



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO BAIXO TOCANTINS
FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL
GRADUAÇÃO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

BRUNO NASCIMENTO FERRAZ

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE TIGELAS DE
ALUMÍNIO EM UMA OFICINA METALÚRGICA DE PEQUENO PORTE NO
MUNICÍPIO DE ABAETETUBA-PA UTILIZANDO O SOFTWARE PROMODEL®**

Abaetetuba – PA

2025

BRUNO NASCIMENTO FERRAZ

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE TIGELAS DE
ALUMÍNIO EM UMA OFICINA METALÚRGICA DE PEQUENO PORTE NO
MUNICÍPIO DE ABAETETUBA-PA UTILIZANDO O SOFTWARE PROMODEL®

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Industrial da Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário do Baixo
Tocantins, como requisito final para a
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Produção, sob orientação
do Prof. Dr. Adalberto da Cruz Lima.

Abaetetuba – PA

2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)**

F368m Ferraz, Bruno Nascimento.
Modelagem e simulação do processo de produção de
tigelas de alumínio em uma oficina metalúrgica de pequeno
porte no município de Abaetetuba-Pa utilizando o software
promodel / Bruno Nascimento Ferraz. — 2024.
48 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Adalberto da Cruz Lima
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba,
Curso de Engenharia Industrial, Abaetetuba, 2024.

1. Oficina metalúrgica. 2. Processo produtivo. 3.
Simulação. 4. ProModel. 5. Otimização. I. Título.

CDD 620

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE TIGELAS DE
ALUMÍNIO EM UMA OFICINA METALÚRGICA DE PEQUENO PORTE NO
MUNICÍPIO DE ABAETETUBA-PA UTILIZANDO O SOFTWARE PROMODEL®

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção pelo corpo docente da Faculdade de Engenharia Industrial – FEI, da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Baixo Tocantins.

Abaetetuba, ____ de _____ 2025.

Prof. Dr. Adalberto da Cruz Lima
UFPA
Orientador

XXXX
XXXX
Examinador

XXXX
XXXX
Examinador

ERRATA

O autor deste Trabalho de Conclusão de Curso informa que, após a apresentação, foram identificados erros em alguns elementos do trabalho:

1. Quadro 3

- **Texto incorreto:** Wait N(5.46, 13.8) min
- **Texto correto:** Wait N(0.867, 0.172) min

2. Figuras 8 a 12

- As figuras apresentavam dados incorretos e foram substituídas pelas versões corrigidas correspondentes às Figuras 7 a 11, refletindo os valores ajustados na simulação.

3. Tabela 5

- Atualizada para refletir a produção correta de tigelas lixadas em cada cenário, de acordo com os ajustes realizados no Quadro 3 e nas figuras.

DEDICATÓRIA

À minha família e amigos, pelo incentivo e compreensão nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que foi tudo de que precisei ao longo desses anos.
Devo tudo a Ele, meu PAI, meu amigo e meu protetor.

Se fui capaz de ver mais longe é porque me apoiei em ombros de gigantes.

Isaac Newton

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo modelar e simular o processo de produção de tigelas alumínio em uma oficina metalúrgica de pequeno porte localizada no município de Abaetetuba-PA, utilizando o software ProModel® Student 2018. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso com abordagem aplicada, visando a identificação de gargalos produtivos, a análise do fluxo de operações e a proposição de melhorias operacionais. O estudo foi desenvolvido com base em dados coletados diretamente na oficina, por meio de observação sistemática e cronometragem das etapas do processo produtivo. Após a construção do modelo computacional, foram realizados cenários de simulação, incluindo a situação atual e quatro alternativas de melhoria, com alterações na quantidade de colaboradores, equipamentos e organização do layout. Os resultados demonstraram que a simulação é uma ferramenta eficaz para avaliar o desempenho do sistema produtivo, permitindo sugerir intervenções estratégicas que aumentam a capacidade produtiva, reduzem gargalos e melhoram a eficiência global da operação.

Palavras-chave: Oficina metalúrgica; Processo produtivo; Simulação; ProModel®; Otimização.

ABSTRACT

This Final Undergraduate Project aims to model and simulate the aluminum bowl production process in a small-scale metalworking workshop located in the municipality of Abaetetuba-PA, using the ProModel® Student 2018 software. The research is characterized as a case study with an applied approach, seeking to identify production bottlenecks, analyze the operation flow, and propose operational improvements. The study was developed based on data collected directly in the workshop through systematic observation and time measurement of the production process stages. After constructing the computational model, simulation scenarios were carried out, including the current situation and four improvement alternatives, with changes in the number of workers, equipment, and layout organization. The results showed that simulation is an effective tool for evaluating the performance of the production system, allowing the suggestion of strategic interventions that increase production capacity, reduce bottlenecks, and improve the overall efficiency of the operation.

Keywords: Metallurgical workshop; Production process; Simulation; ProModel®; Optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Simulação no ProModel	18
Figura 2 – Oficina metalúrgica de fundição de alumínio	22
Figura 3 – Sequência de passos para um projeto de simulação	23
Figura 4 – Fluxograma do processo de fabricação das tigelas.....	24
Figura 5 – Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM	25
Figura 6 – IDEF-SIM do processo de fabricação de tigelas	26
Figura 7 – Resultado simulação atual	33
Figura 8 – Resultado da simulação com 2 fornos	34
Figura 9 – Resultado da simulação com 2 moldadores	35
Figura 10 – Resultado da simulação com 3 fundidores	36
Figura 11 – Resultado da simulação com 2 colaboradores no lixamento	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estrutura operacional do ProModel.....	27
Quadro 2 – Chegada construída para a simulação.....	31
Quadro 3 – Processos para a simulação	31
Quadro 4 – Processos para o roteamento.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados coletados a partir da cronometragem do processo	28
Tabela 2 – Dados cronometrados com relação à lógica de movimento.....	29
Tabela 3 – Configuração dos locais no modelo de simulação	30
Tabela 4 – Entidades construídas para a simulação.....	30
Tabela 5 – Produção de tigelas lixadas em cada cenário simulado	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	JUSTIFICATIVA	14
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1	PESQUISA OPERACIONAL	15
4.2	SIMULAÇÃO	15
4.2.1	Simulação de eventos discretos	16
4.2.2	Vantagens e desvantagens da simulação computacional	17
4.3	MODELO	18
4.4	SOFTWARE PROMODEL	19
4.5	MAPEAMENTO DE PROCESSOS	19
4.6	VALIDAÇÃO DO MODELO	20
5	METODOLOGIA.....	20
6	ESTUDO DE CASO	21
6.1	OFICINA METALÚRGICA.....	21
6.2	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
6.2.1	Método de simulação adotado.....	22
6.2.2	Concepção	23
6.2.3	IDEF-SIM.....	24
6.2.4	Implementação	26
6.3	CENÁRIO ATUAL	33
6.3.1	Cenários Propostos	34
6.3.2	Primeiro cenário.....	34
6.3.3	Segundo cenário.....	35
6.3.4	Terceiro cenário	36
6.3.5	Quarto cenário.....	36
6.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	37
7	CONCLUSÃO.....	38
	REFERÊNCIAS.....	40
	SUGESTÃO DE TEMAS ALTERNATIVOS PARA A PESQUISA	43

APÊNDICES	44
APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	44
APÊNDICE B – COMENTÁRIOS SOBRE AS CORREÇÕES NOS QUADROS E TABELAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente influência da globalização e o avanço das tecnologias ligadas aos sistemas produtivos, observa-se um aumento significativo no número de empresas ingressando no mercado (FIGUEREDO et al., 2015). Esse crescimento intensifica a competitividade, incentivando as empresas a buscarem constantemente o aprimoramento de seus processos e produtos (CARARA, 2014).

Nesse contexto, um investimento relevante é a análise e compreensão cada vez mais profunda do processo produtivo. Compreender as nuances de cada etapa da produção é crucial para futuras melhorias e para evitar ou corrigir possíveis obstáculos (VIDA et al., 2014). Por meio dessas melhorias ou análises, é possível, por exemplo, reduzir desperdícios no processo, resultando em aumentos significativos na produtividade (ALMEIDA et al., 2015).

Contudo, as análises convencionais do processo podem não ser suficientes para otimizá-lo, resultando em lacunas na descrição dos sistemas. Nesse sentido, a simulação emerge como uma alternativa interessante, permitindo a previsão e o estudo de possíveis melhorias (GREASLEY, 2003).

A simulação demonstra excelente desempenho na avaliação de mudanças propostas em um sistema existente ou no projeto de um novo sistema. Um modelo bem elaborado pode fornecer estimativas de desempenho, como tempo de ciclo, utilização de recursos, dimensionamento de filas e tempos produtivos. Além disso, se dotada da capacidade de animação em uma tela de computador, a simulação pode apresentar uma representação visual, ilustrando o fluxo de peças, pessoas e outras entidades do sistema (BATEMAN et al., 2013).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto de simulação para a linha de produção de tigelas de alumínio em uma oficina metalúrgica de pequeno porte no município de Abaetetuba-PA, com capacidade de produção de cerca de 200 peças por mês. Este estudo visa analisar o fluxo produtivo vigente e propor melhorias com base em simulação computacional, empregando o software ProModel®, com o intuito de aprimorar a eficiência e a eficácia do processo fabril, além de reduzir desperdícios e alcançar maior eficácia no fluxo produtivo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Simular e otimizar o processo de produção de tigelas de alumínio, identificando gargalos e propondo melhorias com base em evidências reais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear o processo produtivo das tigelas de alumínio.
- Levantar dados operacionais reais por meio de observação e cronometragem.
- Construir um modelo computacional no software ProModel®.
- Simular o cenário atual e identificar possíveis pontos críticos e gargalos no processo.
- Comparar os resultados das simulações de diferentes cenários e propor ações práticas para otimizar a produção.

3 JUSTIFICATIVA

Diante do cenário econômico atual, no qual em média 25% das pequenas e médias empresas no Brasil fecham suas portas com apenas dois anos de atividade, devido, principalmente, a falta de planejamento e pouca capacitação em gestão (MOLLO, 2015). Melhorar os processos e a qualidade dos produtos e serviços se torna essencial para manter a competitividade (DESIDÉRIO, 2015).

A simulação oferece a capacidade de visualizar a operação de forma gráfica, permitindo considerar uma variedade de produtos e atividades. Em um único local de trabalho, várias demandas distintas podem surgir com diferentes tempos de processamento, tornando o cálculo do dimensionamento mais complexo ao utilizar outras técnicas matemáticas, como a teoria das filas. Além disso, os softwares de simulação possibilitam a visualização em tempo real da operação, incluindo as filas de espera e a ociosidade dos postos de trabalho (FALCÃO, 2017).

