



DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA MELHORIA DE MODELOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL USANDO SOFTWARE PROMODEL

Autor – Thiago Aguirre Lorscheiter

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Curso de Engenharia de Controle e Automação

Av. Ipiranga 6681, – Prédio 30 - CEP: 90619-900 – Porto Alegre – RS– Brasil

Telefone: (51) 9440-4290 (celular) Email: thiagoaguirre@gmail.com

Orientador – Felipe Dalla Vecchia, Dr. Eng.

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Av. Ipiranga 6681, – Prédio 30 - Sala 111 CEP: 90619-900 – Porto Alegre – RS– Brasil

Telefone: (51) **3353-7659, ramal: 7659** – Email: felipe.vecchia@puers.br

Resumo. A utilização de programas de computacionais de simulação tem se mostrado muito presente nas tomadas de decisões em empresas. Com esse recurso é possível tomar decisões mais assertivas e que propiciem um menor custo de forma geral. Porém, a interpretação dos resultados obtidos nem sempre se apresenta como uma tarefa fácil, tornando assim a otimização do modelo a partir dos dados obtidos mais complexa de se realizar. Esse trabalho desenvolve uma ferramenta de auxílio para alcançar maiores taxas de produção, utilizando-se de uma integração com o software de simulação ProModel de forma transparente ao usuário. O software utiliza-se um algoritmo de otimização, conhecido como algoritmo evolutivo, que foi adaptado para realizar modificações no modelo, avaliar os impactos dessas modificações e combinar resultado. Obtendo-se, ao final, um sistema otimizado com as melhores características buscadas.

Palavras-chave: Software de Otimização, ProModel, Algoritmo evolutivo

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Introdução

Com um mercado mundial cada vez mais dinâmico e turbulento as empresas necessitam responder rapidamente a dinâmicas do mercado e se flexibilizar para se enquadrar em a requisitos dos clientes [1] [2]. Muitas empresas possuem recursos, os quais, se fossem empregados de forma adequada, poderiam representar uma melhora significativa em questão de produtividade e qualidade. No entanto, falhas ou mesmo testes antes de uma adoção de um novo recurso podem possuir altíssimos custos associados, tanto de capital necessário para sua implementação, quanto de possíveis paradas de operação [3]. Dessa forma a simulação de sistemas tem se tornado uma das mais potentes ferramentas de análise gerando cada vez mais visibilidade e se tornando necessária na hora de planejar, seja para melhorias em linhas de produção e layouts já existentes, em problemas envolvendo logística e movimentação de insumos ou produtos, ou mesmo para planejamento e implantação de uma nova planta que ainda não existe no mundo real. Nesse contexto, o uso ou emprego de otimizadores podem auxiliar na maximização de ganho e facilitar a escolha de qual opção alternativa é mais adequada a se aplicar.

1.2. Descrição do problema

Mesmo com grande potencial da simulação de sistemas de manufatura, serviços, entre outros, dos computadores de hoje, em alguns casos as interpretações dos resultados obtidos são de difícil compreensão, mal elaborados ou tem suas premissas mal compreendidas [3], exigindo um conhecimento do profissional que está estudando o modelo. Assume-se assim que a simulação de modelos é na pratica uma tarefa intelectualmente difícil, que se beneficia de um cuidadoso pensamento e planejamento [4]. Nesse contexto, muitas vezes é necessária uma ferramenta de software que possa auxiliar na interpretação dos resultados ou na tomada de decisão.

1.3. Descrição da proposta

Dentro desse cenário, foi proposto desenvolver uma ferramenta de software para auxiliar a encontrar os resultados desejados que pode se mostrar extremamente importante na resolução

do problema descrito, sendo possível combinar a experiência do profissional e inteligência abstrata inerente ao ser humano, com a capacidade e facilidade de armazenar dados e processamento de informações, que pode ser obtida com a computação, podendo assim economizar tempo e dinheiro [5].

1.4. Principais objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal a construção de uma ferramenta de otimização que pode realizar modificações em um modelo, a fim de encontrar uma solução desejada para dado modelo de linha de produção desenvolvida no software ProModel. Além disso, o otimizador objetiva realizar um aumento de produtividade e permitir uma busca de solução apropriada para sistemas complexos, promovendo a reduções no tempo de operação e de custos.

