos mais eficientes e ajustes finos.

A experiência evidenciou a importância de considerar o contexto ambiental desde o planejamento do projeto, além de ressaltar a relevância do suporte técnico especializado para a continuidade das soluções implementadas.

5. Tipo de Intervenção e Mecanismos adotados

Conforme a classificação proposta por Biancolino et al. (2012), este relato se enquadra como um plano de intervenção tecnológica com elementos de consultoria técnica aplicada. A proposta envolveu o planejamento, implementação, monitoramento e avaliação de melhorias em uma linha de envase de adoçantes, com foco na substituição de atuadores pneumáticos por atuadores elétricos, visando ganhos em precisão, eficiência energética e sustentabilidade.

5.1. Mecanismo Original: Atuadores Pneumáticos

Inicialmente, a linha utilizava atuadores pneumáticos para o porcionamento do produto. Esses dispositivos operavam com ar comprimido, movimentando pistões em ciclos de extensão e compressão. O funcionamento exigia a presença de compressores, unidades de preparação do ar (com filtro e regulador de pressão) e válvulas direcionais.

Apesar da robustez e baixo custo inicial, o sistema apresentava as seguintes limitações:

- Baixa precisão na dosagem, ocasionada por variações na pressão da linha de ar comprimido;
- Alto custo de manutenção, devido ao desgaste de válvulas e linhas;
- Elevado consumo energético para geração de ar comprimido, com impacto ambiental significativo.

Além disso, de acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2009), todos os sistemas de ar comprimido podem conter vazamentos, sendo comuns perdas de até 40% de todo o ar comprimido produzido. Assim, identificar e eliminar vazamentos é uma das formas mais eficazes e simples de reduzir o consumo de energia elétrica associada à compressão do ar. Essa característica reforça a ineficiência energética dos sistemas pneumáticos e sua vulnerabilidade a perdas operacionais.

5.2. Mecanismo Adotado: Atuadores Elétricos

Com base no diagnóstico técnico, optou-se pela substituição dos atuadores pneumáticos por atuadores elétricos com fuso de esferas, capazes de oferecer maior controle e repetibilidade no porcionamento.

Esses atuadores operam por meio de motores elétricos acoplados a fusos, transformando movimento rotativo em linear, com alta precisão e baixo consumo energético. Além disso, permitem integração com sistemas automatizados (CLPs), favorecendo o monitoramento em tempo real e o ajuste fino dos parâmetros operacionais.

As vantagens esperadas com a nova tecnologia incluíam:

- Maior precisão de dosagem, com menor variação no volume envasado;
- Redução no consumo de energia elétrica, substituindo o sistema de ar comprimido;
- Melhoria na qualidade do produto final, com menor taxa de refugo e retrabalho.

5.3. Processo de Implementação

A implementação seguiu um plano estruturado, iniciado com levantamentos técnicos sobre as características da linha de envase (velocidade, carga, tempo de ciclo), a capacidade elétrica disponível e as condições ambientais do processo, especialmente a presença de névoa constante de adoçante no ambiente fabril. Essas informações subsidiaram a especificação dos atuadores e acessórios, bem como as decisões sobre viabilidade técnica e integração com os sistemas existentes. A fornecedora japonesa dos atuadores elétricos desempenhou papel

essencial na definição dos equipamentos mais adequados ao processo, atuando desde a especificação técnica até o fornecimento dos dispositivos, passando também por treinamentos da equipe interna sobre operação, parametrização e manutenção preventiva dos novos atuadores. Além disso, prestou suporte técnico in loco durante a instalação, auxiliando na adequação física e eletrônica dos dispositivos à linha existente e validando o funcionamento do sistema após a integração com os CLPs.

Paralelamente, consultores técnicos especializados em automação e sustentabilidade participaram ativamente da análise de riscos e cenários futuros do projeto. Sua contribuição foi decisiva na avaliação de desempenho dos atuadores elétricos sob condições reais de operação e na proposição de medidas corretivas após a identificação de falhas operacionais causadas pelo ambiente agressivo.

Esses profissionais também auxiliaram na elaboração de relatórios técnicos comparativos, orientando a escolha por uma solução, que incluiu a reintrodução de atuadores pneumáticos de maior qualidade, bem como a realização de uma varredura por vazamentos na rede de ar comprimido, com foco na eficiência energética e sustentabilidade. Portanto, o processo de implementação caracterizou-se por uma atuação conjunta entre a equipe técnica interna, os fornecedores e os consultores externos, conforme preconizado por McNiff (2002), que destaca o valor da colaboração na construção de soluções práticas e robustas em projetos de pesquisa-ação.