Outro ponto relevante é a contribuição da simulação para a formação de profissionais capacitados em gestão e otimização de processos. O trabalho de engenharia de produção é rico em conhecimentos diversos, sendo responsável por projetar, implantar e gerenciar sistemas integrados de produção, buscando a otimização de recursos, redução de custos e melhoria da qualidade dos produtos e serviços. A simulação se apresenta como uma ferramenta valiosa para complementar esse conhecimento, permitindo aos profissionais explorarem diferentes abordagens e avaliarem seu impacto antes da implementação (PONTES, 2024).

Em resumo, a simulação oferece uma abordagem sistemática e eficaz para melhorar os processos e a qualidade dos produtos e serviços, fundamentais para a sobrevivência e competitividade das empresas em um cenário econômico desafiador. Ao proporcionar análise detalhada, experimentação controlada e contribuir para a formação de profissionais capacitados, a simulação se destaca como uma ferramenta indispensável para enfrentar os desafios do mercado atual.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional (PO) é uma área do conhecimento que estuda, desenvolve e aplica métodos analíticos avançados com o objetivo de apoiar a tomada de decisões em diferentes contextos organizacionais e sociais. Por meio de técnicas de modelagem matemática e algoritmos computacionais eficientes, a PO possibilita ao decisor analisar diversos aspectos e situações de problemas complexos, promovendo decisões mais precisas e contribuindo para a construção de sistemas produtivos e eficazes (SOBRAPO, s.d).

Nesse contexto, a PO pode ser aplicada por meio de duas abordagens principais: a qualitativa e a quantitativa. A abordagem qualitativa se baseia na experiência do responsável pela tomada de decisão, sendo geralmente utilizada em problemas mais simples. Já a abordagem quantitativa analisa problemas complexos sob uma ótica científica, utilizando métodos matemáticos e estatísticos para modelar e resolver questões envolvendo múltiplas variáveis e restrições (REIS, 2020).

A Pesquisa Operacional é aplicável em vários setores da economia, como indústria, comércio, serviços, saúde, educação e transporte. Sua importância reside na capacidade de oferecer soluções efetivas e racionais para problemas reais, que envolvem múltiplos critérios, restrições e alternativas. Além disso, a PO possibilita a análise de diferentes cenários e a avaliação dos impactos das decisões antes de sua implementação (BREMENKAMP, 2023).

4.2 SIMULAÇÃO

A simulação é definida como a representação de um sistema real por meio de um software, com o objetivo de avaliar seu desempenho e implementar melhorias. Esse processo segue uma metodologia que envolve a formulação de hipóteses, a preparação e execução de experimentos, a realização de testes e a validação dos resultados obtidos (HARRELL et al., 2000).

A simulação utiliza técnicas matemáticas processadas por softwares computacionais que permitem imitar processos reais. Dessa forma, profissionais podem realizar experimentos computacionais que reproduzem o funcionamento de sistemas complexos de forma controlada, segura e econômica (FREITAS FILHO, 2008).

Na área de manufatura e produção industrial, a simulação apresenta aplicações bastante amplas, abrangendo logística, controle de estoque, linhas de montagem, funcionamento robótico, programação da produção, entre outros aspectos. Esse caráter versátil consolidou a simulação como uma das principais ferramentas de apoio à tomada de decisão em ambientes industriais (MEDINA; CHWIF, 2010).

Nas últimas décadas, a técnica evoluiu consideravelmente, adquirindo caráter científico por meio da difusão em congressos e periódicos especializados. Esse avanço resultou no desenvolvimento de ambientes de simulação discreta, com destaque para softwares como Arena®, ProModel® e Simul8®, que incorporam linguagens de programação ao ambiente gráfico e possibilitam análises detalhadas, avaliação de comportamentos dinâmicos e estocásticos, e descrição visual de regras operacionais (RANGEL et al., 2012).

No contexto brasileiro, estudos aplicados também demonstram a importância dessa abordagem. A aplicação da simulação em processos de manufatura auxilia na avaliação de operações de montagem e movimentação de materiais, na identificação de gargalos e na definição de procedimentos operacionais, permitindo decisões mais rápidas, precisas e eficientes (BRIGHENTI, 2006).

4.2.1 Simulação de eventos discretos

Em uma simulação de eventos discretos, o objetivo é avaliar modelos nos quais variáveis mudam instantaneamente em diferentes momentos no tempo, em contraposição aos modelos contínuos, nos quais as variáveis mudam de forma contínua ao longo do tempo (FISHMAN, 2013).

Este modelo geralmente assume a forma de um conjunto de suposições relacionadas à operação de um sistema, expressas através de relações matemáticas, lógicas e simbólicas entre as entidades ou objetos de interesse. Uma vez desenvolvido e validado, o modelo pode ser utilizado para investigar uma ampla gama de questões do tipo “o que acontece se”, relacionadas ao sistema do mundo real. Além disso, tanto o modelo quanto a simulação podem ser usados como ferramentas de

análise para prever os efeitos de mudanças em sistemas existentes, bem como ferramentas de design para antecipar o desempenho de novos sistemas em diferentes circunstâncias (BANKS et al., 2010).

Quando as relações que constituem o modelo são simples, é possível utilizar métodos matemáticos, como álgebra, cálculo ou teoria da probabilidade, para obter informações precisas sobre as questões investigadas, o que é conhecido como solução analítica. No entanto, a maioria dos sistemas do mundo real é muito complexa para ser avaliada analiticamente, tornando necessária a abordagem da simulação (LAW; KELTON, 2007). Nesses casos, a simulação numérica computacional é empregada para reproduzir o comportamento do sistema ao longo do tempo, de modo semelhante à observação de um sistema real, cujos dados gerados servem para estimar as medidas de desempenho do sistema (BANKS et al., 2010).

4.2.2 Vantagens e desvantagens da simulação computacional

A simulação computacional tem apresentado constante evolução, sobretudo em função dos avanços nas áreas de hardware e software (SILVA, 2005). As principais vantagens relacionadas ao uso da simulação incluem (BELGE, 2024):

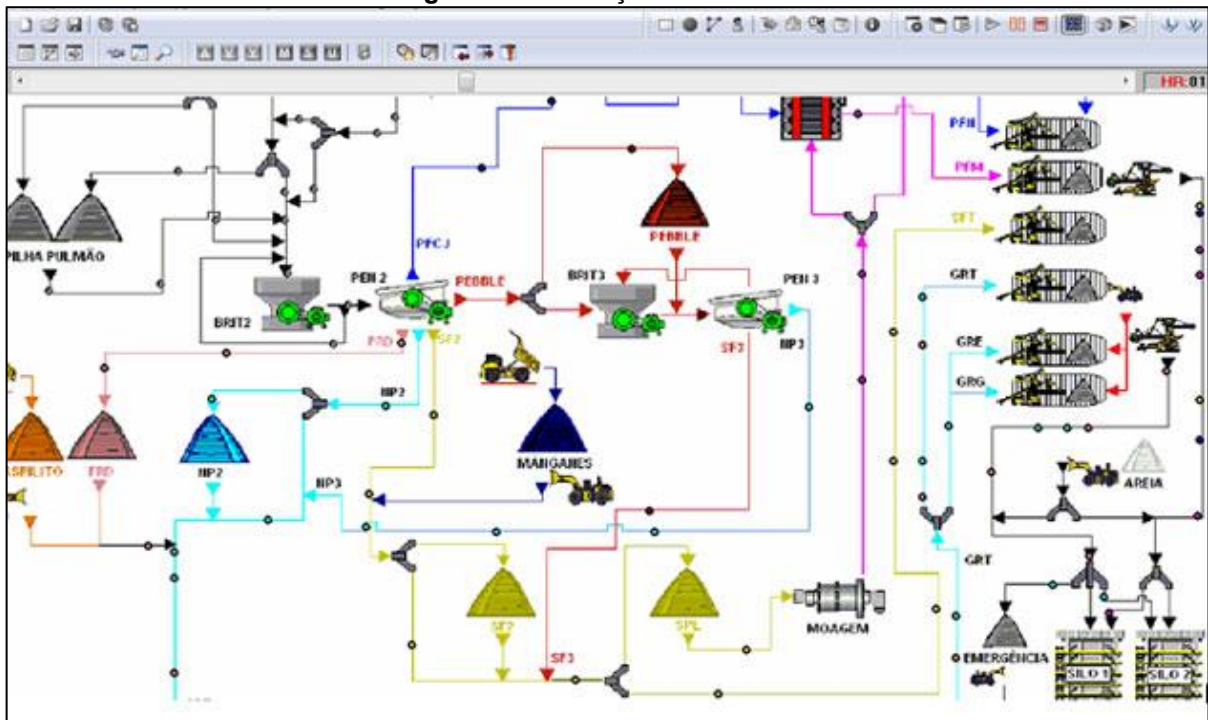
- Detecção de gargalos na cadeia produtiva
- Aumento da produtividade da planta
- Identificação das melhores práticas operacionais
- Racionalização de investimentos em análise de novos equipamentos e recursos humanos
- Pesquisas sobre melhorias em máquinas e aumento de capacidade

No entanto, é importante ressaltar que a simulação, assim como qualquer ferramenta de gestão, possui algumas limitações. As principais desvantagens na utilização da simulação computacional incluem (LAW; KELTON, 1991):

- A simulação depende da validade do modelo desenvolvido. Se o modelo não representar de forma precisa o sistema ou se os dados de entrada não forem confiáveis, as respostas para a solução do problema podem não ser adequadas.
- A técnica da simulação não é uma técnica de otimização em si, pois permite apenas o teste de alternativas fornecidas pelo usuário.
- Estudos de simulação podem ser demorados e exigir um alto consumo de recursos.

A Figura 1 representa um diagrama de fluxo complexo, ilustrando a aplicação da Pesquisa Operacional na otimização de sistemas industriais.

Figura 1 – Simulação no ProModel



Fonte: Belge (2024).

A Figura 1 exemplifica de maneira eficiente a aplicação da simulação computacional na melhoria de sistemas complexos, destacando sua competência em aprimorar a eficiência e maximizar a utilização de recursos em contextos industriais (BELGE, 2024).

4.3 MODELO

Modelos são definidos como representações ou concepções simplificadas da realidade, nas quais é crucial determinar claramente os atributos ou propriedades a serem analisados ou representados. Embora possam diferir significativamente da aparência real do sistema, eles capturam os elementos essenciais dessa realidade (COCIAN, 2018).

A representação de um modelo pode ocorrer por meio de construções físicas em escala, equações matemáticas ou computação, sempre respeitando as regras e restrições impostas pelas condições reais do sistema (HILLIER; LIEBERMAN, 2001).

Durante o processo de construção de um modelo (modelagem), estabelece-se uma interatividade que oferece vantagens como facilidade de modificação, rapidez na

obtenção de resultados e a capacidade de visualizar, por meio de animação, como o processo está sendo conduzido (PEREIRA, 2000).

