

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

Igor Yoshida

**Desenvolvimento de um aplicativo para a avaliação do processo de torneamento
em função de indicadores relacionados com o tripé da sustentabilidade.**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

Igor Yoshida

**Desenvolvimento de um aplicativo para a avaliação do processo de torneamento
em função de indicadores relacionados com o tripé da sustentabilidade.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro em Engenharia Mecatrônica.

Orientador:
Prof. Marcelo Niehues Schlickmann

FLORIANÓPOLIS, 2025.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca do IFSC.

Yoshida, Igor

Desenvolvimento de um aplicativo para a avaliação do
processo de torneamento em função de indicadores
relacionados com o tripé da sustentabilidade. / Igor
Yoshida ; orientador, Marcelo Niehues Schlickmann, 2025.
51 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto
Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Graduação
em Engenharia mecatronica, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia mecatronica. 2. Torneamento. 3. Tripé da
Sustentabilidade. 4. Programação. I. Niehues Schlickmann,
Marcelo. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Graduação
em Engenharia mecatronica. III. Título.

Desenvolvimento de um aplicativo para a avaliação do processo de torneamento em função de indicadores relacionados com o tripé da sustentabilidade.

Igor Yoshida

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro em Engenharia Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de Fevereiro, 2025.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Niehues Schlickmann

Prof. Me. Eduardo Antonio Linck, IFSC

Prof. Dr. Delcino Picinin Junior, IFSC

In Memoriam, minha mãe, cuja presença, mesmo não estando mais entre nós, continua sendo minha maior inspiração. Seu amor e ensinamentos permanecem a me guiar a cada passo, e esta conquista é, acima de tudo, dedicada a ela.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho de conclusão de curso não teria sido possível sem o apoio e incentivo de diversas pessoas, às quais expresso minha mais sincera gratidão. Primeiramente, agradeço a minha família pelo amor, paciência e apoio incondicional em todos os momentos.

Aos meus professores e, especialmente ao meu orientador Prof. Marcelo Niehues Schlickmann, pela dedicação e conhecimento transmitidos, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Aos colegas de curso, pela troca de experiências, companheirismo e incentivo mútuo durante toda a trajetória acadêmica.

Agradeço também a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste estudo, seja por meio de apoio técnico, sugestões ou incentivo moral. A todos, meu muito obrigado!

RESUMO

Dentre os diversos maquinários de fabricação industrial, o torno se destaca como um dos equipamentos mais antigos e amplamente utilizados na manufatura, devido à sua simplicidade e acessibilidade de manuseio. No entanto, assim como outros equipamentos industriais, a aplicação de conceitos de sustentabilidade nesse processo de usinagem ainda é pouco considerada. A necessidade de avaliar esses equipamentos com base em indicadores de sustentabilidade tem impulsionado estudos sobre o impacto da manufatura sustentável tanto no desenvolvimento de novas máquinas quanto em sua operação. Neste contexto, este trabalho propõe a criação de um sistema, na forma de um aplicativo, para apresentar e armazenar os indicadores selecionados de sustentabilidade, possibilitando a avaliação do impacto da operação de torneamento nos aspectos econômicos, ambientais e sociais, alinhando-se ao conceito do tripé da sustentabilidade.

Palavras-chave: Torneamento. Tripé da Sustentabilidade. Programação.

ABSTRACT

Among the various industrial manufacturing machines, the lathe stands out as one of the oldest and most widely used due to its simplicity and ease of operation. However, as with other industrial equipment, sustainability concepts are often overlooked in the machining process. The need to assess these machines based on sustainability indicators has driven studies on the impact of sustainable manufacturing, both in the development of new machinery and in its operation. In this context, this study proposes the creation of a system, in the form of an application, designed to present and store selected sustainability indicators, enabling the evaluation of the turning process's impact on economic, environmental, and social aspects, in line with the triple bottom line concept.

Keywords: Turning. Triple bottom line. Programming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Definição da plataforma alvo	23
Figura 2 – Definição dos padrões de design	23
Figura 3 – Adicionais	24
Figura 4 – Menu Inicial	25
Figura 5 – Menu de máquinas	26
Figura 6 – Menu de cadastro de máquinas	27
Figura 7 – Menu de edição de máquinas	28
Figura 8 – Menu de exclusão de máquinas	29
Figura 9 – Menu de indicadores	30
Figura 10 – Menu de cadastro de indicadores	30
Figura 11 – Menu de edição de indicadores	31
Figura 12 – Menu de exclusão de indicadores	32
Figura 13 – Tela de avaliação	33
Figura 14 – Tela de análise	34
Figura 15 – Menu de edição de ponto	35
Figura 16 – Simulação com valores cadastrados	35
Figura 17 – Arquivo de armazenamento local	36
Figura 18 – Teste de cadastro de máquina	39
Figura 19 – Teste de listagem de máquinas	40
Figura 20 – Teste de edição de máquina	40
Figura 21 – Teste de remoção de máquina	41
Figura 22 – Teste de editar	42
Figura 23 – Arquivo Local	49
Figura 24 – Banco de dados	50
Figura 25 – Indicadores registrados na máquina de teste	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLR	<i>Common Language Runtime</i>
CNC	Comando Numérico Computadorizado
ECO 92	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992
EEEP	Escola Estadual de Educação Profissional
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
MVVM	<i>Model-View-ViewModel</i>
SSMS	SQL Server Management Studio
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
TCC	<i>Trabalho de Conclusão de Curso</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	11
1.2	Definição do Problema	12
1.3	Objetivo Geral	12
1.4	Objetivos Específicos	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Manufatura Sustentável	13
2.2	Manufatura Redutiva	13
2.3	Indicadores de Sustentabilidade	15
2.4	Linguagem de programação	19
3	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	21
3.1	O programa Trife	21
3.2	Programação	21
3.2.1	O Aplicativo	21
3.3	Funcionamento/Simulação/Testes práticos	22
3.3.1	Formato do desenvolvimento	22
3.3.2	Menu Inicial	24
3.3.3	Máquinas	26
3.3.3.1	<i>Menu de cadastro</i>	27
3.3.3.2	<i>Menu de editar</i>	27
3.3.3.3	<i>Menu de excluir</i>	28
3.3.4	Operações de Indicadores	29
3.3.4.1	<i>Menu de cadastro</i>	30
3.3.4.2	<i>Menu de editar</i>	31
3.3.4.3	<i>Menu de excluir</i>	32
3.3.5	Menu de avaliação	33
3.3.6	Menu de análise	34
3.3.7	Armazenamento local	35
3.3.8	Banco de dados	36
3.3.9	Troca de Sistema de Armazenamento	37
3.3.10	Simulação	38
3.3.11	Testes práticos	38
3.3.12	Resultados das simulações	41
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
4.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	43
	REFERÊNCIAS	44
	APÊNDICES	46
	APÊNDICE A – EXEMPLO DE ARQUIVO LOCALSTORAGE	47
	APÊNDICE B – ESTRUTURA DE DEPENDÊNCIA DO CÓDIGO	48
	APÊNDICE C – RESULTADO DA MÁQUINA APÓS TESTES	49

1 INTRODUÇÃO

Encontrados em empresas e instituições de ensino, os tornos mecânicos são parte fundamental da pesquisa e da manufatura de peças industriais, devido à sua simplicidade e ao baixo custo em comparação com tecnologias mais avançadas de produção industrial. O torno, como é conhecido atualmente, foi desenvolvido no século XVIII. Naquele período, pouco se pensava em sustentabilidade; assim, os equipamentos antigos ainda em uso não possuem uma parametrização alinhada aos critérios da manufatura sustentável (SOUZA, 2024).

A manufatura sustentável busca alcançar um modelo de produção que permita a elaboração de produtos por meio de abordagens mais econômicas, com processos que minimizem os impactos ambientais e poupem recursos naturais e energéticos. O tema foi apresentado pela primeira vez durante a Conferência de Estocolmo, em 1972. Posteriormente, a discussão foi retomada em 1987, durante a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, e ampliada pela Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ECO 92) (GUITARRARA, 2022).

1.1 Justificativa

Com os avanços tecnológicos, as indústrias têm procurado investir gradativamente na manufatura sustentável, motivadas não apenas pelos ganhos econômicos, mas também pela influência do comportamento dos clientes, que se mostram cada vez mais exigentes quanto à qualidade dos produtos que compram, à origem das matérias-primas e aos impactos ambientais que o processo de manufatura pode gerar. Dessa forma, o comportamento dos consumidores tem direcionado as ações dos fabricantes (RIZZO; BATOCCHIO, 2011).

Ao analisar estudos publicados, observa-se que muitos buscam apresentar novos processos ou tecnologias que apliquem os princípios do tripé da sustentabilidade. Além disso, enfatizam os impactos ambientais e sociais dos processos de fabricação atualmente em uso. Sendo assim, nota-se que ainda há muito a ser explorado no que diz respeito às aplicações de monitoramento para processos industriais de manufatura.

Diante do exposto, este projeto tem como objetivo desenvolver um aplicativo para o acompanhamento do desempenho de uma máquina-ferramenta com base em indicadores relacionados ao tripé da sustentabilidade. O aplicativo permitirá a avaliação e a quantificação dos processos que um torno mecânico realiza na fabricação de peças. Com isso, o Trife possibilitará a análise dos indicadores de sustentabilidade relevantes para o processo executado pela máquina, avaliando o equipamento sob diversos aspectos sustentáveis.

1.2 Definição do Problema

O problema consiste em encontrar um meio que permita cadastrar, armazenar e disponibilizar informações sobre o processo de manufatura de forma fácil e rápida, possibilitando a avaliação de diferentes tornos mecânicos, bem como o acompanhamento de seu desempenho ao longo da vida útil.