5.4. Resultados Iniciais do Mecanismo Adotado

Nos primeiros meses após a instalação, observaram-se melhorias expressivas:

- Redução de consumo energético, com eliminação da necessidade de compressores na operação;
- Aumento de produtividade, com ciclos mais estáveis;
- Melhoria na qualidade, atribuída à maior precisão dos atuadores elétricos.

Esses resultados estavam alinhados aos objetivos técnicos e operacionais definidos no início do projeto.

5.5. Problemas a Longo Prazo e Alternativas Propostas

Com o passar do tempo, surgiram falhas decorrentes do ambiente agressivo da linha de produção. A presença constante de uma névoa de adoçante causava acúmulo de resíduos nas hastes dos atuadores, comprometendo sua performance mecânica e eletrônica.

Diante disso, foram consideradas duas alternativas para viabilizar a continuidade da operação como aplicar proteções físicas nos atuadores elétricos, com barreiras contra a névoa ou retornar à tecnologia pneumática, com adoção de componentes de maior qualidade, melhorias na rede de ar comprimido e práticas de economia de energia (Energy Saving).

As propostas foram discutidas com a equipe técnica, fornecedores e consultores, permitindo um realinhamento do projeto conforme os aprendizados práticos observados.

6. Resultados e Análise

6.1. Resultados da Intervenção Tecnológica

A substituição dos atuadores pneumáticos por atuadores elétricos tipo fuso de esferas proporcionou ganhos significativos no curto prazo. Houve uma redução do consumo de energia elétrica, eliminando a necessidade de compressores, conforme já apontado por Pavani (2010) e PROCEL (2009), aumento da produtividade, com ciclos mais estáveis e menor tempo de ajuste e uma melhoria na qualidade do produto, com maior precisão de dosagem e redução da variabilidade.

Além disso, os atuadores elétricos demonstraram eficiência energética superior, especialmente em operações contínuas, mantendo consumo estável mesmo com aumento da frequência, o que resultou em menor emissão de CO₂ (SMC, 2023).

6.2. Limitações Operacionais e Adaptação da Solução

Apesar dos benefícios iniciais, surgiram falhas a médio prazo. A presença constante de névoa de adoçante rica em sódio e com alta aderência provocou acúmulo de resíduos nas hastes e placas eletrônicas dos atuadores elétricos, comprometendo sua durabilidade e funcionalidade.

Essa falha operacional evidenciou uma lacuna no planejamento inicial, que não considerou adequadamente os efeitos do ambiente sobre a tecnologia adotada. Silvius e Schipper (2014a) destacam que a sustentabilidade de um projeto também depende da compatibilidade entre solução e contexto operacional.

Diante disso, optou-se por uma solução alternativa, reintroduzindo atuadores pneumáticos de maior qualidade e promovendo uma varredura por vazamentos na rede de ar comprimido, conforme orientações do PROCEL (2009). Essa medida visou mitigar desperdícios e melhorar a eficiência energética mesmo com o uso da tecnologia pneumática.

6.3. Síntese dos Resultados com Base na Lógica CIMO

A aplicação da lógica CIMO contexto, intervenção atuadores elétricos levaram à necessidade de ajuste, com a adoção de uma solução híbrida: reintrodução de atuadores pneumáticos de maior qualidade, associada a ações de controle de vazamentos.

O mecanismo de mudança estava na expectativa de que os atuadores elétricos resolveriam os problemas de precisão e consumo. Embora eficazes no curto prazo, surgiram limitações operacionais frente às condições ambientais.

Como resultado, a solução híbrida garantiu ganhos em precisão, estabilidade operacional e eficiência energética, demonstrando que a escolha tecnológica deve estar alinhada às condições reais do processo.

6.4. Considerações Finais sobre os Resultados

A experiência demonstrou que ganhos tecnológicos dependem da adequação da solução ao ambiente físico e operacional, e não apenas da superioridade técnica da tecnologia empregada. A análise integrada permitiu a correção do rumo do projeto, reafirmando a importância da gestão de riscos e da flexibilidade na condução de intervenções sustentáveis, como defendido por Huemann e Silvius (2017). Mecanismo e resultado, permitiu organizar os principais achados da intervenção. No contexto, a linha de envase apresentava falhas de dosagem, alto consumo energético e um ambiente com névoa constante de adoçante, que impactava os atuadores elétricos, sendo definido retornar os atuadores pneumáticos com maior qualidade do sistema.

7. Conclusão

Este relato técnico mostrou que a substituição de atuadores pneumáticos por elétricos pode gerar ganhos significativos de eficiência, produtividade e sustentabilidade em projetos de automação industrial. No entanto, a análise também evidenciou que tais ganhos só se sustentam quando as condições ambientais do processo são devidamente consideradas na fase de planejamento.