Apesar da utilidade incontestável desses recursos como ferramentas analíticas, é essencial ter consciência de suas restrições inerentes e da suscetibilidade a incertezas. Como representam versões simplificadas da realidade, podem apresentar certas imprecisões ou erros nas projeções e conclusões (SOESCOLA, 2023a).

4.4 SOFTWARE PROMODEL

O ProModel é reconhecido como um dos softwares de simulação de eventos discretos mais avançados, facilitando tomadas de decisão rápidas e eficazes. É amplamente empregado no planejamento, design e aprimoramento de processos de manufatura, logística, serviços e outros sistemas estratégicos, táticos ou operacionais. Ao reproduzir a complexidade dos processos reais, incorporando variabilidade e interdependências, o software permite análises detalhadas e otimizações significativas, melhorando indicadores-chave de desempenho (BELGE, s.d.).

Trata-se de uma ferramenta poderosa para modelar uma variedade de sistemas de manufatura, desde pequenas oficinas até ambientes de produção em larga escala e sistemas flexíveis. Além disso, oferece recursos de mesclagem de modelos, permitindo que diferentes pessoas trabalhem em partes distintas do modelo, posteriormente integradas em um único modelo final (BAIRD; LEAVY, 1994).

O software é aplicável em diversos contextos, incluindo planejamento e melhoria de processos. Sua eficiência na análise de dados e na apresentação de resultados por meio de gráficos, tabelas e interface intuitiva o torna acessível mesmo para usuários sem conhecimento específico em linguagem de programação (BATEMAN et al., 2013).

4.5 MAPEAMENTO DE PROCESSOS

O mapeamento de processos é uma técnica essencial para descrever, desenhar, registrar, analisar, monitorar e controlar os processos organizacionais, com o objetivo de elucidar o funcionamento da organização e aprimorar sua eficiência. Essa abordagem permite uma documentação abrangente dos elementos que compõem um processo, possibilitando a identificação e correção de problemas, tornando-se uma ferramenta crucial para eliminar atividades que não agregam valor (MELLO, 2021).

A técnica tem aplicação variada, sendo comumente utilizada em análises, melhorias, treinamentos ou integrações de processos. É especialmente útil em cenários que exigem comunicação de processos complexos, resolução de problemas recorrentes ou coordenação de responsabilidades entre os membros da equipe (ASANA, s.d.).

Além disso, o mapeamento de processos auxilia a organização a identificar pontos fortes e fracos, bem como áreas que demandam melhorias, como gargalos, tarefas de baixo valor agregado, retrabalhos e excesso de documentação (CAMPOS; LIMA, 2012). Quando aplicado de forma estruturada, o mapeamento de processos permite que a organização direcione suas atividades aos clientes, assegurando qualidade, produtividade e maior agilidade na tomada de decisões, contribuindo para transformações que tornam a organização mais competitiva e eficiente (ALBUQUERQUE; ROCHA, 2007).

4.6 VALIDAÇÃO DO MODELO

A validação desempenha um papel crucial em diversas áreas do conhecimento, desde a ciência até a tecnologia, envolvendo a verificação de conformidade com critérios ou requisitos estabelecidos (SOESCOLA, 2023b).

Para validar tanto o modelo conceitual quanto o computacional, é essencial assegurar que ambos se comportem de acordo com o mundo real sob condições similares. Entre os critérios observados estão a relevância e confiabilidade dos dados coletados, a consistência das informações geradas pelo modelo e a semelhança dos resultados com aqueles apresentados pelo sistema real (COUTINHO et al., 2019).

No caso do modelo proposto, ele foi submetido à avaliação dos funcionários encarregados da fiscalização do sistema, confirmando que o processo mapeado reflete a realidade. Dessa forma, a validade do modelo foi estabelecida (MENDES et al., 2021).

5 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, de natureza aplicada e abordagem qualitativa. Foram empregadas duas estratégias metodológicas complementares: a pesquisa bibliográfica, utilizada para embasar teoricamente o trabalho, e a pesquisa de campo, realizada por meio de observação direta e cronometragem das etapas do processo produtivo em uma oficina metalúrgica de pequeno porte.

Diante da necessidade de compreender e aprimorar o sistema produtivo observado, a condução da pesquisa baseou-se em uma abordagem metodológica estruturada, com o objetivo de analisar e propor melhorias no processo de fabricação de tigelas em uma oficina localizada no município de Abaetetuba-PA. O foco central da metodologia adotada foi o aumento da produtividade, por meio da aplicação de simulação computacional com o uso do software ProModel®.

A primeira etapa foi diretamente fundamentada em abordagens metodológicas estruturadas para simulação, representando as propostas de autores como (MONTEVECHI et al., 2007) e (PEREIRA, 2000). A segunda etapa corresponde ao estudo de caso, no qual os processos produtivos atuais da empresa foram analisados por meio da simulação, com o intuito de identificar intervenções capazes de eliminar ou reduzir as causas dos problemas observados. Por fim, foram desenvolvidos planos de ação com o objetivo de gerar melhorias tangíveis para a empresa e seus colaboradores.

6 ESTUDO DE CASO

6.1 OFICINA METALÚRGICA

A pesquisa ocorreu em uma oficina metalúrgica de pequeno porte de fundição de alumínio no município de Abaetetuba-PA, que atua há mais de 30 anos no mercado metalúrgico. A oficina conta atualmente com três colaboradores que atuam diretamente no processo produtivo. A obtenção dos dados foi realizada por meio de observação direta em campo, acompanhando o funcionamento da oficina durante o mês de junho de 2025. Foram utilizados registros em vídeo, fotografias e anotações manuais, além da aplicação de cronometradores em tempo real para medir a duração das etapas do processo produtivo das tigelas de alumínio.

Não foram realizadas entrevistas formais ou questionários com os colaboradores da empresa, tendo em vista que as informações necessárias para a modelagem foram obtidas exclusivamente por meio da observação das atividades e medição dos tempos. Esse método foi suficiente para levantar dados sobre os recursos disponíveis, os tempos médios de operação e os principais gargalos produtivos. Com base nesses dados, elaborou-se o modelo conceitual, posteriormente implementado no ambiente computacional do software ProModel®.

A Figura 2 oferece uma visão abrangente do ambiente de uma oficina de fundição, destacando o processo de produção de tigelas de alumínio.

Figura 2 – Oficina metalúrgica de fundição de alumínio



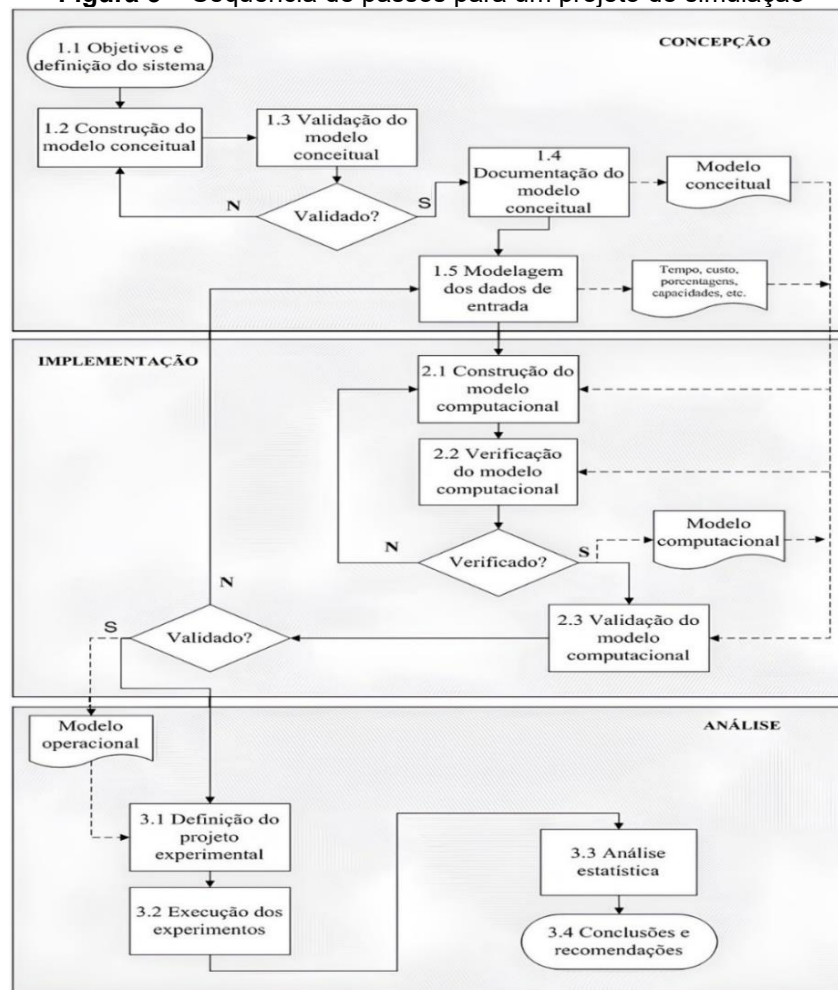
Fonte: Autor (2025).

Analisando a Figura 2, podemos observar uma representação detalhada das instalações e dos equipamentos utilizados no processamento e fabricação de tigelas de alumínio fundido, com destaque para os principais setores e fluxos de trabalho da oficina.

6.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.2.1 Método de simulação adotado

Este projeto de simulação segue uma metodologia estruturada em três fases fundamentais: criação (modelo conceitual), execução (modelo computacional) e avaliação (modelo operacional), conforme proposto por (MONTEVECHI et al., 2007). O fluxograma da Figura 3 mostra o processo de desenvolvimento de sistemas, destacando cada etapa e o fluxo de trabalho associado.

Figura 3 – Sequência de passos para um projeto de simulação

Fonte: Montevechi et al. (2007).