1.3 Objetivo Geral

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo a criação e implementação de um aplicativo para a manufatura sustentável aplicada a tornos mecânicos.

1.4 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Desenvolver um aplicativo que possibilite o cadastro e a visualização de informações relacionadas à manufatura sustentável;
- b) Avaliar e pré-cadastrar os principais indicadores de sustentabilidade relativos ao processo de torneamento;
- c) Permitir o envio e a consulta das informações cadastradas pelo usuário em um banco de dados remoto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Manufatura Sustentável

A manufatura sustentável, também chamada de manufatura verde ou produção verde, é a criação de produtos de forma a reduzir a pegada de carbono geral do processo de fabricação. Ela minimiza os impactos ambientais negativos enquanto conserva energia e recursos naturais (IBM, 2024).

Os principais pontos da manufatura sustentável são:

- **Otimização da utilização de recursos:** Minimizar o consumo de água, energia e materiais ao longo de todo o processo produtivo, desde a extração da matéria-prima até o descarte final.
- **Redução do impacto ambiental:** Diminuir a geração de resíduos e emissões, buscando alternativas mais ecológicas e eficientes.
- **Desenvolvimento de produtos com ciclo de vida sustentável:** Conceber produtos duráveis, fáceis de reparar, reciclar e desmontar, minimizando o desperdício e maximizando a vida útil dos materiais.
- **Inovação tecnológica:** Buscar novas tecnologias, processos e modelos de negócios que contribuam para a sustentabilidade da empresa e para o desenvolvimento sustentável da sociedade.

Além dos benefícios econômicos, também existem benefícios sociais. Com as empresas se engajando em processos mais sustentáveis, elas ganham maior visibilidade e, conseqüentemente, uma melhor reputação. Os principais benefícios são:

- **Melhoria da imagem da empresa:** Maior reputação, confiabilidade e fidelização de clientes e parceiros que valorizam práticas sustentáveis (MB, 2024).
- **Aumento da competitividade:** Diferenciação no mercado, atração de novos clientes e conquista de outros mercados (UNIFOR, 2023).
- **Promoção da inovação:** A busca por soluções mais ecológicas impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos sustentáveis (AWARI, 2023).

2.2 Manufatura Redutiva

A manufatura redutiva, também conhecida como manufatura subtrativa, é um método de produção industrial que consiste na remoção de material de uma peça bruta até criar a peça final. Essa técnica se baseia nos princípios de usinagem, onde

ferramentas de corte de desgaste removem material em excesso de maneira precisa e controlada (TOTVS, 2022).

Os principais tipos de manufatura redutiva são:

- **Torneamento:** O torno é uma máquina-ferramenta rotativa que utiliza ferramentas de corte para remover material da superfície de uma peça cilíndrica. É um processo versátil e preciso, utilizado para fabricar diversos tipos de peças, como eixos, buchas e engrenagens.
- **Fresamento:** A fresadora utiliza ferramentas de corte rotativas com múltiplos dentes para remover material da superfície de uma peça. É um processo versátil que permite criar formas complexas com alta precisão (WOLF, 2022).
- **Furação:** A furadeira utiliza brocas rotativas para criar furos em peças sólidas. É um processo essencial para a montagem de componentes e a passagem de fixadores (KENNEDY, 2021).
- **Retificação:** A retificadora utiliza ferramentas abrasivas para remover pequenas quantidades de material com alta precisão, garantindo um acabamento superficial impecável. É utilizada para peças que exigem tolerâncias dimensionais extremamente precisas (MAQUINAS, 2020).
- **Eletroerosão:** A eletroerosão utiliza descargas elétricas para remover material de peças condutoras, permitindo a fabricação de formas complexas e peças de materiais duros ou frágeis (QUÍMICA, 2023).

Em comparação com a manufatura aditiva, a manufatura redutiva possui diversas vantagens para a produção industrial, incluindo:

- **Alta precisão:** Permite a criação de peças com alta precisão dimensional e acabamento elevado.
- **Versatilidade:** Adapta-se a uma ampla gama de peças com diferentes formas e tamanhos.
- **Durabilidade:** Como a peça é formada a partir de um bloco maciço de metal, ela possui alta durabilidade e resistência.
- **Material utilizado:** Permite o uso de diversos materiais, incluindo metais, plásticos e cerâmicas.

Porém, como todo processo, a manufatura redutiva apresenta desvantagens quando comparada à manufatura aditiva, tais como:

- **Geração de resíduos:** O processo gera uma grande quantidade de resíduos sólidos, como cavacos e aparas de material, que exigem descarte adequado, gerando custos adicionais e impactos ambientais.
- **Tempo de usinagem:** A produção de uma peça complexa pode ser demorada, exigindo tempo de usinagem significativo, limitando a produtividade em casos de necessidade de entrega rápida.
- **Limitações geométricas:** A manufatura redutiva pode ter limitações na produção de peças com formas complexas e cavidades internas, necessitando de ferramentas especiais e processos mais desafiadores.

Como a manufatura redutiva é mais bem estabelecida que a manufatura aditiva, por ser uma técnica mais antiga, muitas aplicações onde esse tipo de manufatura é utilizado também são antigas, tais como:

- **Carros, aviões e máquinas:** Peças de motores, engrenagens e eixos.
- **Medicina:** Instrumentos cirúrgicos, próteses e implantes.
- **Eletrônicos:** Gabinetes eletrônicos, dissipadores de calor e PCBs.
- **Construção:** Parafusos, buchas e conectores.

Assim, a manufatura redutiva é um processo no qual se fabricam peças de alta precisão e ótimo acabamento, podendo ser realizado em diversos materiais diferentes.

2.3 Indicadores de Sustentabilidade

Para a avaliação de quão sustentável é um determinado processo, é necessário que haja um acompanhamento de determinados parâmetros através de indicadores de sustentabilidade.

Os indicadores são vistos como um modelo da realidade, mas não podem ser considerados a própria realidade. Eles devem ser analiticamente legítimos e construídos dentro de uma metodologia coerente de mensuração. São pedaços de informações que apontam características do sistema, procurando realçar o que está acontecendo. Sua função é simplificar informações sobre fenômenos complexos de modo que a comunicação sobre seu significado seja mais compreensível e quantificável. Indicadores são um meio de comunicação, e toda a forma de comunicação requer entendimento entre os participantes do processo (BELLEN, 2006).

Os indicadores de sustentabilidade são essenciais para medir e acompanhar o impacto ambiental, social e econômico das atividades de uma organização ou setor. Eles ajudam a:

- Avaliar o desempenho da empresa em relação à sustentabilidade.
- Identificar áreas de melhoria e oportunidades para otimizar recursos.
- Assegurar conformidade com regulamentações ambientais e sociais.
- Tomar decisões estratégicas baseadas em dados concretos.
- Fortalecer a reputação da empresa junto a investidores, consumidores e sociedade.

Eles são divididos em três pilares principais:

- Indicadores Ambientais: Medem o impacto das operações no meio ambiente.
- Indicadores Sociais: Avaliam o impacto da empresa na sociedade e nos trabalhadores.
- Indicadores Econômicos: Relacionados à viabilidade financeira e crescimento sustentável.

A constante busca por indicadores permite a quantização dos processos em relação aos aspectos de sustentabilidade, podendo ser avaliados de forma objetiva e clara, o quão sustentáveis realmente são.

Os indicadores de sustentabilidade da *Global Reporting Initiative* (GRI) servem como uma estrutura para que as organizações relatem seus impactos econômicos, ambientais e sociais. Esses indicadores são essenciais para promover a transparência e a responsabilidade nas práticas de sustentabilidade. A estrutura GRI é particularmente benéfica para pequenas e médias empresas (PMEs), pois as ajuda a lidar com requisitos sobrepostos de vários padrões, aumentando assim sua eficiência de relatórios (ZHOU; CAO; PERZYLO, 2024).

Com isso, alguns indicadores da GRI relevantes para a manufatura são:

- Indicadores Ambientais:
 - Eficiência Energética
 - Consumo de Energia
 - Fluído de Corte

- Volume da Peça Bruta
- Água para Limpeza
- Vida Útil da Ferramenta
- Emissões de Gases (Ex: CO₂, NO_x)
- Gestão de Resíduos (Ex: Reciclagem de aparas de metal, descartes de fluidos de corte)
- Uso de Recursos Naturais (Ex: Consumo de água, energia, metais e outros recursos)
- Emissões de Ruído (Níveis de ruído produzidos pelas máquinas)
- Consumo de Combustível (Se aplicável, como em máquinas que utilizam combustíveis fósseis)
- Pegada de Carbono (Cálculo do impacto ambiental total da operação de manufatura)
- Indicadores Sociais:
 - Ruído
 - Número de Acidentes
 - Número Médio de Horas de Treinamento
 - Condições de Trabalho (Avaliação das condições físicas do ambiente de trabalho, como ventilação, iluminação)
 - Bem-estar dos Funcionários (Avaliação da saúde física e mental dos operários)
 - Taxa de Absenteísmo (Relacionado à saúde e condições de trabalho)
 - Diversidade e Inclusão (Porcentagem de trabalhadores de diferentes gêneros, etnias, etc.)
 - Qualidade de Vida no Trabalho (Satisfação dos funcionários com o ambiente e processos)
 - Programa de Segurança e Saúde (Existência e eficiência de programas de segurança e prevenção de acidentes)
 - Treinamento e Desenvolvimento (Percentual de funcionários treinados para operar novas máquinas ou processos)
- Indicadores Econômicos:
 - Custo da Mão de Obra
 - Custo da Máquina

- Custo da Ferramenta
- Tempo de Fabricação
- Custo de Fluido de Corte
- Custo de Produção (Cálculo do custo total para produzir uma peça, incluindo matérias-primas, mão de obra, energia, etc.)
- Eficiência Operacional (Relação entre produção e tempo de máquina, medindo a capacidade de produção)
- Custo de Manutenção das Máquinas (Custos com reparos e manutenção preventiva das máquinas)
- Taxa de Retorno sobre Investimento (ROI) (Medição da rentabilidade dos investimentos em novas tecnologias ou máquinas)
- Custo com Resíduos (Custo associado à gestão e descarte de resíduos da produção)
- Produtividade por Funcionário (Medição da produção por trabalhador, focando em eficiência)
- Custo de Energia por Unidade Produzida (Medição do impacto do consumo de energia sobre a produção)

No processo de usinagem em tornos mecânicos, a escolha de indicadores de sustentabilidade é essencial para garantir a eficiência do processo, minimizar os impactos ambientais e promover o bem-estar dos trabalhadores. Entre os indicadores apresentados, alguns são particularmente relevantes para a otimização dos processos de usinagem e para atender às necessidades ambientais, sociais e econômicas de uma operação de manufatura.