1.4.1 Objetivos específicos

Para realizar o trabalho proposto, podemos citar como principais objetivos a serem realizados:

- I. Levantamento de informações do ProModel
- II. Desenvolvimento de uma ferramenta usando linguagem de programação C#
- III. Desenvolvimento de um algoritmo de otimização
- IV. Avaliação de desempenho do otimizador

1.4. Delimitações do projeto

O objetivo final desse projeto é desenvolver um otimizador visando o aumento da produção, e gerar otimizações de descendentes até segunda geração.

Não serão abordadas técnicas com objetivos específicos, maior número de descendentes e rodadas de simulação. Tais condições produziriam uma grande quantidade de informações, consumindo uma carga de horas a serem empregadas nesse trabalho consideravelmente superiores, dificultando a análise e validação desse trabalho.

1.5. Referencial Teórico

Neste referencial teórico são apresentados, os tópicos relacionados com a proposta apresentada, que são considerados como relevantes para a fundamentação teórica deste trabalho.

1.5.1 Simulação de eventos discretos

A Simulação é um processo de experimentação que busca determinar como um modelo irá responder à mudanças em sua estrutura. Seu objetivo é representar condições existentes do mundo real e responder perguntas do tipo “E se aumentarmos o número de funcionários? Qual seria o resultado na produção?”, por exemplo [6].

A simulação foi proposta no início da década de 50, inicialmente para ser utilizado para fins de logística militar. Eram, em suma, softwares de cálculos matemáticos e funções objetivos, e exigiam um grande conhecimento de programação do profissional que estava realizando as simulações. Utilizava-se de linguagens como o FORTRAN que, embora essas linguagens permitissem a modelagem de diferentes aplicações, o tempo e habilidade requeridos desencorajavam muitos modelistas em potencial [5] [6] [8].

Nas duas décadas subseqüentes o crescimento do uso de simulações foi muito grande e acabou por se expandir para outras áreas. Essa expansão inicia com introdução de linguagens que oferecem sentenças de programação especificamente projetas para gerenciar lógica de filas e outros fenômenos comuns do sistema. Inegavelmente esse crescimento está ligado ao avanço no desenvolvimento de hardware e software, o que propiciou o surgimento de interfaces gráficas poderosas, facilitando o modelamento e possibilitando acesso ao uso por administradores, engenheiros ou mesmo leigos sobre o assunto [7].

Na medida em que engenheiros, gerentes e outros tomadores de decisão começaram a perceber o poder da simulação, a simulação computacional tornou-se uma ferramenta de auxílio, podendo ser utilizada em processos produtivos complexos, movimentação de matérias, distribuição e armazenamento, atividades de manutenção, confiabilidade e disponibilidade de máquinas, entre outras. Esta é apontada como uma das técnicas de pesquisa mais utilizadas devido principalmente à versatilidade, flexibilidade e poder de análise [8], sendo robustas e podendo lidar com problemas grandes escalas do mundo real [9].

Uma variedade de softwares utiliza-se de técnicas de simulação de sistemas discretos para fazer a simulação de um sistema. [3] Eventos discretos são ações instantâneas que ocorrem em

um único momento de tempo e sua ocorrência pode causar mudanças no estado do sistema. Trata-se de um processo repetitivo de conjunto de instruções que podem incluir elementos estocásticos ou determinísticos.

1.5.2 Otimização da Simulação

Nos últimos anos a maioria dos avanços buscou tornar os softwares mais amigáveis, entretanto, ferramentas para análise dos relatórios que propiciem melhores resultados, ou mesmo na área da otimização, tem se mostrado especialmente lentos em suas melhorias. Assim conduzir atualmente a otimização da simulação, valendo-se de técnicas tradicionais, tem sido uma ciência quando uma arte. Por essa razão ferramentas de análise para suporte a decisão de uso amigável também se fazem necessárias. [3]

Pode-se pensar a otimização como uma caixa preta, onde se entra com variáveis e a caixa (modelo do sistema) produz uma resposta de saída, semelhante a uma função em matemática, um processo através da qual um conjunto de entradas se transforma em um conjunto correspondente à saída. A otimização pode ser visto como processo onde se estabelecem valores aos parâmetros de entrada para produzir a saída desejada, como pode ser observado na Figura 1.