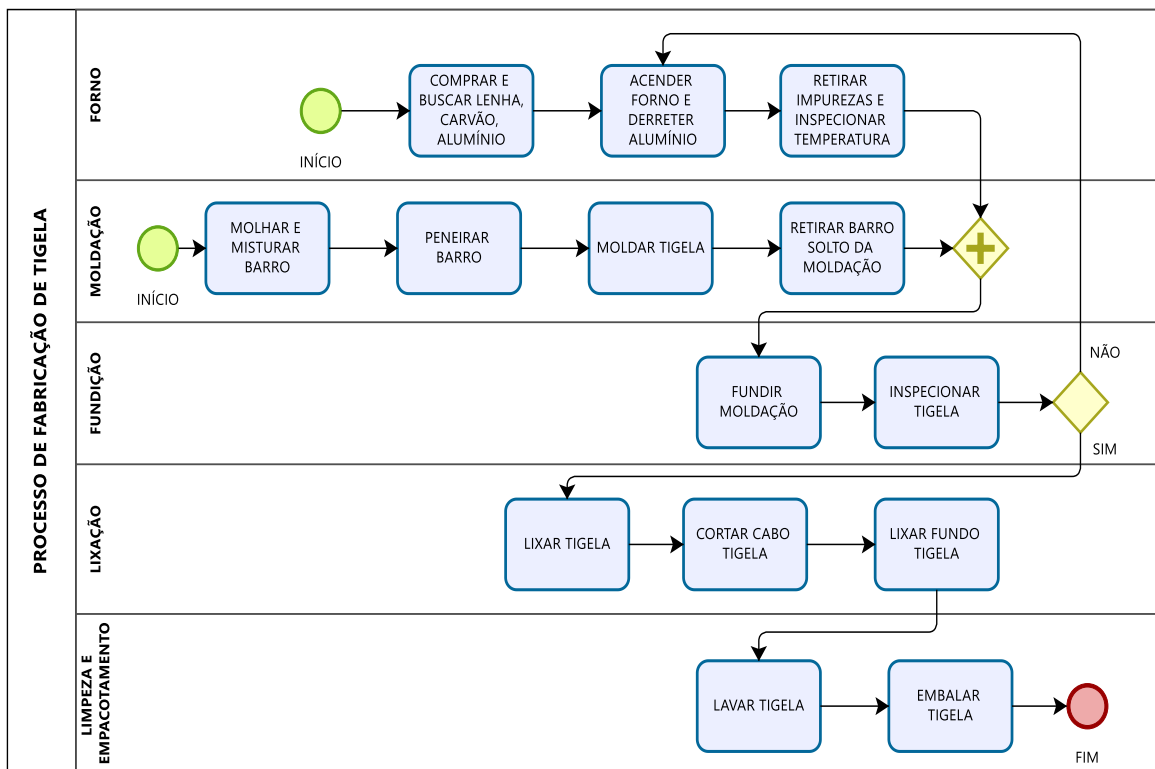
Ao examinar a Figura 3, observamos que cada fase do processo é interligada por setas, demonstrando a sequência das etapas. Um aspecto crucial do fluxograma é a presença de pontos de decisão, como "Modelo validado?", que permitem o retorno a uma fase anterior se a condição especificada não for cumprida. Isso evidencia o caráter iterativo inerente ao desenvolvimento de sistemas.

6.2.2 Conceção

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram analisados na oficina metalúrgica de fundição de alumínio os processos de produção de tigelas nas áreas do forno, peneiração, moldação, fundição, lixamento e lavagem. A tomada de decisão ocorreu devido às tigelas serem consideradas uma das principais peças fabricadas na oficina, com capacidade de fabricação de cerca de 200 tigelas por mês.

A Figura 4 apresentam o processo de fabricação de tigelas modelado no Bizagi Modeler®.

Figura 4 – Fluxograma do processo de fabricação das tigelas



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software Bizagi Modeler (2025).














A Figura 4 mostra um diagrama feito no Bizagi Modeler que representa o processo de fabricação de tigelas. O processo consiste em cinco etapas principais: forno, moldação, fundição, lixamento e limpeza e empacotamento. Cada etapa tem um tempo estimado e um responsável definido.

6.2.3 IDEF-SIM

A técnica de mapeamento de processo IDEF-SIM (Integrated Definition Methods - Simulation), desenvolvida por Leal (2008), tem como objetivo facilitar o trabalho de modelagem durante a implementação e análise, reduzindo o tempo necessário para realizar o projeto. Ela visa integrar a linguagem do modelo conceitual à do modelo computacional por meio de símbolos que representam elementos de simulação. Esses símbolos são diretamente traduzidos para a programação de simulação em softwares, abrangendo componentes como entidades, locais, recursos, funções, controles de fluxo, regras lógicas e transporte (PEREIRA, 2000).

Na Figura 5, a técnica IDEF-SIM emprega uma simbologia clara e estruturada para representar os elementos fundamentais de sistemas.

Figura 5 – Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM

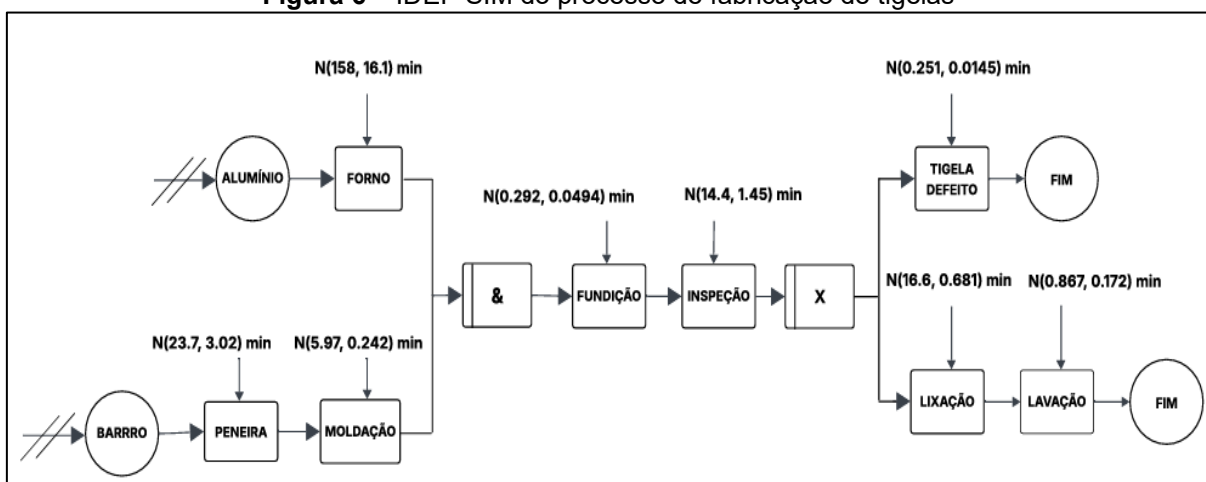
ELEMENTO	SÍMBOLO	TÉCNICA DE ORIGEM
Entidade		IDEF3
Funções		IDEFO
Fluxo da Entidade		IDEFO e IDEF3
Recursos		IDEFO
Controles		IDEFO
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 Regra E	IDEF3
	 Regra OU	
	 Regra E/OU	
Movimentação		FLUXOGRAMA
Informação Explicativa		IDEFO e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

Fonte: Leal et al. (2008).

A simbologia utilizada na Figura 5 pela técnica IDEF-SIM abrange quatro tipos de elementos distintos: entidades, atividades, fluxos e conectores. Entidades são utilizadas para representar objetos ou recursos presentes no sistema, atividades denotam as ações ou processos que ocorrem, fluxos indicam as trocas de informações ou materiais entre as entidades e atividades, e conectores estabelecem as relações lógicas ou causais entre os diversos elementos do sistema.

Entender os processos industriais é fundamental para otimizar a eficiência e assegurar a qualidade na produção. A Figura 6 ilustra o processo de fabricação de tigelas em uma oficina metalúrgica de fundição de alumínio, utilizando a técnica de mapeamento de processo IDEF-SIM. Esta técnica permite uma análise clara das etapas envolvidas, desde a fundição até o acabamento final das tigelas.

Figura 6 – IDEF-SIM do processo de fabricação de tigelas



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software Lucidchart® (2025).

O diagrama da Figura 6 detalha o processo de produção de tigelas, identificando as atividades, recursos e fluxos essenciais. Essa representação visual é fundamental para a compreensão precisa da operação industrial, fornecendo dados importantes para a otimização do fluxo de produção e a garantia da qualidade.

6.2.4 Implementação

Neste estudo, usamos o software de simulação ProModel, um simulador de eventos discretos da BELGE CONSULTORIA, para planejar, projetar e melhorar processos organizacionais. O software apresenta interface intuitiva e capacidade de reprodução de cenários com alta fidelidade.

Para a implementação do modelo computacional no ProModel, foi necessário estruturar seus principais elementos operacionais. O Quadro 1 apresenta de forma detalhada a configuração dos componentes fundamentais que compõem a base do sistema de simulação: locais, entidades, chegadas, processamento, recursos e redes de caminhos.

Quadro 1 – Estrutura operacional do ProModel

Locais	Os pontos fixos construídos no layout do processo são locais onde as entidades irão se mover durante a operação. É importante definir em cada local as suas quantidades e capacidades, além do tempo de parada e o tempo de setup. Também deve ser especificada a regra de enfileiramento de cada local.
Entidades	Os itens processados através do sistema são representados por ícones gráficos. É importante definir a velocidade de cada item.
Chegadas	Nesta etapa do processo, é importante definir o local e a quantidade de chegadas que irão ocorrer durante o processo, além do número de ocorrências e das frequências entre essas chegadas.
Processamento	Descreva as atividades realizadas e o trajeto das entidades em cada local. Deve ser especificado o fluxo do processo (para onde a entidade se dirige), bem como a duração da atividade e do deslocamento (lógica de movimento).
Recursos	Um recurso é um agente ou dispositivo que transporta as entidades durante a operação, movendo-as de um ponto a outro. Para que um recurso funcione, é preciso criar uma rede de rotas. Também é necessário especificar as características do recurso, como velocidade, tempo para coletar as entidades e detalhes do processo.
Redes de Caminhos	As redes de caminhos são caminhos que devem ser usados pelos recursos e entidades autotransportáveis que se deslocam no processo. Elas devem ser compostas por nós, que são vinculados aos locais já definidos.

Fonte: Bateman et al. (2013).

Com base nas informações do Quadro 1, observa-se que a estrutura operacional do ProModel contempla aspectos essenciais para uma modelagem realista. A definição clara de cada elemento permite a representação fiel do sistema produtivo da oficina, assegurando que as simulações reflitam as operações reais da fábrica com precisão adequada.

A Tabela 1 apresenta os tempos cronometrados para cada etapa do processo de fabricação das tigelas. Esses dados foram obtidos por meio de observações diretas realizadas na oficina metalúrgica, sendo essenciais para o desenvolvimento do modelo de simulação no software ProModel. Os tempos médios calculados serviram de base para as distribuições de probabilidade aplicadas nos processos simulados, permitindo maior fidelidade ao sistema real.