Segundo (CHUA; LEONG; LIM, 2010), os indicadores para manufatura redutiva mais relevantes são:

Indicadores Ambientais

- **Consumo de Energia e Eficiência Energética:** Os processos de usinagem demandam alta energia para alimentar máquinas e outras ferramentas de corte. Medir o consumo e a eficiência energética é essencial para identificar oportunidades de redução de custos e de impacto ambiental.
- **Fluido de Corte e Gestão de Resíduos:** Os fluidos utilizados para refrigeração e lubrificação, bem como os resíduos gerados (aparas, cavacos), são críticos tanto do ponto de vista ambiental quanto operacional. O manejo adequado desses insumos e resíduos pode reduzir o impacto ambiental e os custos de produção.

- **Vida Útil da Ferramenta:** Como as ferramentas sofrem desgaste durante a usinagem, monitorar sua durabilidade é fundamental para minimizar o consumo de recursos (novas ferramentas, tempo de inatividade) e melhorar a eficiência do processo.

Indicadores Sociais

- **Ruído e Segurança (Número de Acidentes):** A operação de máquinas pesadas pode gerar níveis elevados de ruído e apresentar riscos de acidentes. Monitorar esses indicadores é importante para garantir a saúde e a segurança dos trabalhadores, melhorando as condições de trabalho e evitando custos relacionados a acidentes e absenteísmo.
- **Treinamento e Condições de Trabalho:** A qualificação dos operadores e as condições do ambiente industrial (ventilação, iluminação, ergonomia) influenciam diretamente a segurança e o desempenho dos processos produtivos.

Indicadores Econômicos

- **Custos de Ferramentas, Máquinas e Manutenção:** Os custos associados à aquisição, manutenção e substituição dos equipamentos são determinantes para a competitividade da manufatura redutiva.
- **Tempo de Fabricação e Produtividade:** Indicadores que medem o tempo de usinagem, a eficiência operacional e o custo energético por unidade produzida permitem identificar gargalos e oportunidades de melhoria, impactando diretamente o custo total de produção.

Para o processo de usinagem em tornos mecânicos, os indicadores ambientais relacionados ao consumo de energia, gestão de resíduos e vida útil da ferramenta são essenciais para reduzir o impacto ambiental da operação. Além disso, os indicadores sociais, como segurança, condições de trabalho e treinamento, são fundamentais para garantir um ambiente produtivo e saudável para os operadores. Por fim, os indicadores econômicos, incluindo custo de ferramentas, tempo de fabricação e produtividade, são cruciais para a viabilidade financeira da operação, permitindo melhorar a eficiência sem aumentar os custos operacionais.

2.4 Linguagem de programação

A linguagem de programação utilizada para este trabalho será C#, pois ela é uma linguagem com as características ideais para este projeto, sendo ela orientada a objetos, permitindo a modelagem de sistemas complexos de forma modular, é de

tipagem forte, prevenindo erros comuns durante a compilação, possui interoperabilidade com outras linguagens do *Common Language Runtime* como C++ e F# (LEARN, 2023b) e também possui recursos de programação funcional, tais como o LINQ, delegates e lambda, recursos que permitem uma abordagem mais declarativa e concisa (LEARN, 2023a).

Juntamente com C#, será utilizado o sistema SQL Server como sistema para armazenamento das informações. Dentro deste, é utilizada a linguagem SQL, que por si só possui diversos tipos de sublinguagens, tais como:

- DQL (*Data Query Language*): São os comandos que interagem com os objetos do banco
 - São comandos DQL: SELECT.
- DDL (*Data Definition Language*): São os comandos de definição do banco de dados
 - São comandos DDL: CREATE, ALTER, DROP.
- DCL (*Data Control Language*): São os comandos para controlar a parte de segurança do banco de dados
 - São comandos DCL: GRANT, REVOKE, DENY.
- DML (*Data Manipulation Language*): São os comandos que interagem com os dados dentro das tabelas
 - São comandos DML: INSERT, DELETE, UPDATE.

Utilizando estas sublinguagens, é possível realizar as mais diversas operações dentro do banco de dados, como selecionar, inserir, excluir e atualizar. Também é possível configurar funções e gatilhos para o funcionamento automatizado do sistema.

3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1 O programa Trife

Para este trabalho de conclusão de curso, foi criado um aplicativo de computador, onde será possível avaliar os diversos indicadores da sustentabilidade, sendo estes baseados no tripé da sustentabilidade.

3.2 Programação

O desenvolvimento do aplicativo se executa em duas partes:

- Criação do aplicativo em si, dentro do ambiente de desenvolvimento da *Microsoft Visual Studio*, com o auxílio também de outra ferramenta da própria empresa, o *Visual Studio Code*, onde foi utilizada a linguagem de programação C# (CSharp) e o *framework* Avalonia.
- Criação do sistema de recebimento, armazenamento e transmissão de informação, que será armazenada primeiramente em um arquivo local, com as informações propagadas para o *SQL Server*, onde a base será alocada em um servidor na nuvem de criação própria. A lógica e configuração serão realizadas na plataforma *SQL Server Management Studio* (SSMS).

3.2.1 O Aplicativo

O desenvolvimento do Trife é realizado na plataforma *Visual Studio*, software de desenvolvimento da Microsoft voltado para o desenvolvimento de aplicações multiplataforma e multilíngue. Também permite a criação de aplicações em diversas linguagens, tais como:

- C#.
- VB.NET.
- C++.
- Python.
- JavaScript.
- TypeScript.

Existe ainda a possibilidade de criar aplicações para várias plataformas, sendo elas:

- Windows.
- macOS.
- Linux.
- iOS.
- Android.

Dentro da plataforma, há recursos como o *IntelliSense*, refatoração de código, depuração interativa e testes unitários, ferramentas de desenvolvimento que auxiliam na escrita do código, como também nos testes para melhorar a qualidade do mesmo (MICROSOFT, 2022b).

A plataforma também possui ferramentas de design visual, auxiliando na criação de interfaces gráficas de forma simples e intuitiva, e possui integração com controle de versão, integrando controles de versão como o Git (MICROSOFT, 2022a).

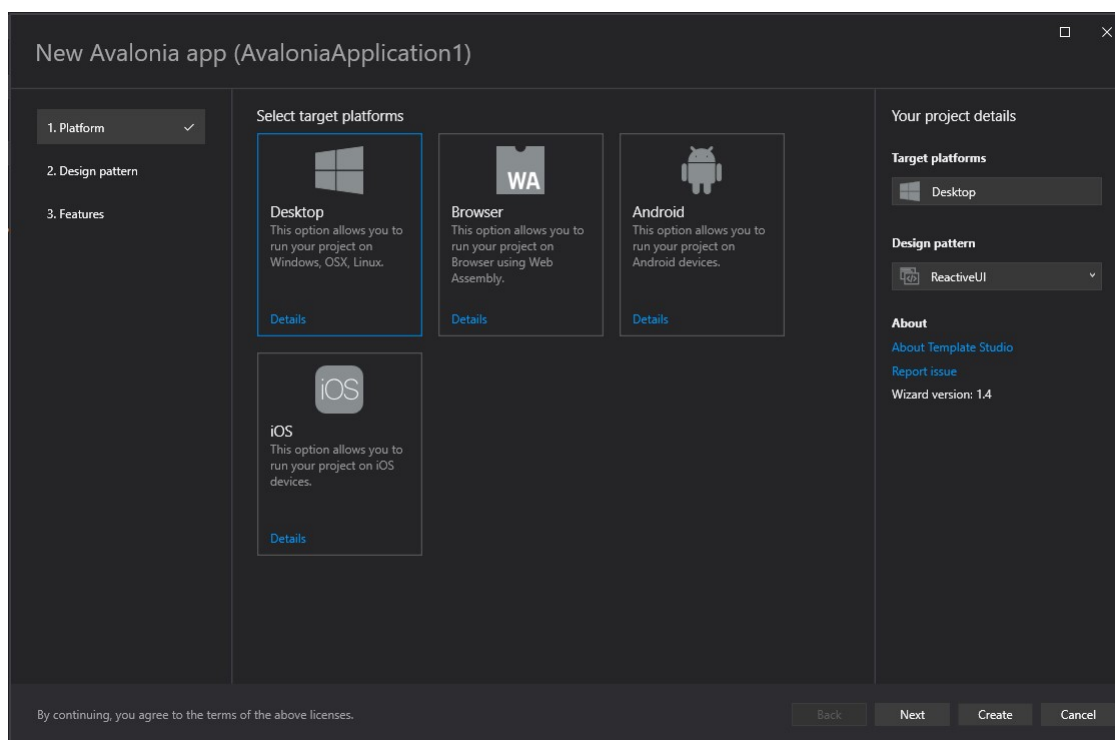
O desenvolvimento do aplicativo utilizou desses artefatos para um rápido desenvolvimento e testes iniciais dentro da própria plataforma. Testes dentro do ambiente de desenvolvimento são realizados inicialmente para testar a sintaxe e lógica do programa, pois o funcionamento correto da aquisição, armazenamento em memória e transmissão são fundamentais para o projeto desenvolvido.