As falhas operacionais decorrentes da exposição dos atuadores elétricos à névoa de adoçante indicam a importância de uma abordagem sistêmica e criteriosa na análise de

viabilidade. Esse caso reforça a necessidade de alinhar as decisões tecnológicas às particularidades do ambiente fabril, adotando medidas preventivas e planos de contingência.

Como contribuição prática, este estudo destaca a relevância da avaliação ambiental no escopo de projetos de automação e sugere a integração de análises de continuidade como componente estruturante da gestão de riscos em projetos industriais. Do ponto de vista acadêmico, propõe-se que futuros estudos explorem comparativamente a performance de tecnologias concorrentes (elétricas x pneumáticas) em ambientes adversos, bem como investiguem critérios para seleção de tecnologias sustentáveis com base em indicadores operacionais de longo prazo.

Este relato técnico contribui para a literatura aplicada em gestão de projetos sustentáveis ao evidenciar que decisões tecnológicas, ainda que inovadoras, demandam contextualização ambiental e revisão contínua para assegurar sua viabilidade e impacto positivo duradouro.

Além dos aprendizados internos, a intervenção realizada possui forte caráter aplicado, oferecendo uma contribuição prática relevante para projetos industriais alinhados aos princípios da Indústria 4.0 e 5.0. O conhecimento gerado, especialmente sobre a adaptação de tecnologias às condições operacionais reais, pode ser replicado em outros contextos fabris, servindo como base para projetos que buscam integrar automação, eficiência energética, sustentabilidade e foco nas necessidades humanas, promovendo operações mais inteligentes, resilientes e sustentáveis.

Referências

- Argyris, C., & Schön, D. (1974). *Theory in practice*. Jossey-Bass.
- Banihashemi, S., Hosseini, M., & Golizadeh, H. (2017). Critical success factors (CSFs) for integration of sustainability into construction project management practices in developing countries. *International Journal of Project Management*, 35, 1103–1119.
- Biancolino, C. A., Kniess, C. T., Maccari, E. A., & Rabechini Jr, R. (2012). Protocolo para elaboração de relatos de produção técnica. *Revista de Gestão e Projetos*, 3(2), 294–307.
- Brones, F., Carvalho, M. M., & Zancul, E. S. (2014). Ecodesign in project management: A missing link for the integration of sustainability in product development? *Journal of Cleaner Production*, 80, 106–118.
- Camargo, G. O. (2010). Comandos hidráulicos e pneumáticos [Apostila não publicada]. SENAI.
- Carvalho, M. M., & Rabechini, R. (2011). Fundamentos em gestão de projetos: Construindo competências para gerenciar projetos. Atlas. [https://repositorio.usp.br/directbitstream/...](https://repositorio.usp.br/directbitstream/)
- Carvalho, M. M., & Rabechini, R. (2017). Can project sustainability management impact project success? An empirical study applying a contingent approach. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1120–1132. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.018>
- Corey, S. M. (1949). Action research, fundamental research and educational practice. *Teachers College Record*, 50, 509–514.
- Corey, S. M. (1953). Action research to improve school practices. Teachers' College Press.
- Dalcher, D. (2012). Sustainability and success. *PM World Journal*, 1, 1–3.
- Elliot, J. (1991). Action research for educational change. Open University Press.
- Festo. (2025). Atuadores elétricos. Recuperado em 17 de maio de 2025, de https://www.festo.com.br/pt/c/produtos/atuadores-eletricos-id_pim205/
- Fialho, A. B. (2004). Automação pneumática: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos (2^a ed.). Editora Érica.