Tabela 1 – Dados coletados a partir da cronometragem do processo

CRONOMETRAGEM DO PROCESSO							
Processo	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7
Forno	02:33:23	02:46:14	02:54:18	02:07:42	02:35:29	03:07:00	02:25:37
Peneiração	00:23:54	00:23:06	00:24:34	00:25:44	00:28:44	00:24:27	00:18:53
Moldação	00:05:53	00:06:09	00:05:31	00:06:01	00:05:56	00:06:06	00:06:20
Fundição	00:00:22	00:00:21	00:00:18	00:00:19	00:00:16	00:00:15	00:00:17
Inspeção	00:15:07	00:13:40	00:14:25	00:16:10	00:14:45	00:12:25	00:11:27
Lixamento	00:16:02	00:16:17	00:16:05	00:15:38	00:17:12	00:17:16	00:17:36
Lavagem	00:00:55	00:00:41	00:00:43	00:00:39	00:00:47	00:01:02	00:00:52
peça defeito	00:00:15	00:00:14	00:00:17	00:00:16	00:00:15	00:00:15	00:00:15

CRONOMETRAGEM DO PROCESSO				
Processo	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10	Tempo Médio
Forno	02:38:27	02:22:41	02:46:18	02:35:56
Peneiração	00:26:21	00:18:19	00:22:55	00:23:57
Moldação	00:05:56	00:06:14	00:05:37	00:06:00
Fundição	00:00:12	00:00:20	00:00:15	00:00:17
Inspeção	00:14:17	00:15:12	00:16:13	00:14:14
Lixamento	00:15:38	00:16:51	00:17:18	00:16:19
Lavagem	00:00:49	00:00:57	00:01:15	00:00:53
peça defeito	00:00:15	00:00:15	00:00:14	00:00:15

Fonte: Autor (2025).

A Tabela 1 apresenta os tempos definidos para as etapas de forno, peneiração, moldação, fundição, inspeção, lixamento, lavagem e peças com defeito, medidos em horas durante os processos de fabricação das tigelas. Esses tempos são importantes para planejar a produção e garantir a qualidade das tigelas. Cada etapa tem um objetivo específico e um impacto no resultado final do produto.

Os tempos de deslocamento entre as etapas do processo produtivo são apresentados na Tabela 2. Esses dados são fundamentais para representar com fidelidade a lógica de movimento no modelo do ProModel. Notam-se pequenas variações nos tempos, principalmente em etapas como lixamento e peneiração, que envolvem maior esforço manual. Esses tempos influenciam diretamente no tempo de ciclo e na formação de filas, sendo essenciais para uma simulação mais realista.

Tabela 2 – Dados cronometrados com relação à lógica de movimento

LÓGICA DE MOVIMENTO (HORAS)							
Processo	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7
Forno	00:00:04	00:00:26	00:00:46	00:00:11	00:01:58	00:00:13	00:00:32
Peneiração	00:05:06	00:04:27	00:03:20	00:05:20	00:04:20	00:04:22	00:05:00
Moldação	00:00:43	00:00:46	00:00:52	00:00:54	00:00:49	00:00:43	00:00:49
Fundição	00:00:10	00:00:10	00:00:11	00:00:10	00:00:10	00:00:10	00:00:11
Inspeção	00:00:23	00:00:22	00:00:21	00:00:22	00:00:23	00:00:22	00:00:22
Lixamento	00:01:34	00:02:01	00:01:43	00:01:15	00:00:48	00:00:56	00:01:20
Lavagem	00:00:25	00:00:23	00:00:24	00:00:24	00:00:23	00:00:25	00:00:25

LÓGICA DE MOVIMENTO (HORAS)				
Processo	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10	Tempo Médio
Forno	00:00:20	00:00:09	00:00:22	00:00:26
Peneiração	00:04:15	00:05:15	00:03:47	00:04:35
Moldação	00:00:55	00:00:53	00:00:55	00:00:49
Fundição	00:00:10	00:00:11	00:00:09	00:00:10
Inspeção	00:00:22	00:00:20	00:00:21	00:00:22
Lixamento	00:01:57	00:01:35	00:02:35	00:01:33
Lavagem	00:00:24	00:00:26	00:00:25	00:00:25

Fonte: Autor (2025).

A Tabela 2 exibe a lógica de movimento (em horas) entre as etapas de forno, peneira, moldação, fundição, inspeção, lixamento e lavagem, representando o tempo necessário para que cada operação seja concluída com eficiência e qualidade. Esses dados são essenciais para mapear o fluxo produtivo e identificar oportunidades de otimização.

Um dos elementos fundamentais do ProModel é a definição dos locais pelos quais as entidades passam durante o processo produtivo. A Tabela 3 apresenta os locais configurados no modelo de simulação, com suas respectivas capacidades, unidades e regras operacionais.

Tabela 3 – Configuração dos locais no modelo de simulação

Locais						
Nome	Capacidade	Unidade	Paradas	Estatística	Regras	anotações
Forno	18	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho	
Peneiração	14	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho	
Moldação	12	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho	
Fundição	10	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho	
Inspeção	20	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho	
Deposito_peça _defeito	10	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho	
Lixamento	1	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho	
Lavagem	1	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho	

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir do software ProModel (2025).

Os locais foram definidos conforme a especificidade da oficina metalúrgica, conforme demonstrado na tabela 3. As capacidades representam o número de entidades que podem ser processadas simultaneamente e a unidade indica a quantidade de locais similares no mesmo processo.

As entidades representam os materiais e produtos que circulam no sistema produtivo simulado. A Tabela 4 apresenta as entidades configuradas no modelo, com informações sobre velocidade e estatísticas associadas a cada uma.

Tabela 4 – Entidades construídas para a simulação

ENTIDADES			
NOME	VELOCIDADE (MPM)	ESTATÍSTICA	ANOTAÇÕES
ALUMÍNIO_BRUTO	50	SÉRIE DE TEMPO	
BARRO	50	SÉRIE DE TEMPO	
CAIXA-MOLDADAS	50	SÉRIE DE TEMPO	
TIGELA	50	SÉRIE DE TEMPO	
TIGELA_COM_DEFEITO	50	SÉRIE DE TEMPO	

Fonte: Desenvolvido pelo autor por meio do software ProModel (2025).

As entidades usadas para simular os processos são o alumínio bruto, o barro, as caixas moldadas, a tigela e a tigela com defeito, conforme mostrado na tabela 4. Essas entidades representam a parte dinâmica da simulação.

A etapa de definição das chegadas é fundamental para o funcionamento dinâmico do modelo, pois representa o ponto inicial da entrada de materiais no

sistema. No Quadro 2, são descritas as configurações de chegada das entidades, incluindo frequência, local, quantidade e lógica estatística.

Quadro 2 – Chegada construída para a simulação

Chegadas							
Entidade	Local	Quantidade	Primeira Vez	Ocorrências	Frequência	Lógica	Desab.
alumínio_ bruto	Forno	18	0	INF	N(4.72, 0.488) Hr		Não
Barro	Peneiração	14	0	INF	N(2.19, 0.049) Hr		Não

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir do software ProModel (2025).

Conforme demonstrado no Quadro 2, a frequência e a quantidade das chegadas foram definidas com base em distribuições normais, refletindo a variabilidade do processo real. Esses parâmetros são indispensáveis para garantir uma simulação com comportamento estocástico, permitindo a análise de desempenho sob diferentes condições operacionais.

Após configurar os insumos e suas chegadas, é necessário estabelecer as atividades que cada entidade realiza ao longo do processo produtivo. O Quadro 3 apresenta os processos com as entidades, os locais e as operações realizadas na oficina metalúrgica, conforme modelado no software Promodel.

Quadro 3 – Processos para a simulação

PROCESSAMENTO		
Processo		
Entidade	Local	Operação
Alumínio_ Bruto	Forno	Wait N(158, 16.1) min Inc WIP
Barro	Peneiração	Wait N(23.7, 3.02) min
Barro	Moldação	Wait N(5.97, 0.242) min Inc CAIXAS_MOLDADAS
Caixa_ Moldadas	Fundição	Join 1 Alumínio_bruto Wait N(0.292, 0.0494) min
Tigela	Inspeção	Wait N(14.4, 1.45) min
Tigela	Lixamento	Wait N(16.6, 0.681) min
Tigela	Lavagem	Wait N(0.867, 0.172) min Inc TIGELA_LIXADAS
Tigela_ com defeito	Peça_ Defeito	Wait N(0.251, 0.0145) min

Fonte: Desenvolvido pelo autor usando o ProModel (2025).

As informações do Quadro 3, indicam que os tempos de processamento das entidades foram modelados com distribuições normais, a partir dos dados obtidos nas cronometragens reais do processo. Essa abordagem proporciona maior precisão ao modelo, permitindo simular de forma mais fidedigna as variações naturais nas etapas de produção. A estrutura descrita também facilita a identificação de gargalos e a avaliação do desempenho de cada etapa dentro do ambiente simulado.

Para complementar o fluxo das atividades descritas do Quadro 3, o Quadro 4 apresenta os roteamentos das entidades entre os locais e a lógica de movimentação. Essas informações são essenciais para representar o deslocamento físico das entidades e o comportamento do sistema como um todo.

Quadro 4 – Processos para o roteamento

PROCESSAMENTO				
Roteamento				
Bi	Saída	Destino	Regra	Lógica de movimento
1	Alumínio_bruto	Fundição	Join 1	Move For N(34.1, 42.9) sec
1	Barro	Moldação	First 14	Move For N(271, 37.2) sec
1	Caixa_moldadas	Fundição	First 1	Move For N(49.9, 4.41) sec
1	Tigela	Inspeção	First 10	Move For N(10.2, 0.6) sec
1	Tigela	Lixamento	0.95 1	Move For N(21.8, 0.872)sec
	Tigela_ com_defeito	Peça_defeito	0.05	Move For N(21.8, 0.872)sec
1	Tigela	Lavagem	First 1	Move For N(24.4, 0.917)sec
1	Tigela	Exit	First 1	
1	Tigela_ com_defeito	Exit	First 1	

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir do software ProModel (2025).

Com base nos dados apresentados no Quadro 4, observa-se que os roteamentos foram definidos a partir de regras específicas de prioridade e probabilidades. Essa abordagem possibilitou uma simulação mais realista do fluxo de materiais entre os processos, permitindo avaliar o impacto de eventuais alterações nas rotas e contribuindo para o aprimoramento da logística interna da oficina.