3.3 Funcionamento/Simulação/Testes práticos

3.3.1 Formato do desenvolvimento

O desenvolvimento inicial se deu pela criação do projeto utilizando o *framework* Avalonia. Nele, pode-se selecionar as plataformas e os pacotes auxiliares para o desenvolvimento da aplicação.

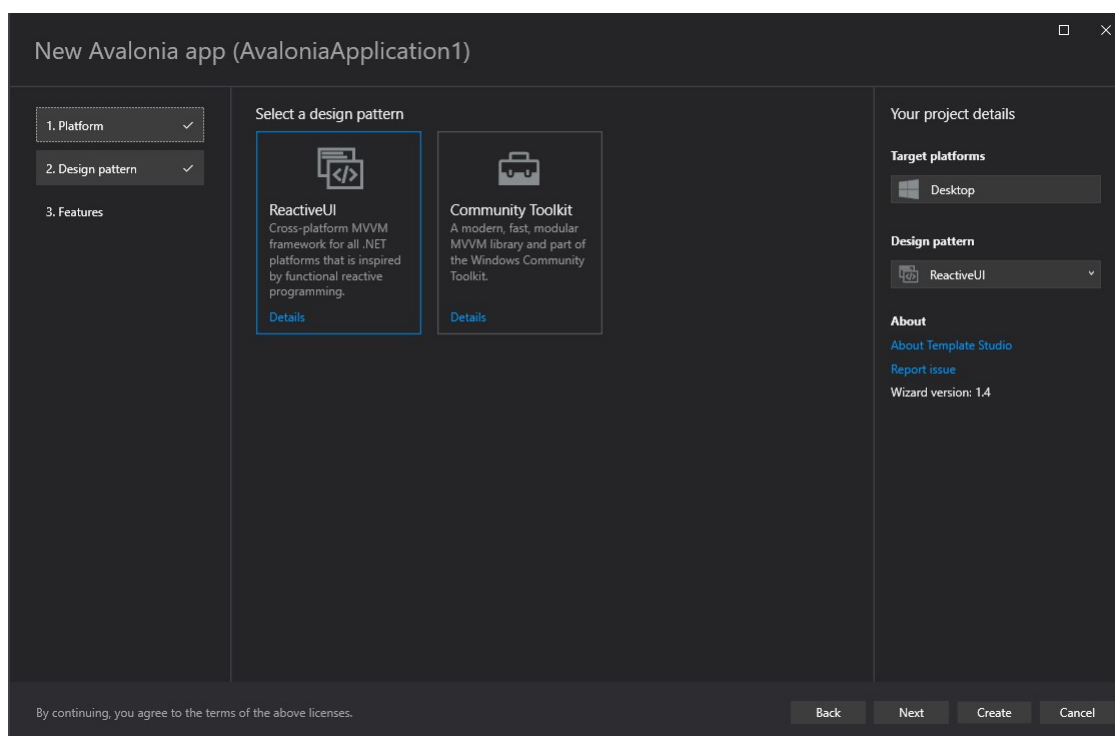
Figura 1 – Definição da plataforma alvo



Fonte: Própria.

Para a plataforma, foi feito com destino para o Windows, conforme figura 1, pois a aplicação tem como objetivo ser instalada no computador local, não requerendo conexão com a internet a todos os momentos.

Figura 2 – Definição dos padrões de design

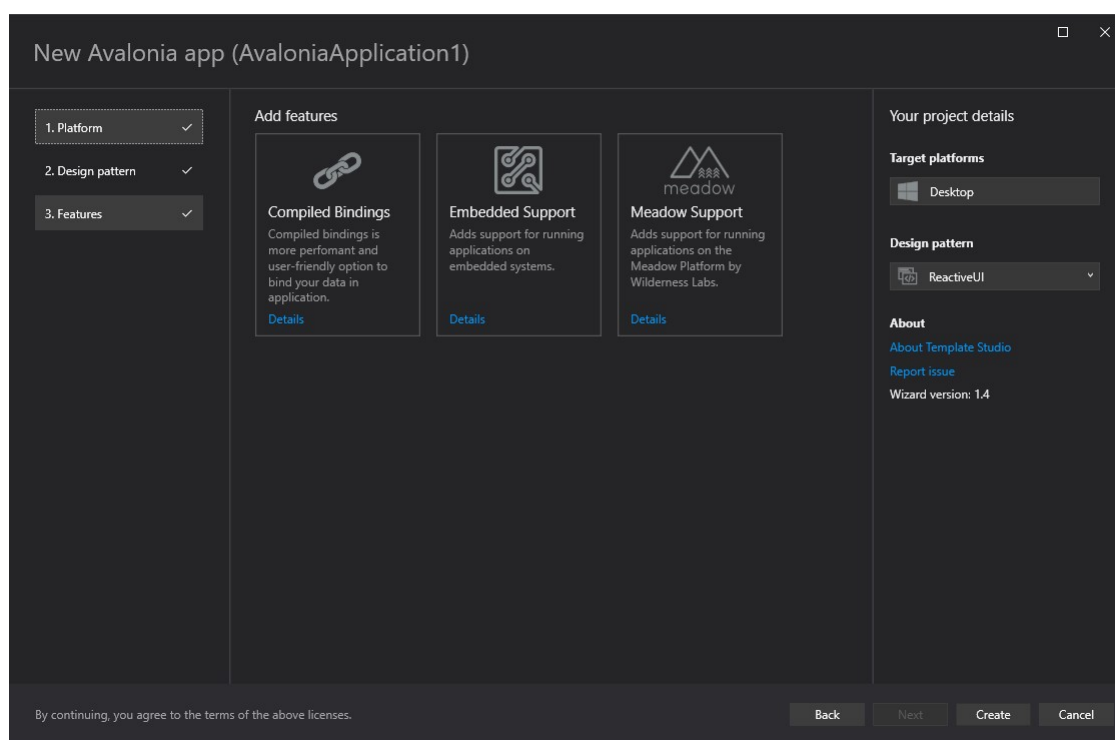


Fonte: Própria.

Para os padrões de design, foi escolhido o *ReactiveUI*, conforme figura 2. Este também é um framework baseado no padrão *Model-View-ViewModel* (MVVM) e conceitos em programação reativa.

O *ReactiveUI* utiliza elementos chamados de observáveis, que são notificados quando uma mudança ocorre no elemento em que esses observáveis estão vinculados. Assim, interfaces que utilizam esses elementos são atualizadas automaticamente.

Figura 3 – Adicionais

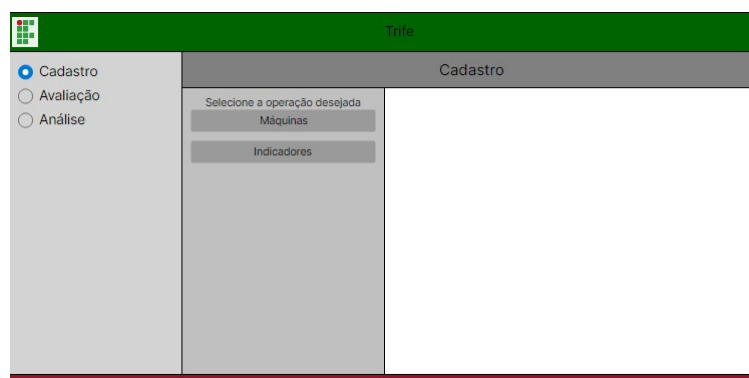


Fonte: Própria.

Conforme figura 3, não foi selecionado nenhum pacote adicional para a aplicação, pois o framework Avalonia já possui nativamente todos os elementos necessários para o desenvolvimento da mesma.

3.3.2 Menu Inicial

Ao iniciar a aplicação, a tela inicial será exibida, ela possui os seguintes elementos, conforme 4:

Figura 4 – Menu Inicial

Fonte: Própria.

- No topo é exibida a logo do IFSC e o nome da aplicação.
- Na lateral esquerda, são exibidos os botões de navegação de telas, são estes:
 - Cadastro.
 - Avaliação.
 - Análise.
- Na parte de baixo, é exibida uma barra de mensagem.

A navegação dentro da aplicação é realizada pelos botões laterais, onde é possível cadastrar novas máquinas e indicadores, registrar valores para indicadores de máquinas e também realizar a análise dos valores registrados para os indicadores da máquina a ser avaliada.

O botão de cadastro traz a tela de cadastro de máquinas e indicadores.

Nesta tela, é possível selecionar qual dos dois elementos sofrerá a operação, podendo ser máquinas ou indicadores.

3.3.3 Máquinas

Figura 5 – Menu de máquinas

Cadastro	
Selecione a operação desejada	
Cadastrar Nova Máquina	
Editar Máquina Existente	
Excluir Máquina Existente	
Voltar	

Fonte: Própria.

Ao selecionar, por exemplo, o botão Máquinas, serão exibidas as seguintes opções referentes à máquina, conforme figura 5:

- Cadastrar nova máquina.
- Editar máquina existente.
- Excluir máquina existente.
- Voltar.