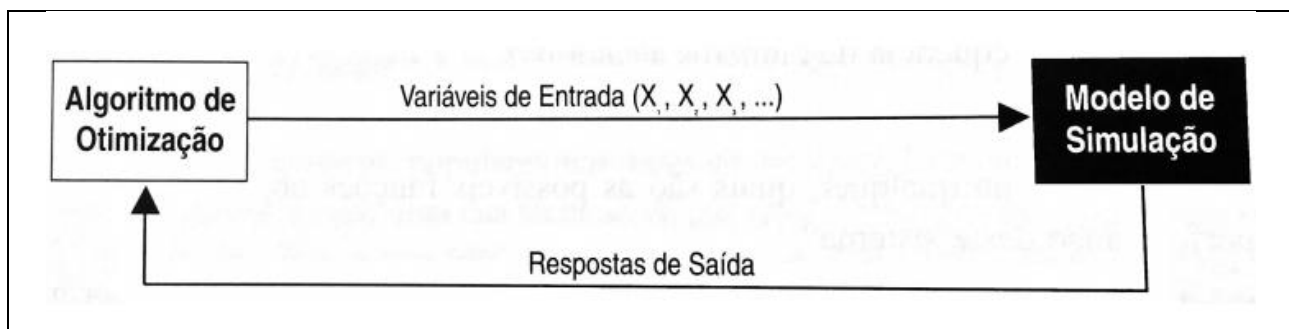


Figura 1: Relação entre o algoritmo de otimização e o modelo de simulação.

Fonte: [3].

Em virtude de natureza estocástica da saída os problemas de otimizações se tornam muito difíceis de ser realizados, e extremamente demorados para ser encontrada uma resposta [3]. Entretanto, existem algoritmos para que se pode encontrar soluções consideravelmente boas, em um tempo razoável [3].

1.5.3 Algoritmos Genéticos

Essa técnica originou-se frente a outros estudos de Computação Evolutiva, cuja interação produziu os algoritmos genéticos atuais. Desde então, sem dúvida, os algoritmos genéticos são os mais conhecidos, principalmente devido sua utilização em sistemas de inteligência artificial [10].

Algoritmos evolutivos são métodos de otimizações globais, robustos e facilmente adaptáveis, realizam buscas em paralelo, podendo ser combinados com heurísticas [11]. A idéia por trás do algoritmo evolutivo é a mesma da biologia, onde o individuo melhor adaptado tem maiores chances de sobreviver e se reproduzir.

Partindo de um modelo que se deseja otimizar, realiza-se uma modificações aleatória em seus parâmetros, cada modificação gera um descendente novo, cada um desses é visto como uma possível solução e avalia-se os resultados. Cria-se assim uma população de resultados, os que apresentam características desejáveis (mais adaptados) são mantidos e cruzados, biologicamente trata-se recombinação genética, gerando descendentes para a próxima geração. Esse passo pode ser repetido até gerarmos uma solução que satisfatória.

1.5.4 Visual studio community e linguagem de programação C#

Visual Studio Community é uma interface rica de desenvolvimento para um grande número de plataformas, e serviços, nele é possível desenvolver aplicações, foi desenvolvido pela Microsoft, e utiliza o framework .NET, entre as linguagens que estão disponíveis para ser utilizadas está o C# que foi utilizando trabalho.

O C# é uma linguagem simples, poderosa, com "tipagem" segura e orientada a objetos. As várias inovações no C# permitem o desenvolvimento rápido de aplicações, mantendo a expressividade e a elegância do estilo de linguagens C [12], especialmente familiar para programadores a esta e ao C++ [13]. O desenvolvimento da primeira versão iniciou-se em Janeiro de 2003 e desde então até hoje segue normas de padronização internacionais. A linguagem conta com orientação objetos um paradigma que nos leva a pensar em termos de entidades físicas de um sistema e interação entre eles. E representa a 4ª linguagem mais usada no mundo [14].