Nesse contexto, utilizando as informações das Tabelas 3 e 4, bem como Quadros 3, 4 e 5, foi possível modelar os processos de fabricação das tigelas e realizar

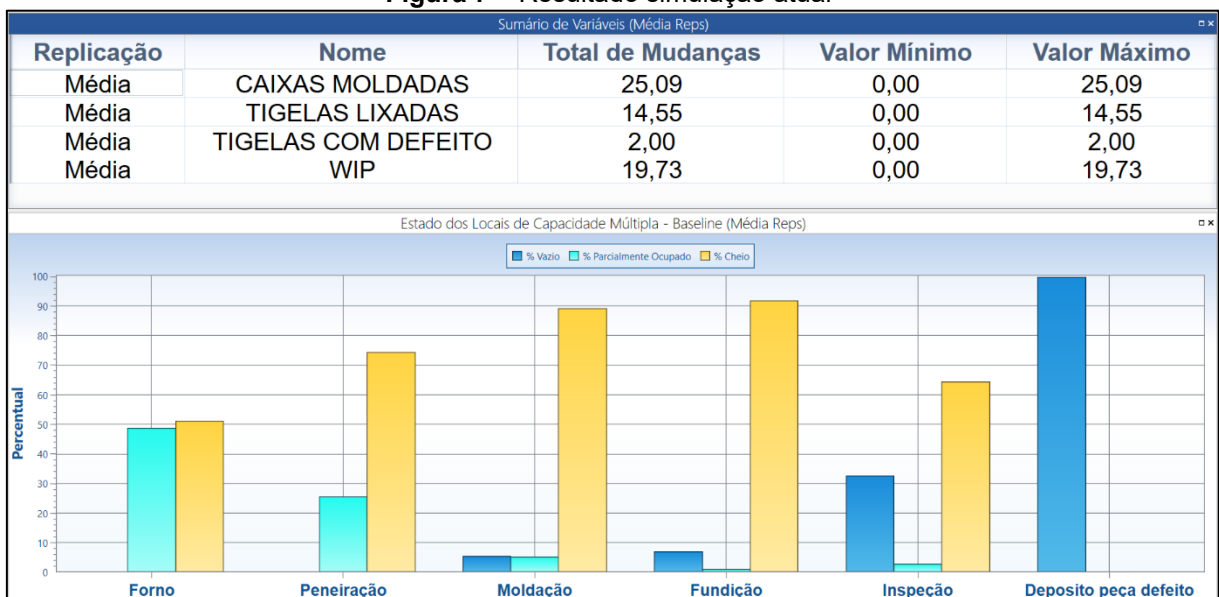
a simulação do sistema, conforme ilustrado na Figura 7. As análises e discussões referentes a essa simulação serão detalhadas a seguir.

6.3 CENÁRIO ATUAL

A simulação do cenário atual da oficina metalúrgica foi gerada a partir do modelo computacional desenvolvido no software ProModel, refletindo com fidelidade as condições reais observadas no ambiente produtivo. Esse cenário considera a infraestrutura existente, os recursos disponíveis e a sequência operacional adotada, sem a introdução de alterações ou intervenções no processo. A elaboração do modelo permitiu compreender o funcionamento do processo produtivo em sua forma atual, servindo como base para as análises subsequentes.

A representação gráfica obtida por meio da simulação possibilita uma avaliação detalhada do fluxo produtivo, permitindo a identificação de restrições operacionais e ineficiências que comprometem o desempenho do sistema. Esse diagnóstico preliminar é fundamental para subsidiar a comparação com os cenários alternativos e orientar decisões estratégicas voltadas à melhoria do processo produtivo, com ênfase na mitigação de gargalos e no aumento da eficiência. A Figura 7 sintetiza visualmente esse cenário de referência, funcionando como ponto de partida para as análises comparativas conduzidas no estudo.

Figura 7 – Resultado simulação atual



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software ProModel (2025).

De acordo com a capacidade dos colaboradores, são produzidas em média cerca de 13 tigelas durante um período de 6 horas e 40 minutos. No modelo proposto na Figura 7, a capacidade de produção simulada é de 14,55 tigelas, ou seja, 11,92% acima da capacidade real. Embora o modelo não replique exatamente o resultado real, a diferença de 11,92% é considerada aceitável para os objetivos da simulação, o que confirma a validade do modelo.

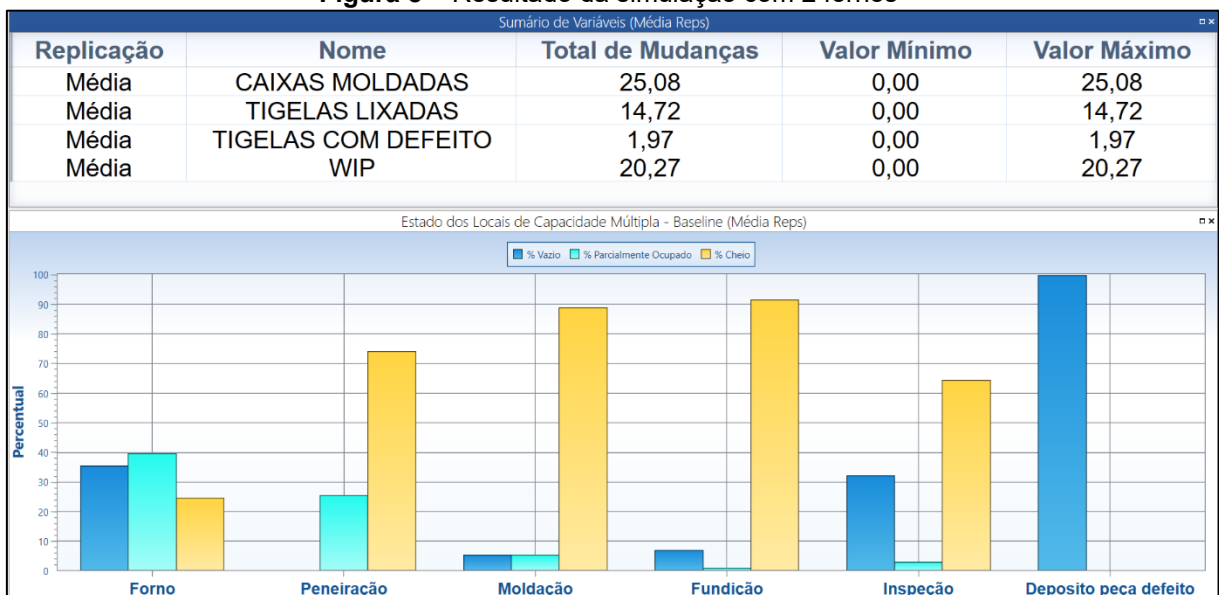
6.3.1 Cenários Propostos

Após a identificação do cenário atual presente na Figura 7, foram propostos quatro cenários no software ProModel® Student 2018, visando identificar o cenário ideal. O objetivo foi comparar os resultados obtidos em cada cenário e selecionar o que apresentasse o melhor desempenho em relação aos critérios estabelecidos. A seguir, são descritos os quatro cenários propostos e os respectivos resultados da simulação.

6.3.2 Primeiro cenário

No primeiro cenário, foi inserido um forno adicional no processo, totalizando dois fornos operando simultaneamente na oficina metalúrgica. O objetivo, representado na Figura 8, foi aumentar a capacidade de fusão de alumínio e, conseqüentemente, elevar a produção de tigelas.

Figura 8 – Resultado da simulação com 2 fornos



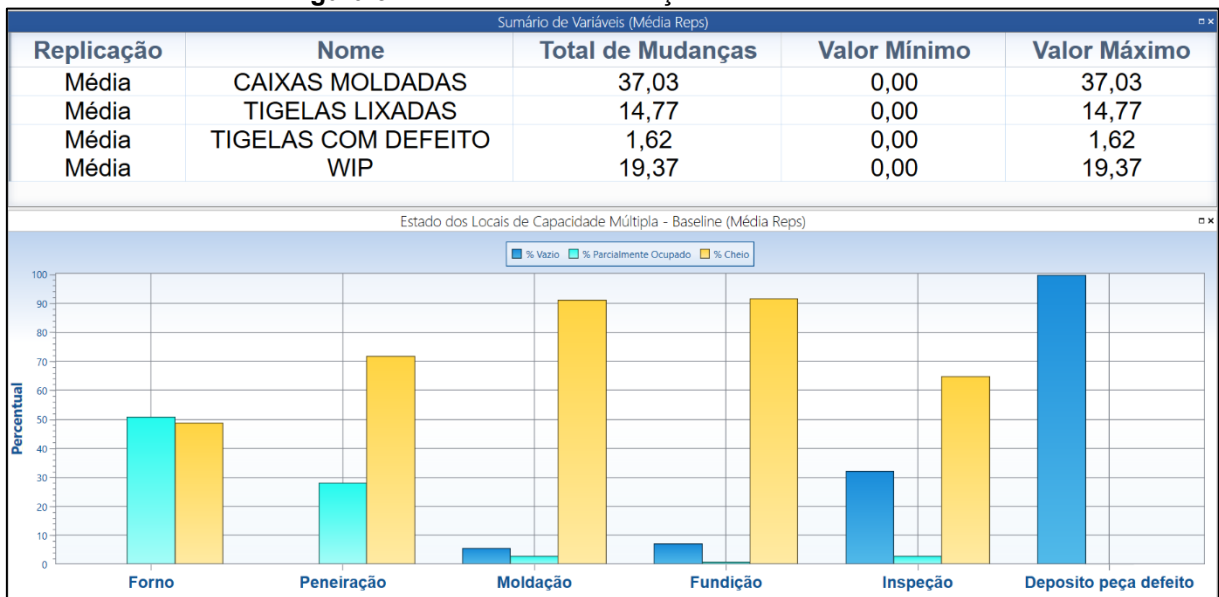
Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software ProModel (2025).

Conforme apresentado na Figura 8, a implementação de dois fornos no sistema resultou em um leve aumento na produção de tigelas, passando de 14,55 para 14,72 unidades, o que representa um acréscimo de aproximadamente 1,17% em relação ao cenário atual. Esse resultado mostra que, embora tenha ocorrido um pequeno ganho, a adição de um segundo forno não se configura como medida eficiente para ampliar significativamente a capacidade produtiva.

6.3.3 Segundo cenário

Para o segundo cenário, um novo moldador foi adicionado ao sistema, resultando em um total de dois moldadores. O objetivo principal era aumentar o processo de fabricação de caixas moldadas e, conseqüentemente, garantir o aumento da produção de tigelas fundidas, que são necessárias para serem lixadas durante o processo de fabricação do produto final. A Figura 9 mostra os resultados obtidos com essa modificação.

Figura 9 – Resultado da simulação com 2 moldadores



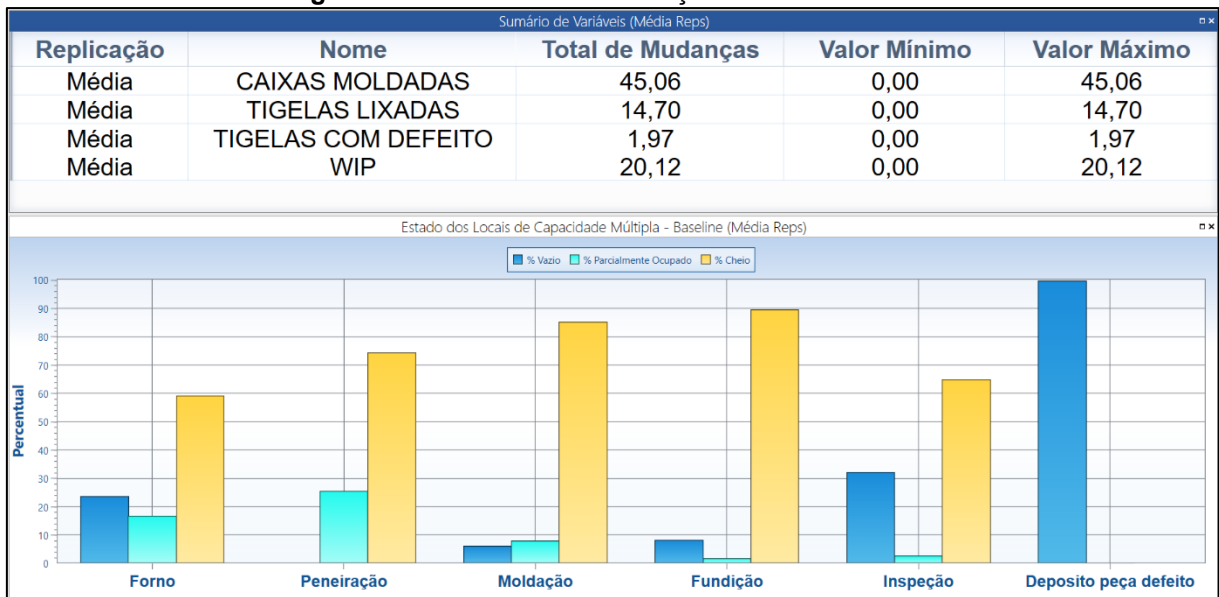
Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software ProModel (2025).