3.3.3.1 Menu de cadastro

Figura 6 – Menu de cadastro de máquinas

Cadastro	
Salvar Nova Máquina Adicionar Indicador Remover Indicador Limpar Voltar	Nome Nome da máquina Uma máquina com este nome já foi cadastrada! Ativa ☐ Indicadores da máquina Lista de indicadores cadastrados Ambiental Social Econômico

Fonte: Própria.

Conforme a figura 6, no cadastro da máquina é possível dar um nome à nova máquina, informar se ela está ativa ou não e também os indicadores que ela possui, não sendo obrigatória a adição de indicadores.

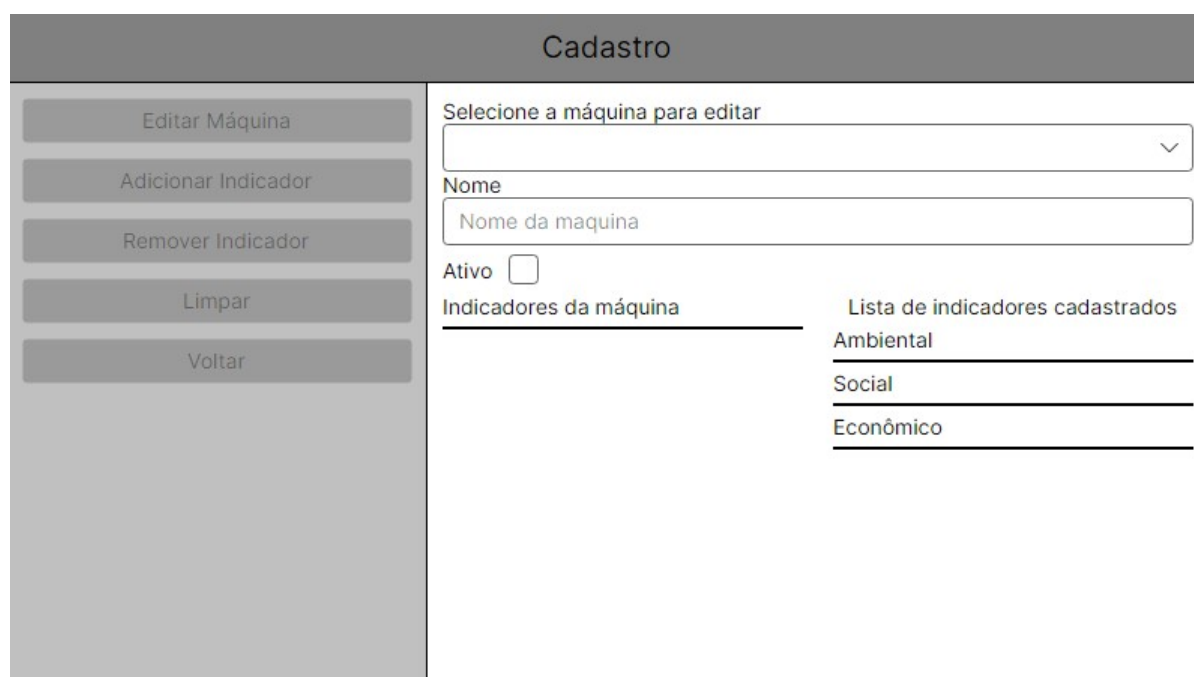
Também nesta tela estão incluídos os botões de ação para cadastro, como os botões *Adicionar Indicador* e *Remover Indicador*, e também os botões de ação básicos *Limpar* e *Voltar*, que estão disponíveis em grande parte da aplicação.

A tela possui sistemas de verificação para cadastros duplicados, pois máquinas nunca terão o mesmo nome ou registro. Sendo assim, é feita uma verificação para validar se o nome inserido já está registrado ou não. Caso esteja, o texto em vermelho na figura 6 aparecerá.

3.3.3.2 Menu de editar

O botão de edição irá trazer a tela de edição de máquinas.

Figura 7 – Menu de edição de máquinas



Cadastro

Editar Máquina

Adicionar Indicador

Remover Indicador

Limpar

Voltar

Selecione a máquina para editar

Nome

Nome da maquina

Ativo ☐

Indicadores da máquina

Lista de indicadores cadastrados

Ambiental

Social

Econômico

Fonte: Própria.

Nesta tela, conforme a figura 7, o usuário poderá selecionar qual das máquinas irá sofrer a edição, podendo ser alterado o nome, se está ativo ou não e os seus indicadores.

Similar à tela de cadastro, a tela de edição possui os botões de *Adicionar Indicador*, *Remover Indicador*, *Limpar* e *Voltar*, que realizam as mesmas funções detalhadas anteriormente.

3.3.3.3 Menu de excluir

Diferente das outras telas, a tela de excluir é a mais simples, pois só irá realizar uma ação.

Figura 8 – Menu de exclusão de máquinas

Cadastro

Excluir

Limpar

Voltar

Selecione a máquina

▼

Fonte: Própria.

A única ação necessária desta tela é selecionar qual das máquinas será excluída do sistema, conforme a figura 8. Basta selecionar a máquina e apertar o botão *Excluir*.

3.3.4 Operações de Indicadores

As operações com indicadores são muito similares às operações das máquinas, contendo as três operações de cadastro, edição e exclusão.

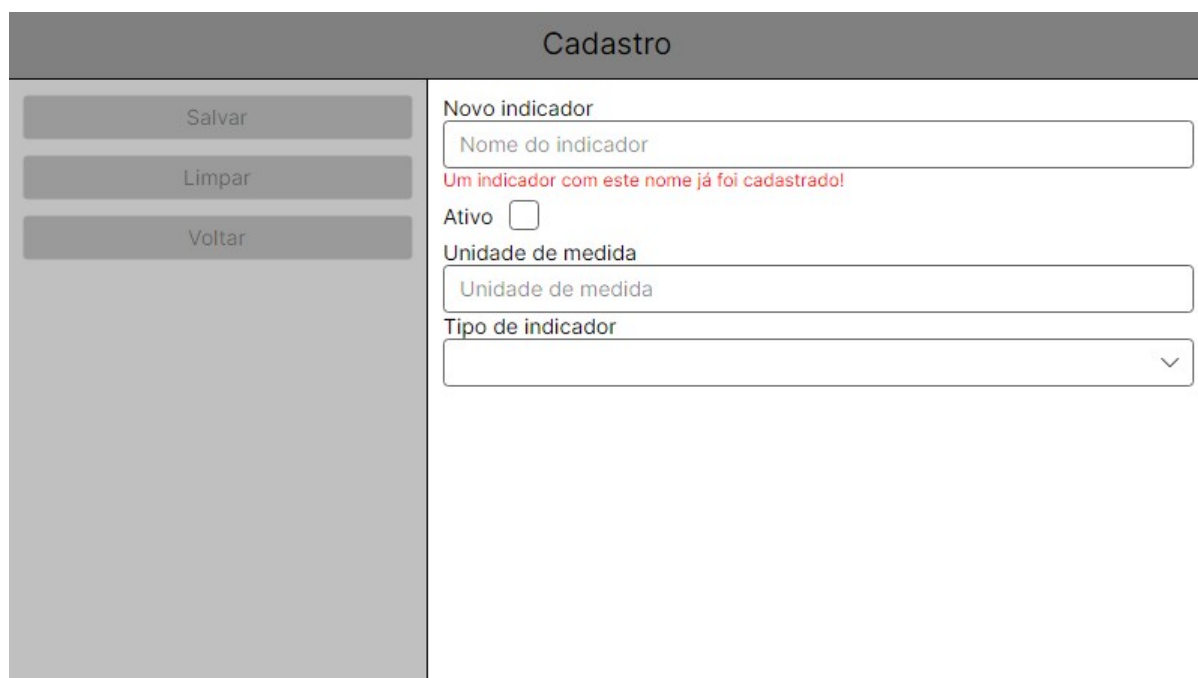
Figura 9 – Menu de indicadores

A interface de usuário para o menu de indicadores. No topo, há uma barra de cabeçalho cinza com o título "Cadastro". Abaixo, a interface é dividida em duas colunas. A coluna da esquerda contém o texto "Selecione a operação desejada" e quatro botões empilhados: "Cadastrar Novo Indicador", "Editar Indicator Existente", "Excluir Indicador Existente" e "Voltar". A coluna da direita é atualmente vazia.

Fonte: Própria.

Similar à tela de cadastro de máquinas, a tela de cadastro de indicadores possui os mesmos botões de ação, porém destinados à indicadores.

3.3.4.1 Menu de cadastro

Figura 10 – Menu de cadastro de indicadores

A interface de usuário para o menu de cadastro de indicadores. No topo, há uma barra de cabeçalho cinza com o título "Cadastro". Abaixo, a interface é dividida em duas colunas. A coluna da esquerda contém três botões empilhados: "Salvar", "Limpar" e "Voltar". A coluna da direita contém o formulário para cadastrar um novo indicador. O formulário começa com o rótulo "Novo indicador" e um campo de texto "Nome do indicador". Abaixo deste campo, há uma mensagem de erro em vermelho: "Um indicador com este nome já foi cadastrado!". Segue-se o campo "Ativo" com uma caixa de seleção desativada. Em seguida, há o rótulo "Unidade de medida" e um campo de texto correspondente. Por fim, há o rótulo "Tipo de indicador" e um menu suspenso com uma seta para baixo no canto direito.

Fonte: Própria.

Conforme a figura 10, a operação de cadastro de indicadores possui elementos de registro diferentes do menu de cadastro de máquinas.