- Freire, P. (1972). *Pedagogy of the oppressed*. Penguin.
- Freire, P. (1982). *Creating knowledge: A monopoly*. Harper.
- Gareis, R., Huemann, M., & Martinuzzi, A. (2011). What can project management learn from considering sustainability principles? *Project Perspectives*, 60–65.
- Gaziulusoy, A. İ., & Ryan, C. (2017). Roles of design in sustainability transitions projects: A case study of visions and pathways 2040 project from Australia. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1297–1307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.122>
- Huemann, M., & Silvius, G. (2017). Projects to create the future: Managing projects meets sustainable development. *International Journal of Project Management*, 35, 1066–1070. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.04.014>
- Hueskes, M., Verhoest, K., & Block, T. (2017). Governing public-private partnerships for sustainability... *International Journal of Project Management*, 35(6), 1184–1195. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.020>
- Keeys, L. A., & Huemann, M. (2017). Project benefits co-creation: Shaping sustainable development benefits. *International Journal of Project Management*, 35, 1196–1212. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.008>
- Kivilä, J., Martinsuo, M., & Vuorinen, L. (2017). Sustainable project management through project control in infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, 35, 1167–1183. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.009>
- Labuschagne, C., & Brent, A. (2005). Sustainable project life cycle management: The need to integrate life cycles in the manufacturing sector. *International Journal of Project Management*, 23, 159–168.
- Labuschagne, C., Brent, A., & Claasen, S. J. (2005). Environmental and social impact considerations for sustainable project life cycle management in the process industry. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 12, 38–54.
- Lewin, K. (1946). Action research and minority problems. *Journal of Social Issues*, 2, 34–36.
- Marins, A. (2009). Circuitos pneumáticos e comandos eletropneumáticos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFMG/SP. <https://www.ebah.com.br/content/ABAAhOTsAL/apostila-pneumatica>
- Martens, M., & Carvalho, M. M. (2016). The challenge of introducing sustainability into project management function: Multiple-case studies. *Journal of Cleaner Production*, 117, 29–40.
- Martens, M., & Carvalho, M. M. (2017). Key factors of sustainability in project management context: A survey exploring the project managers perspective. *International Journal of Project Management*, 35, 1084–1102.
- Martek, I., Hosseini, M., Shrestha, A., Zavadskas, E., & Seaton, S. (2018). The sustainability narrative in contemporary architecture: Falling short of building a sustainable future. *Sustainability*, 10, 981. <https://doi.org/10.3390/su10040981>
- Moreira, I. D. S. (2012). Sistemas pneumáticos. SESI SENAI Editora.
- Pavani, S. A. (2010). Comandos pneumáticos e hidráulicos (3^a ed.). Universidade Federal de Santa Maria.
- Perrini, F., & Tencati, A. (2006). Sustainability and stakeholder management: The need for new corporate performance evaluation and reporting systems. *Business Strategy and the Environment*, 15, 286–308. <https://doi.org/10.1002/bse.538>
- PROCEL. (2009). Compressores guia básico. Rio de Janeiro RJ: CNI – Confederação Nacional da Indústria / PROCEL INDÚSTRIA – Eficiência Energética Industrial.
- Romano, V., & Dutra, M. (2002). Robótica industrial: Aplicação na indústria de manufatura e de processos: Introdução à robótica industrial (pp. 1–19). Edgard Blücher.

- Russell, D., & Shiang, D. (2012). Thinking about more sustainable products: Using an efficient tool for sustainability education, innovation, and project management to encourage sustainability thinking. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 1, 2–7.
- Sabini, L., Muzio, D., & Alderman, N. (2019). 25 years of ‘sustainable projects’: What we know and what the literature says. *International Journal of Project Management*, 37(5), 820–838. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.01.002>
- Sánchez, M. A. (2015). Integrating sustainability issues into project management. *Journal of Cleaner Production*, 96, 319–330.
- Schoenmeier, C., Hammes, G., Valdiero, A. C., & Rasia, L. A. (2014). Modelagem matemática e validação experimental de um atuador pneumático para uma bancada de ensaios de estruturas. *Revista Saberes e Sabores Educacionais*, (1).
- Shen, L., Tam, V., Tam, L., & Ji, Y. (2010). Project feasibility study: The key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice. *Journal of Cleaner Production*, 18, 254–259.
- Silvius, G., & Schipper, R. P. J. (2014a). Sustainability in project management: A literature review and impact analysis. *Social Business*, 4, 63–96.
- Silvius, G., & Schipper, R. P. J. (2014b). Sustainability in project management competencies: Analyzing the competence gap of project managers. *Journal of Human Resources and Sustainability Studies*, 2, 40–58.
- Silvius, G., Schipper, R. P. J., & Nedeski, S. (2013). Consideration of sustainability in projects and project management: An empirical study. In *Sustainability integration for effective project management* (pp. XX–XX). [Editora ou conferência]
- SMC Corporation (México) S.A. de C.V. (s.d.). Manejo sostenible del CO₂. <https://smc.com.mx/wp-content/uploads/2023/07/CO2.pdf>
- Söderlund, J. (2011). Pluralism in project management: Navigating the crossroads of specialization and fragmentation. *International Journal of Management Reviews*, 13, 153–176. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2010.00290.x>
- Tripp, D. (2005). Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *Educação e Pesquisa*, 31(3), 443–466.
- Tufinio, S. P., Mooi, H., Ravestijn, W., Bakker, H., & Boorsma, M. (2013). Sustainability in project management: Where are we. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 11(1), 91.