A simulação apresentada na Figura 9 mostrou um aumento na produção de caixas moldadas, de 25,09 para 37,03 unidades, o que levou a um pequeno incremento na produção de tigelas lixadas, que passou de 14,55 para 14,77 unidades, ou seja, 1,51% acima do cenário atual. Esse resultado demonstra que, apesar do ganho na moldagem, a adição de moldadores não impactou de forma significativa a etapa final, mantendo a produção praticamente estável.

6.3.4 Terceiro cenário

Com relação ao terceiro cenário, dois novos colaboradores foram incorporados ao processo de fundição, totalizando três fundidores. Essa configuração operacional teve como objetivo acelerar o processo de derramamento do alumínio líquido nas caixas moldadas, a fim de produzir tigelas não processadas de maneira mais eficiente. A Figura 10 ilustra os resultados obtidos com essa modificação.

Figura 10 – Resultado da simulação com 3 fundidores

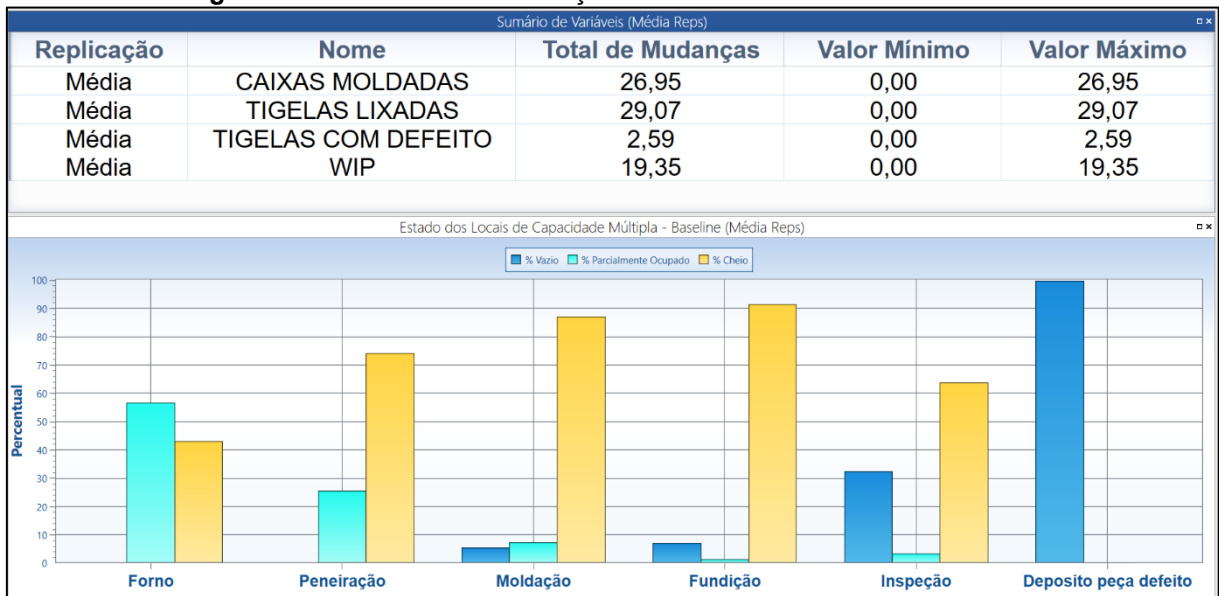


Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software ProModel (2025).

A Figura 10 evidencia que a inserção de dois novos colaboradores na fundição aumentou em 79,61% a produção de caixas moldadas, que passou de 25,09 para 45,06 unidades. Entretanto, a produção final de tigelas lixadas cresceu de forma pouco expressiva, de 14,55 para 14,70 unidades, correspondendo a apenas 1,03% de aumento. Isso confirma que reforçar a etapa de fundição não está diretamente associado ao crescimento significativo da produção de tigelas lixadas.

6.3.5 Quarto cenário

No quarto cenário analisado, foi introduzido um colaborador adicional no processo de lixamento, totalizando dois operadores nesta etapa. A implementação de um segundo lixador mostrou-se viável, uma vez que cada operador poderia atuar em uma parte específica da tigela - enquanto um lixaria a parte interna, o outro se encarregaria da parte externa. A Figura 11 mostra os resultados da simulação com essa configuração.

Figura 11 – Resultado da simulação com 2 colaboradores no lixamento

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software ProModel (2025).

A análise da Figura 11 demonstra que a implementação de um colaborador adicional no processo de lixamento, conforme proposto no quarto cenário analisado, resultou em um aumento significativo na capacidade produtiva. A produção de tigelas lixadas passou de 14,55 para 29,07 unidades, representando um aumento de 99,8% em relação ao cenário atual. Esses resultados evidenciam o impacto positivo da introdução de um lixador adicional na otimização do processo produtivo, configurando esse modelo como o ideal.

6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A fim de proporcionar uma compreensão clara dos impactos gerados pelas mudanças propostas, foi elaborada a Tabela 5, que apresenta a estimativa da produção de tigelas lixadas em cada configuração testada no software ProModel® Student 2018, acompanhada do percentual de variação em relação ao cenário atual. Esse comparativo permite visualizar de forma objetiva os efeitos de cada modificação na eficiência produtiva, evidenciando que a inclusão de um segundo colaborador na etapa de lixamento se mostrou a estratégia mais eficaz para aumentar a capacidade de produção da oficina.

Tabela 5 – Produção de tigelas lixadas em cada cenário simulado

Cenário	Produção de Tigelas Lixadas	Variação (%) em relação ao atual
Atual	14,55	–
2 Fornos	14,72	+1,17%
2 Moldadores	14,77	+1,51%
3 Fundidores	14,70	+1,03%
2 Lixadores (ideal)	29,07	+99,79%

Fonte: Desenvolvido pelo autor com base nas simulações do ProModel (2025).

Os resultados evidenciam que os cenários com dois fornos, dois moldadores ou três fundidores geraram apenas ganhos marginais na produção final, inferiores a 2%. Embora esses cenários tenham ampliado subprocessos específicos, como a moldagem e a fundição, eles não impactaram de forma significativa a etapa de acabamento, mantendo a produção de tigelas praticamente estável.

Em contrapartida, o cenário com dois lixadores mostrou-se altamente eficaz, resultando em um aumento de quase 100% na produção de tigelas lixadas em comparação ao cenário atual. Esse resultado comprova que o gargalo principal da oficina está concentrado no lixamento, sendo esta a etapa prioritária para investimentos e reestruturações operacionais.

Assim, a análise dos cenários confirma que a introdução de um segundo colaborador no lixamento é a estratégia mais eficiente para otimizar a produção da oficina metalúrgica.

7 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo reforçam a importância da utilização de ferramentas de simulação e otimização, como o ProModel®, para a identificação de gargalos e oportunidades de melhoria nos processos de fabricação. Durante as simulações, foi observado que o modelo inicial se encontrava adequado à realidade da oficina metalúrgica e que, ao incluir um recurso adicional, como um colaborador extra na etapa de lixamento, a capacidade de produção foi ampliada em 99,79%, conforme demonstrado nas simulações. Tal aumento expressivo evidencia o potencial da simulação na definição de intervenções eficazes mesmo com recursos limitados.

Por conseguinte, é importante ressaltar a relevância da pesquisa operacional e do uso de técnicas de simulação para orientar decisões estratégicas. A implementação das melhorias propostas contribui diretamente para reduzir gargalos, elevar a produtividade e atender à demanda com maior precisão e competitividade.

Além disso, os resultados obtidos reforçam o papel da simulação como ferramenta acessível e de alto impacto, especialmente em ambientes industriais de pequeno porte, onde recursos são escassos e decisões precisam ser assertivas.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Alan; ROCHA, Paulo. *Sincronismo Organizacional*. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

ALMEIDA, et al., **Proposta de melhoria no serviço de engenharia de projeto de prevenção e combate a incêndio e pânico por meio da simulação a eventos discretos**. In: ENCONTR O NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza, Ceará, 2015.

ASANA. Process map template. Disponível em: <https://asana.com/templates/process-map>. Acesso em: 17 ago. 2025.

BAIRD, S. P.; LEAVY, J. J. **Simulation modeling using ProModel for windows**. In: **Proceedings of the 26th conference on Winter simulation**. Society for Computer Simulation International, 1994. p. 527-532.

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-Event System Simulation**. 5. ed. Prentice Hall, 2010.

BATEMAN, R. E. et al. **Sistemas de simulação: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BELGE. *ProModel: introdução*. São Paulo, [s. d.]. Disponível em: <http://www.belge.com.br/promodel-intro.php>. Acesso em: 7 jun. 2025.

BELGE. **Vantagens e Benefícios**. São Paulo: 2024. Disponível em: <https://www.belge.com.br/pcsim.php>. Acesso em: 08 jun. 2025.

Bremenkamp, L. **Pesquisa Operacional – PO: o que é, como funciona e para que serve**. 2023. Disponível em: <https://eproducao.com.br/pesquisa-operacional-po>. Acesso em: 19 jun. 2025.

BRIGHENTI, José Renato N. *Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

CAMPOS, R.; LIMA, S. **Mapeamento de processos: importância para as organizações**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2012.

CARARA, B. **Balanceamento de uma linha de produção através de experimentos de simulação**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Curitiba, Paraná, 2014.

COCIAN, Luis Fernando Espinosa. **Descobrimo a Engenharia: O Método**. 1. ed. Porto Alegre: Cidadela Editorial, 2018.

COUTINHO, R. M. et al. **Utilização do software ProModel para simulação do funcionamento de uma clínica em Abaetetuba-PA**. 2019. Disponível em:

https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_000_1648_37736.pdf. Acesso em: 17 jul. 2025.