Nesta tela, é possível dar um nome ao novo indicador, informar se este indicador está ativo ou não, a unidade de medida do indicador (podendo ser qualquer tipo de unidade) e, por fim, o tipo de indicador.

Como detalhado anteriormente, todos os indicadores de sustentabilidade podem ser categorizados em três grandes grupos, sendo eles:

- Ambiental.
- Social.
- Econômico.

A seleção do tipo de indicador é obrigatória, pois é feita a separação e organização com base no tipo de indicador registrado.

Similar à tela de cadastro de máquinas, indicadores têm nome exclusivo dentro do sistema, não podendo existir outro indicador igual. Caso exista, será exibida uma mensagem em vermelho, conforme a figura 10.

3.3.4.2 Menu de editar

Figura 11 – Menu de edição de indicadores

Fonte: Própria.

A tela de edição, conforme a figura 11, permite a edição de um indicador selecionado, podendo alterar o seu nome, unidade de medida, se está ativo ou não, e o seu tipo, funcionalidade similar à tela de edição de máquinas.

3.3.4.3 Menu de excluir

Figura 12 – Menu de exclusão de indicadores



Cadastro

Excluir

Limpar

Voltar

Selecione o indicador

Fonte: Própria.

Idêntico à tela de exclusão de máquinas, na tela de exclusão, conforme a figura 12, basta selecionar qual indicador será excluído e, em seguida, apertar o botão *Excluir*.

A exclusão de um indicador do sistema **não** exclui o mesmo indicador das máquinas que o possuem, pois seria muito custoso percorrer todas as máquinas e verificar quais delas possuem o indicador escolhido.

A exclusão do indicador só inibe a possibilidade de adição do indicador excluído em máquinas, tanto durante o cadastro de máquinas quanto na edição.

3.3.5 Menu de avaliação

Figura 13 – Tela de avaliação

Avaliação		
Lista de máquinas ativas	Lista de Indicadores Cadastrados	Habilitado
	Ambiental	☐
	Social	
	Econômico	
		Valor do indicador
		Valor
		Salvar Limpar

Fonte: Própria.

A tela de avaliação tem como função avaliar uma máquina e seus indicadores em determinado processo de usinagem, pois é daqui que os valores para a avaliação irão surgir.

Conforme a figura 14, a tela possui três divisórias principais: a primeira para mostrar todas as máquinas atualmente cadastradas no sistema, a segunda divisória para exibir todos os indicadores da máquina selecionada, sendo eles divididos pelos seus tipos, e, por fim, onde serão registrados os valores para o indicador selecionado, podendo habilitar ou não o valor a ser cadastrado.

3.3.6 Menu de análise

Figura 14 – Tela de análise

A interface 'Análise' possui um cabeçalho com o título 'Análise'. Abaixo dele, há uma barra contendo três elementos: um campo de seleção rotulado 'Selecione a máquina', um botão rotulado 'Limpar' e outro campo de seleção rotulado 'Selecione um Indicador'. À esquerda da interface, há um painel lateral com três botões empilhados: 'Valor do Ponto', 'Salvar' e 'Voltar'. Uma linha vertical separa o painel lateral do restante da interface.

Fonte: Própria.

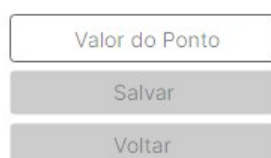
Após um valor ser registrado na tela de avaliação, ele será armazenado no arquivo de armazenamento, que será consultado nesta tela.

Conforme a figura 13, a tela de análise possui os seguintes elementos:

- Seletor de máquina:
 - Aqui irão aparecer todas as máquinas cadastradas e ativas do sistema.
- Botão *Limpar*:
 - Botão para limpar todas as seleções.
- Seletor de indicador:
 - Após selecionar uma máquina, este seletor irá conter todos os indicadores vinculados à máquina selecionada.
- Painel lateral:
 - A primeira caixa de texto mostra qual máquina está atualmente selecionada.
 - A segunda caixa de texto mostra qual indicador está atualmente selecionado.
 - Botão para editar um valor específico dentro do gráfico.

Ao apertar o botão *Editar Ponto*, o usuário poderá alterar o valor do ponto selecionado. Esta opção foi incluída pois, ao cadastrar um novo valor para o indicador, é possível que o usuário insira um valor errado. Assim, a edição pode ser realizada com o auxílio do gráfico, permitindo confirmar visualmente pontos que estão fora do esperado.

Figura 15 – Menu de edição de ponto



Valor do Ponto

Salvar

Voltar

Fonte: Própria.

Figura 16 – Simulação com valores cadastrados



Fonte: Própria.

Conforme a figura 16, está sendo avaliada a máquina Torno mecânico ABB no seu indicador Eficiência Energética. O valor do ponto pode ser visualizado ao passar o mouse em cima do mesmo.

3.3.7 Armazenamento local

Durante o desenvolvimento da aplicação, foi utilizado um banco de dados de teste fornecido pela Microsoft Azure por meio do seu programa de ensino para estudantes, que disponibiliza vários serviços dos quais este trabalho foi construído sobre.

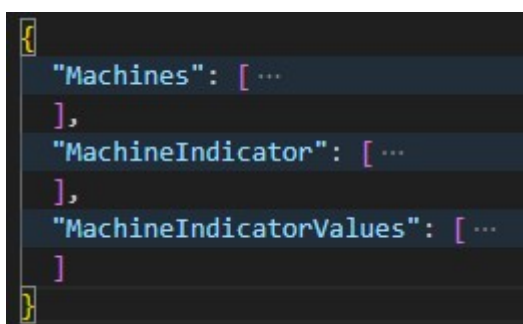
No entanto, o banco de dados possui um tempo máximo de utilização de 100.000 segundos de processamento. Assim, é possível que, durante a fase de testes, o

tempo de processamento do banco de dados seja consumido por completo, impedindo que o aplicativo consiga salvar suas informações.

Foi devido a este detalhe que foi criada uma classe no aplicativo chamada `LocalStorage` (Apêndice A), responsável por armazenar todas as informações do sistema em um arquivo `json` local.

A classe possui todos os mesmos métodos da classe de armazenamento no banco de dados, porém adaptados para trabalhar com o formato `json`.

Figura 17 – Arquivo de armazenamento local

A imagem mostra um trecho de código JSON em um editor de texto com fundo escuro. O código está formatado com cores: as chaves de objeto são em amarelo, as strings em azul, os arrays em roxo e os pontos e vírgulas em verde. O JSON contém três propriedades: "Machines" com um array de pontos de reticências [...], "MachineIndicator" com um array de pontos de reticências [...], e "MachineIndicatorValues" com um array de pontos de reticências [...]. O código é encerrado por uma fechadura de objeto {}.

Fonte: Própria.

Conforme a figura 17, o arquivo armazena em listas as máquinas, indicadores e valores de indicadores de maneira separada. Cada item das listas possui um identificador único, o que mantém a integridade e rastreabilidade de cada item.

3.3.8 Banco de dados

O banco de dados, sendo um SQL Server, foi construído utilizando os serviços da Microsoft Azure, que permite o acesso a diversos recursos para estudantes, como parte do programa de ensino. Com o banco de dados criado, foram desenvolvidas três tabelas principais para armazenar as informações relevantes para o sistema:

- **Machine:** Esta tabela armazena as informações sobre as máquinas registradas no sistema, incluindo atributos como o nome da máquina, seu status (ativo ou inativo) e outros dados relevantes para sua identificação.
- **MachineIndicator:** A tabela *MachineIndicator* contém os indicadores associados a cada máquina. Cada indicador está vinculado a um tipo (ambiental, social ou econômico), e sua unidade de medida é definida para garantir consistência nas medições dos parâmetros.
- **MachineIndicatorValues:** A tabela *MachineIndicatorValues* armazena os valores registrados para cada indicador, juntamente com a data e hora em que foram

registrados. Esta tabela permite que o sistema acompanhe a evolução dos indicadores ao longo do tempo e possibilite análises detalhadas de desempenho das máquinas.

As relações entre as tabelas são estabelecidas através de chaves estrangeiras, o que garante a integridade referencial e facilita as consultas para obter informações específicas, como indicadores de uma máquina em particular ou valores históricos registrados.

Além disso, o banco de dados foi configurado para otimizar a performance de leitura e gravação, utilizando índices apropriados para consultas frequentes, como busca de máquinas por nome ou consulta de valores de indicadores por data.

A utilização do SQL Server na nuvem permite que o sistema tenha alta disponibilidade e escalabilidade, além de garantir que as informações sejam armazenadas de maneira segura e acessível a partir de qualquer dispositivo conectado à internet.

3.3.9 Troca de Sistema de Armazenamento

O sistema permite armazenar informações tanto em um banco de dados remoto quanto em um arquivo local. Para garantir que os dados fiquem sempre atualizados e acessíveis, mesmo sem internet, foi criada a classe `SavingContext`, responsável por sincronizar os dados entre os dois formatos de armazenamento.

Primeiramente, o sistema verifica se há conexão com o banco de dados. Se houver, ele compara os dados armazenados remotamente com os dados locais. Caso existam diferenças, a versão mais recente é utilizada para atualizar a outra. Assim, se um dado for alterado no banco de dados, essa mudança será refletida no arquivo local e vice-versa.

Os principais tipos de informações sincronizadas são:

- Máquinas cadastradas: Dados sobre as máquinas registradas no sistema.
- Indicadores das máquinas: Informações sobre os indicadores associados a cada máquina.
- Valores dos indicadores: Registros dos indicadores, permitindo acompanhar o desempenho das máquinas ao longo do tempo.

A sincronização acontece automaticamente sempre que a conexão com o banco de dados é detectada. Caso não haja conexão, os dados continuam sendo salvos localmente e serão enviados ao banco assim que possível.

Esse sistema de armazenamento híbrido oferece diversas vantagens:

- Funcionamento offline: O usuário pode continuar registrando e consultando dados mesmo sem acesso à internet.
- Segurança dos dados: Como os dados são sincronizados automaticamente, sempre há uma cópia segura no banco de dados ou no armazenamento local.
- Atualizações consistentes: Caso um dado seja cadastrado incorretamente, ele pode ser corrigido e a mudança será replicada para ambos os locais.

Dessa forma, o sistema garante que as informações estejam sempre disponíveis e atualizadas, independentemente da conexão com a internet.

A estrutura do código pode ser encontrada no Apêndice B.

3.3.10 Simulação

A simulação da aplicação foi realizada em três etapas, garantindo o correto funcionamento do sistema antes de sua utilização prática.

1. Teste das funções principais e do armazenamento da aplicação utilizando classes de teste no Visual Studio, verificando a integridade e o desempenho do código.
2. Simulação do registro e recuperação de dados no arquivo de armazenamento local, garantindo que as informações fossem salvas corretamente e pudessem ser acessadas posteriormente.
3. Teste real da aplicação, incluindo o cadastro, edição e exclusão de máquinas e indicadores, enquanto se monitorava o comportamento do armazenamento de dados para validar sua consistência e confiabilidade.

3.3.11 Testes práticos

Para avaliar as principais funcionalidades da aplicação, foram desenvolvidas funções de teste específicas.

No total, foram criadas quatro funções para validar o correto funcionamento do sistema:

1. `TesteCadastroMaquina`: Testa o cadastro de uma nova máquina.
2. `TesteListarMaquina`: Testa a listagem das máquinas cadastradas.
3. `TesteEditarMaquina`: Testa a edição de uma máquina já existente.
4. `TesteDeletarMaquina`: Testa a remoção de uma máquina do sistema.

TesteCadastroMaquina: O código implementado para esse teste é apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Teste de cadastro de máquina

```
[TestMethod]
0 | 0 referências
public void TesteCadastroMaquina()
{
    var listIndicators = new List<MachineIndicator>
    {
        new()
        {
            Name = "Indicador 1",
            Unit = "Unidade",
            Type = Tipo.Ambiental,
        },
        new()
        {
            Name = "Indicador 2",
            Unit = "Unidade",
            Type = Tipo.Social,
        }
    };

    var machine = new Machine
    {
        Name = "Teste de cadastro maquina",
        MachineIndicators = listIndicators,
        IsEnabled = true
    };

    var context = new MachineContext(libraryContext.Configuration);

    var dbResult = context.SaveMachine(machine);
    var localResult = LocalStorage.SaveMachine(machine);

    Assert.IsTrue(dbResult && localResult);
}
```

Fonte: Própria.

A função ilustrada na Figura 18 cria dois indicadores em uma lista, em seguida, gera uma nova máquina associando os indicadores criados e armazena esses dados tanto no banco de dados quanto no arquivo local.

TesteListarMaquina: O código desenvolvido para esse teste está na Figura 19.

Figura 19 – Teste de listagem de máquinas

```
[TestMethod]
0 | 0 referências
public void TesteListarMaquina()
{
    var context = new MachineContext(libraryContext.Configuration);

    var dbMachines = context.GetMachines();
    var localMachines = LocalStorage.GetMachines();

    var dbResult = dbMachines.Count > 0;
    var localResult = localMachines.Count > 0;

    Assert.IsTrue(dbResult && localResult);
}
```

Fonte: Própria.

A função exibida na Figura 19 busca as máquinas registradas no banco de dados e no arquivo local. O objetivo é verificar se há registros disponíveis, garantindo que os cadastros tenham sido armazenados corretamente.

TesteEditarMaquina: O código correspondente a esse teste está na Figura 20.

Figura 20 – Teste de edição de máquina

```
[TestMethod]
0 | 0 referências
public void TesteEditarMaquina()
{
    var context = new MachineContext(libraryContext.Configuration);

    var machine = context.GetMachines().FirstOrDefault();

    machine!.Name = "Teste de edição maquina";
    machine!.IsEnabled = false;

    var dbResult = context.UpdateMachine(machine);
    var localResult = LocalStorage.UpdateMachine(machine);

    Assert.IsTrue(dbResult && localResult);
}
```

Fonte: Própria.

A função representada na Figura 20 recupera uma máquina previamente cadastrada no banco de dados, modifica seu nome e status de ativação e, por fim, salva as alterações.

TesteDeletarMaquina: O código desse teste está na Figura 21.

Figura 21 – Teste de remoção de máquina

```
[TestMethod]
0 | 0 referências
public void TesteDeletarMaquina()
{
    var context = new MachineContext(LibraryContext.Configuration);

    var machine = context.GetMachines().FirstOrDefault();

    var dbResult = context.DeleteMachine(machine!);
    var localResult = LocalStorage.DeleteMachine(machine!);

    Assert.IsTrue(dbResult && localResult);
}
```

Fonte: Própria.

Por fim, a função apresentada na Figura 21 remove do banco de dados a primeira máquina encontrada, garantindo que o processo de deleção funcione corretamente.

3.3.12 Resultados das simulações

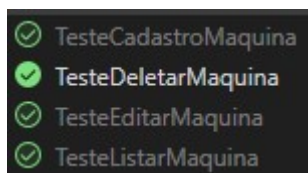
As simulações realizadas foram focadas em testar as principais funcionalidades da aplicação, especificamente nas operações de cadastro, listagem, edição e exclusão de máquinas. Através das funções de teste implementadas, foi possível validar o comportamento do sistema e garantir que as operações estivessem sendo realizadas corretamente, tanto no banco de dados quanto no armazenamento local.

A seguir, são apresentados os resultados de cada função de teste:

- **TesteCadastroMaquina:** Durante o teste de cadastro, foi verificado que a criação de novas máquinas funcionou corretamente. A função `TesteCadastroMaquina` registrou duas novas máquinas no banco de dados e no arquivo de armazenamento local. Após o cadastro, as máquinas estavam disponíveis para visualização e operações subsequentes.
- **TesteListarMaquina:** O teste de listagem, realizado pela função `TesteListarMaquina`, retornou com sucesso todas as máquinas já cadastradas no sistema. O sistema exibiu corretamente as máquinas tanto no banco de dados quanto no arquivo local. Não foi identificada falha ao tentar listar as máquinas previamente cadastradas.
- **TesteEditarMaquina:** A função `TesteEditarMaquina` validou com sucesso a edição de uma máquina existente. Após a execução do teste, a máquina teve seu nome e status alterados, e as modificações foram refletidas corretamente tanto no banco de dados quanto no arquivo local. A edição foi realizada sem problemas, e as alterações foram salvas de maneira eficiente.

- **TesteDeletarMaquina:** O teste de exclusão, conduzido pela função `TesteDeletarMaquina`, confirmou que a exclusão de uma máquina foi realizada de forma eficiente. A função deletou a primeira máquina do banco de dados e do arquivo de armazenamento local, e o sistema se comportou como esperado ao garantir que a máquina removida não estivesse mais disponível para operações futuras.

Figura 22 – Teste de editar



Fonte: Própria.

Conforme a Figura 22, todos os testes foram executados com sucesso (Apêndice C).

Em resumo, as simulações e testes realizados garantiram que as funcionalidades principais da aplicação estão operando corretamente. A criação, listagem, edição e exclusão de máquinas foram realizadas com sucesso e sem falhas, e a sincronização entre o banco de dados e o armazenamento local foi eficiente e sem inconsistências.

Testes para os indicadores e valores de indicadores não foram considerados necessários, pois estes seguem o mesmo sistema utilizado pelas máquinas. Logo, os testes realizados para as máquinas também garantem que os indicadores e seus valores serão processados de forma semelhante e sem problemas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através de uma revisão bibliográfica sucinta, pôde-se verificar que existem poucas pesquisas voltadas para a área da manufatura sustentável aplicadas em equipamentos mais antigos. Nesse contexto, o desenvolvimento deste TCC se mostra relevante, pois oferece um aplicativo que pode auxiliar tanto operadores quanto estudiosos do processo de torneamento, na avaliação de indicadores de sustentabilidade relacionados a esse tipo de fabricação. Para isso, foram escolhidos indicadores que abrangem os três pilares da sustentabilidade. Os indicadores ambientais, como consumo de energia, gestão de resíduos e vida útil da ferramenta, são fundamentais para reduzir impactos ecológicos e otimizar recursos. Já os indicadores sociais, incluindo segurança, condições de trabalho e treinamento, são essenciais para garantir um ambiente produtivo e seguro para os operadores. Por fim, os indicadores econômicos, como custo de ferramentas, tempo de fabricação e produtividade, permitem melhorar a eficiência sem elevar os custos operacionais. Esses indicadores permitem uma abordagem equilibrada, onde é possível otimizar o processo de usinagem de tornos mecânicos, ao mesmo tempo em que se considera o impacto ambiental e as necessidades de bem-estar dos trabalhadores. Além disso, a criação de uma aplicação voltada para a manufatura sustentável pode contribuir com futuras pesquisas na área, ao mesmo tempo que atende a uma demanda crescente de 'clientes' mais exigentes quanto à origem das peças que utilizam, considerando aspectos de sustentabilidade.

4.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão para futuros trabalhos, propõe-se a implementação de um sistema de monitoramento embarcado para o torno, bem como o desenvolvimento de módulos adicionais para outros tipos de equipamentos, como fresadoras e máquinas CNC e também a criação de um módulo para telefone celular, onde fica integrado com o sistema para computadores.