DESIDÉRIO, Mariana. **O que leva uma empresa a fechar -- e como evitar isso**. 2015. Disponível em: <https://exame.com/pme/o-que-leva-uma-empresa-a-fechar-e-como-evitar-isso/>. Acesso em: 08 jul. 2025.

FALCÃO, Bernardo. **A simulação e o dimensionamento de operações**. 2017. Disponível em: <https://ilos.com.br/simulacao-e-o-dimensionamento-de-operacoes/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

FIGUEREDO et al., **A importância de um processo de simulação recriado em um ambiente educacional a fim de auxiliar no processo ensino-aprendizado dos alunos de engenharia de produção**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza, Ceará, 2015.

FISHMAN, G. S. **Discrete-Event Simulation: Modeling, Programming, and Analysis**. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering. Springer, 2013.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena**. 2. ed. São Paulo, SP: Editora Visual Books, 2008.

GREASLEY, A. **Using business-process simulation within a business-process reengineering approach**. *Business Process Management Journal*. Vol. 9 No. 4, pp. 408-420, 2003.

HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation using Promodel**, 3rd ed. Boston: McGraw-Hill. 603 p. ISBN 0-07-234144-0, 2000.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introduction to Operations Research**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

LAW, A. M. & KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. McGraw-Hill Books, NY, Second Edition, 1991.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. 4. ed. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2007.

LEAL, Fabiano. Análise do efeito interativo de falhas em processos através de projeto de experimentos simulados. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/106417>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MEDINA, A.; CHWIF, L. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Bravarte, 2010.

MENDES, R. L.; RODRIGUES, C. L. Modelagem e simulação do sistema de carregamento de uma empresa de minérios em Barcarena-Pará. 2021. Disponível

em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_356_1834_42250.pdf. Acesso em: 17 ago. 2025.

MOLLO, Ricardo. O que leva uma empresa a fechar — e como evitar isso. Exame, São Paulo, 3 nov. 2015. Disponível em: <https://exame.com/pme/o-que-leva-uma-empresa-a-fechar-e-como-evitar-isso/>. Acesso em: 09 set. 2025.

MONTEVECHI, J. A. B., PINHO, A. F. DE, LEAL, F, MARINS, F. A. S. **Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry.** In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Washington, DC, USA, 2007.

PEREIRA, I. C. **Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UNIFEI, Itajubá -MG, 2000.

PONTES, Juliana. **Engenharia de Produção: Tudo o que você precisa saber.** 2024. Disponível em: <https://carreiraeprofissao.com.br/engenharia-de-producao/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

RANGEL, J. J. A.; SOUZA, A. A.; BASTOS, P. J. T.; BAPTISTA, R. C. T. Simulação a Eventos Discretos para Treinamento em Sistemas de Controle. **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento PODEs.** Rio de Janeiro, v.4, n.1, p-97-111, janeiro a abril de 2012.

REIS, Tiago. Pesquisa operacional: como funciona essa ferramenta? Suno, 19 set. 2020. Atualizado em: 05 abr. 2023. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/pesquisa-operacional/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

SILVA, Wesley Alves da. **Otimização de parâmetros da gestão baseada em atividades aplicada em uma célula de manufatura.** Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá, MG, UNIFEI, 2005

SOBRAPO. O que é pesquisa operacional? Disponível em: <https://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>. Acesso em: 21 set. 2025.

SOESCOLA (São Paulo) (org.). **Modelo: O que é, significado.** 2023a. Disponível em: <https://www.soescola.com/glossario/modelo-o-que-e-significado>. Acesso em: 20 ago. 2025.

SOESCOLA (São Paulo) (org.). **Validação: O que é, significado.** 2023b. Disponível em: <https://www.soescola.com/glossario/validacao-o-que-e-significado>. Acesso em: 17 jul. 2025.

VIDA, L.; MONTEVICH, J. A. B.; LIMA, J. P. **Análise de uma linha de montagem de uma indústria de eletrodomésticos por meio da simulação a eventos discretos.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Curitiba, Paraná, 2014.

SUGESTÃO DE TEMAS ALTERNATIVOS PARA A PESQUISA

Em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela Universidade Federal do Pará para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC), apresentam-se a seguir três sugestões de temas alternativos relacionados a esta pesquisa. As sugestões mantêm a base metodológica, os dados coletados e a estrutura conceitual do estudo, variando apenas o foco da abordagem:

- Tema 1: Análise de Cenários Produtivos em uma Oficina de Fundição de Alumínio com Apoio da Simulação no Software ProModel® Student 2018.
- Tema 2: Avaliação de Gargalos e Propostas de Otimização em Processos de Fundição de Alumínio com Uso do ProModel® Student 2018: Um Estudo de Caso em Abaetetuba-PA.
- Tema 3: Aplicação de Simulação Computacional para Otimização da Produção em Pequenas Indústrias: Estudo de Caso em uma Oficina Metalúrgica de Abaetetuba-PA.

Essas alternativas permitem abordar diferentes aspectos da mesma problemática, possibilitando sua adequação a outras linhas de pesquisa, projetos futuros ou exigências acadêmicas específicas.

APÊNDICES



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO BAIXO TOCANTINS
FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL
GRADUAÇÃO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a colaborar com uma pesquisa acadêmica para o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "Modelagem e Simulação do Processo de Produção de Tigelas em uma Oficina Metalúrgica de Alumínio no Município de Abaetetuba-PA utilizando o software ProModel®". Este estudo tem como principal objetivo analisar e otimizar o processo de fabricação de tigelas em uma oficina metalúrgica situada em Abaetetuba-PA, utilizando as capacidades de modelagem e simulação oferecidas pelo software ProModel®.

O TCC está sendo desenvolvido por Bruno Nascimento Ferraz, estudante da UFPA, sob a orientação do Prof. Dr. Adalberto da Cruz Lima. Para alcançar os objetivos estabelecidos, será realizado um estudo minucioso do processo produtivo da referida oficina, aplicando técnicas avançadas de modelagem e simulação através do software mencionado.

Para participar da pesquisa, é imprescindível que você concorde com os termos apresentados e tenha todas as suas dúvidas esclarecidas sobre os aspectos pertinentes ao estudo que possam interessá-lo(a), conforme estipulado pela legislação vigente. Declaro que recebi as informações sobre os objetivos e a relevância desta pesquisa de maneira clara, e concordo voluntariamente em contribuir com o estudo.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO BAIXO TOCANTINS
FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL
GRADUAÇÃO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APÊNDICE B – COMENTÁRIOS SOBRE AS CORREÇÕES NOS QUADROS E
TABELAS**

Após a realização da apresentação deste Trabalho de Conclusão de Curso, o autor identificou uma inconsistência na parametrização do processo de lavagem registrado no Quadro 3.

Na versão inicial, a operação foi descrita como:

Wait N(5,46; 13,8) min

Entretanto, essa configuração não refletia os tempos reais observados no processo produtivo. Após revisão, os valores foram corrigidos para:

Wait N(0,867; 0,172) min

Essa alteração foi fundamental para assegurar a fidelidade do modelo computacional em relação aos dados coletados em campo.

Adicionalmente, a Tabela 5, que apresenta a produção de tigelas lixadas em cada cenário simulado, foi atualizada, refletindo os resultados corrigidos da simulação.

Este apêndice tem como objetivo registrar formalmente a inconsistência identificada e as respectivas correções, garantindo a transparência metodológica e a confiabilidade dos resultados finais.

Quadro 3 – Processos para a simulação (versão inicial)

PROCESSAMENTO		
Processo		
Entidade	Local	Operação
Alumínio_ Bruto	Forno	Wait N(158, 16.1) min Inc WIP
Barro	Peneiração	Wait N(23.7, 3.02) min
Barro	Moldação	Wait N(5.97, 0.242) min Inc CAIXAS_MOLDADAS
Caixa_ Moldadas	Fundição	Join 1 Alumínio_bruto Wait N(0.292, 0.0494) min
Tigela	Inspeção	Wait N(14.4, 1.45) min
Tigela	Lixamento	Wait N(16.6, 0.681) min
Tigela	Lavagem	Wait N(5.46, 13.8) min Inc TIGELA_LIXADAS
Tigela_ com_defeito	Peça_ Defeito	Wait N(0.251, 0.0145) min

Fonte: Desenvolvido pelo autor usando o ProModel (2025).

O Quadro 3 da versão de 2025 apresentava um erro na operação de lavagem, parametrizada como Wait N(5.46, 13.8) min, valor que não correspondia aos dados coletados em campo.

Quadro 3 – Processos para a simulação (versão corrigida)

PROCESSAMENTO		
Processo		
Entidade	Local	Operação
Alumínio_ Bruto	Forno	Wait N(158, 16.1) min Inc WIP
Barro	Peneiração	Wait N(23.7, 3.02) min
Barro	Moldação	Wait N(5.97, 0.242) min Inc CAIXAS_MOLDADAS
Caixa_ Moldadas	Fundição	Join 1 Alumínio_bruto Wait N(0.292, 0.0494) min
Tigela	Inspeção	Wait N(14.4, 1.45) min
Tigela	Lixamento	Wait N(16.6, 0.681) min
Tigela	Lavagem	Wait N(0.867, 0.172) min Inc TIGELA_LIXADAS
Tigela_ com_defeito	Peça_ Defeito	Wait N(0.251, 0.0145) min

Fonte: Desenvolvido pelo autor usando o ProModel (2025).

Na versão revisada de 2025, a operação de lavagem foi corrigida para Wait N(0.867, 0.172) min, garantindo maior fidelidade entre os dados empíricos e o modelo computacional.

Tabela 6 – Produção de tigelas lixadas em cada cenário simulado (versão inicial)

Cenário	Produção de Tigelas Lixadas	Variação (%) em relação ao atual
Atual	13,25	–
2 Fornos	13,01	-1,81%
2 Moldadores	13,17	-0,61%
3 Fundidores	13,00	-1,89%
2 Lixadores (ideal)	19,92	+66,52%

Fonte: Desenvolvido pelo autor com base nas simulações do ProModel (2025).

A Tabela 5 inicial apresentava valores inconsistentes de produção, subestimando a capacidade real da oficina, pois utilizava os parâmetros incorretos da lavagem.

Tabela 7 – Produção de tigelas lixadas em cada cenário simulado (versão corrigida)

Cenário	Produção de Tigelas Lixadas	Variação (%) em relação ao atual
Atual	14,55	–
2 Fornos	14,72	+1,17%
2 Moldadores	14,77	+1,51%
3 Fundidores	14,70	+1,03%
2 Lixadores (ideal)	29,07	+99,79%

Fonte: Desenvolvido pelo autor com base nas simulações do ProModel (2025).

Na versão corrigida de 2025, os resultados foram recalculados com os parâmetros corretos de lavagem. A análise mostrou que a adição de um segundo lixador quase dobrou a capacidade produtiva (+99,79%), confirmando o lixamento como principal gargalo da oficina.