REFERÊNCIAS

- AWARI. Gestão de projetos de sustentabilidade: Como impulsionar a inovação e o desenvolvimento sustentável. Awari, 2023. Disponível em: <https://awari.com.br/gestao-de-projetos-de-sustentabilidade-como-impulsionar-a-inovacao-e-o-2Desenvolvimento-sustentavel/>. 13
- BELLEN, H. M. van. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. Editora FGV, 2006. 15
- CHUA, C. K.; LEONG, K. F.; LIM, C. S. Rapid prototyping: Principles and applications. *World Scientific*, 2010. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=4OYcyiDUpsQC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Chua,+C.K.,+Leong,+K.F.+%26+Lim,+C.S.,+Rapid+Prototyping:+Principles+and+Applications&ots=yROJJrCKGH&sig=IDnXHm05fZ5AmXww-_jtCNR_4hQ#v=onepage&q&f=false. 18
- GUIARRARA, P. Eco-92. Brasil Escola, 2022. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/eco-92.htm>. 11
- IBM. O que é a manufatura verde? IBM, 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/green-manufacturing>. 13
- KENNEDY, F. Quais são os tipos de brocas e suas funcionalidades? Ferramentas Kennedy, 2021. Disponível em: <https://www.ferramentaskennedy.com.br/blog/quais-sao-os-tipos-de-brocas-e-suas-funcionalidades#:~:text=Um%20dos%20acess%C3%B3rios%20indispens%C3%A1veis%20no,%C3%A9%20necess%C3%A1rio%20entender%20suas%20aplica%C3%A7%C3%B5es>. 14
- LEARN, M. Programação funcional versus programação imperativa (linq to xml). Microsoft, 2023. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/standard/linq/functional-vs-imperative-programming>. 20
- LEARN, M. Visão geral do clr (common language runtime). Microsoft, 2023. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/standard/clr>. 20
- MAQUINAS, R. Máquina retificadora de superfície - como funciona? RML Maquinas, 2020. Disponível em: <https://www.rmlmaquinas.com.br/usinagem-e-maquinas-operatrizes/machina-retificadora-de-superficie-como-funciona#:~:text=%C3%89%20um%20processo%20de%20usinagem,a%20uma%20matriz%20de%20cimenta%C3%A7%C3%A3o>. 14
- MB, G. Manufatura sustentável: por que é fundamental para a produção hoje? Grupo MB, 2024. Disponível em: <https://grupomb.ind.br/manufatura-sustentavel/>. 13
- MICROSOFT. Colaboração no código. Microsoft, 2022. Disponível em: <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/vs/features/collaborate/>. 22
- MICROSOFT. Visual studio 2022. Microsoft, 2022. Disponível em: <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/#vs-section>. 22

QUÍMICA, H. Qual a função do fluido dielétrico no processo de eletroerosão. Homy Química, 2023. Disponível em: <https://blog.homyquimica.com.br/qual-a-funcao-do-fluido-dieletrico-no-processo-de-eletroerosao/#:~:text=A%20eletroeros%C3%A3o%20%C3%A9%20um%20processo,uma%20fonte%20de%20energia%20el%C3%A9trica>. 14

RIZZO, G. V.; BATOCCHIO, A. **Manufatura sustentável: Estudo e Análise da Adopção Articulada das Técnicas de Produção Mais Limpa e Produção Enxuta**. 3rd International Workshop Advances in Cleaner Production, 2011. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5b/2/rizzo_gv%20-%20paper%20-%205b2.pdf. 11

SOUZA, E. Explorando a revolução dos tornos: Da usinagem mecânica à precisão do cnc. 2024. Disponível em: <https://alfatools.com.br/blog/torno-cnc-e-mecanico-uma-jornada-completa>. 11

TOTVS. O que é manufatura aditiva, tecnologias, vantagens e muito mais! TOTVS, 2022. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/manufatura-aditiva/#:~:text=Manufatura%20aditiva%20e%20manufatura%20subtrativa,para%20criar%20o%20produto%20final>. 14

UNIFOR. Além do lucro: a sustentabilidade como diferencial competitivo. Unifor, 2023. Disponível em: <https://unifor.br/web/empreender/sustentabilidade-como-diferencial-competitivo#:~:text=Empresas%20comprometidas%20com%20a%20sustentabilidade,trabalhar%20para%20uma%20empresa%20consciente>. 13

WOLF. Fresamento: como funciona esse processo de usinagem e quais as aplicações. WOLF, 2022. Disponível em: <https://wolfbrasil.com.br/fresamento-melhores-praticas/>. 14

ZHOU, Y.; CAO, Y. G.; PERZYLO, A. Towards digital sustainability reporting: An ontology for mapping of indicators in gri and esrs. *Studies on the semantic web*, IOS Press, 2024. 16

APÊNDICES

APÊNDICE A – EXEMPLO DE ARQUIVO LOCALSTORAGE

```

{
  "Machines": [
    {
      "Id": 1,
      "Name": "Torno mec\u00E3nico ABB",
      "MachineIndicators": [
        {
          "Id": 1,
          "Name": "Efici\u00Eancia Energ\u00E9tica",
          "Unit": "%",
          "Type": 0,
          "IsEnabled": true,
          "Deleted": false,
          "Changing": {},
          "Changed": {},
          "ThrownExceptions": {}
        }
      ],
      "IsEnabled": true,
      "Deleted": false,
      "Changing": {},
      "Changed": {},
      "ThrownExceptions": {}
    }
  ],
  "MachineIndicator": [
    {
      "Id": 1,
      "Name": "Efici\u00Eancia Energ\u00E9tica",
      "Unit": "%",
      "Type": 0,
      "IsEnabled": true,
      "Deleted": false,
      "Changing": {},
      "Changed": {},
      "ThrownExceptions": {}
    }
  ],
  "MachineIndicatorValues": [
    {
      "Id": 1,
      "MachineId": 1,
      "MachineIndicatorId": 1,
      "Value": 59,
      "Date": "2024-12-05T15:17:57.4434445-03:00",
      "IsEnabled": true,
      "Deleted": false,
      "Changing": {},
      "Changed": {},
      "ThrownExceptions": {}
    }
  ],
  "MachineIndicator": [
    {
      "Id": 2,
      "MachineId": 1,
      "MachineIndicatorId": 1,
      "Value": 29,
      "Date": "2024-12-08T15:17:57.4437068-03:00",
      "IsEnabled": true,
      "Deleted": false,
      "Changing": {},
      "Changed": {},
      "ThrownExceptions": {}
    }
  ],
  "MachineIndicator": [
    {
      "Id": 3,
      "MachineId": 1,
      "MachineIndicatorId": 1,
      "Value": 30,
      "Date": "2024-12-09T15:17:57.4437182-03:00",
      "IsEnabled": true,
      "Deleted": false,
      "Changing": {},
      "Changed": {},
      "ThrownExceptions": {}
    }
  ]
}

```

APÊNDICE B – ESTRUTURA DE DEPENDÊNCIA DO CÓDIGO



APÊNDICE C – RESULTADO DA MÁQUINA APÓS TESTES

Figura 23 – Arquivo Local

```
{
  "Machines": [
    {
      "Id": "c45670a0-c9e8-40f0-9cee-ab8d02635f83",
      "Name": "Teste de edi\u00E7\u00E3o maquina",
      "MachineIndicators": [
        {
          "Id": "0641f2a0-ed69-4a94-bc7b-b24978955f72",
          "Name": "Indicador 1",
          "Unit": "Unidade",
          "Type": 0,
          "IsEnabled": true,
          "Deleted": false,
          "TimeStamp": "2025-02-11T15:57:17.7457955-03:00",
          "Changing": {},
          "Changed": {},
          "ThrownExceptions": {}
        },
        {
          "Id": "a411ea04-2284-49dc-a0fa-8c3c1af85e5c",
          "Name": "Indicador 2",
          "Unit": "Unidade",
          "Type": 1,
          "IsEnabled": true,
          "Deleted": false,
          "TimeStamp": "2025-02-11T15:57:17.7476336-03:00",
          "Changing": {},
          "Changed": {},
          "ThrownExceptions": {}
        }
      ],
      "IsEnabled": false,
      "Deleted": true,
      "TimeStamp": "2025-02-11T15:57:17.747",
      "Changing": {},
      "Changed": {},
      "ThrownExceptions": {}
    }
  ],
  "MachineIndicator": [],
  "MachineIndicatorValues": []
}
```

Figura 24 – Banco de dados

Id	Name	MachineIndicators	IsEnabled	Deleted	TimeStamp
c45670a0-c9e8-40f0-9cee-ab8d02635f83	Teste de edição maquina	[{"Id": "0641f2a0-ed69...	0	1	2025-02-11 15:57:17.747

Figura 25 – Indicadores registrados na máquina de teste

```
[
{
  "Id": "0641f2a0-ed69-4a94-bc7b-b24978955f72",
  "Name": "Indicador 1",
  "Unit": "Unidade",
  "Type": 0,
  "IsEnabled": true,
  "Deleted": false,
  "TimeStamp": "2025-02-11T15:57:17.7457955-03:00",
  "Changing": {},
  "Changed": {},
  "ThrownExceptions": {}
},
{
  "Id": "a411ea04-2284-49dc-a0fa-8c3c1af85e5c",
  "Name": "Indicador 2",
  "Unit": "Unidade",
  "Type": 1,
  "IsEnabled": true,
  "Deleted": false,
  "TimeStamp": "2025-02-11T15:57:17.7476336-03:00",
  "Changing": {},
  "Changed": {},
  "ThrownExceptions": {}
}
]
```