1.5.5 Software ProModel

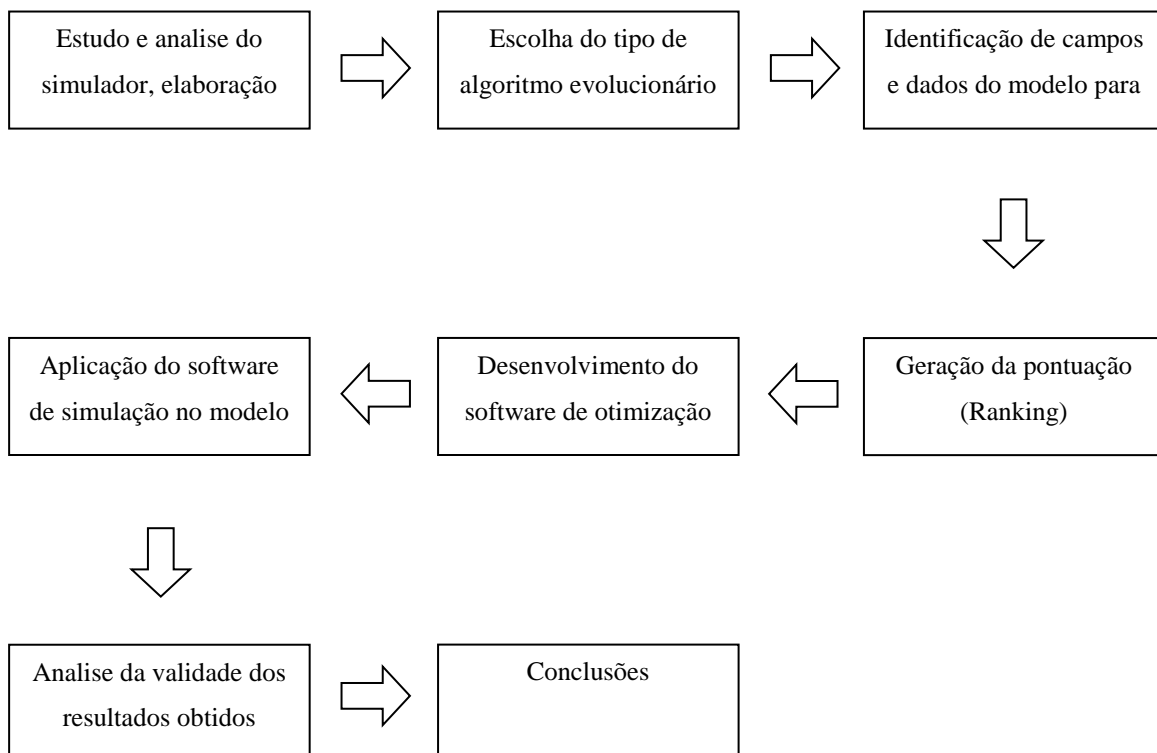
O ProModel é um software desenvolvido pela ProModel Inc, para avaliação, planejamento ou projetos de fabricação, armazenagem, logística e outras situações operacionais e estratégicas [15]. Trata-se de um programa de simulação de eventos discretos, utilizado para tomar melhores direções rapidamente. Permite reproduzir a complexidade de processos reais, incorporando a variabilidade e interdependências para análises e otimização sistemas e melhorar indicadores [16]. No presente trabalho o modelo de sistema de produção que foi submetido ao software de otimização foi desenvolvido no próprio ProModel.

2. METODOLOGIA

2.1. Introdução

Neste item será descrita a metodologia proposta com a utilização de um fluxograma indicando as principais etapas a serem vencidas.

2.2 Fluxograma de desenvolvimento



2.3 Modelo Utilizado

Para verificação dos resultados do software de otimização foi utilizado um modelo didático, o qual apresenta uma linha de produção de determinada peça. Como em muitos modelos de linhas de simulação é possível observar problemas de gargalo, pois os processos apresentam um tempo diferente em cada etapa. Esses problemas podem ser resolvidos com uma remodelagem do sistema ou, em certos casos, necessitam de uma abordagem mais elaborada, o *layout* modelo utilizado neste trabalho é apresentado na Figura 2.

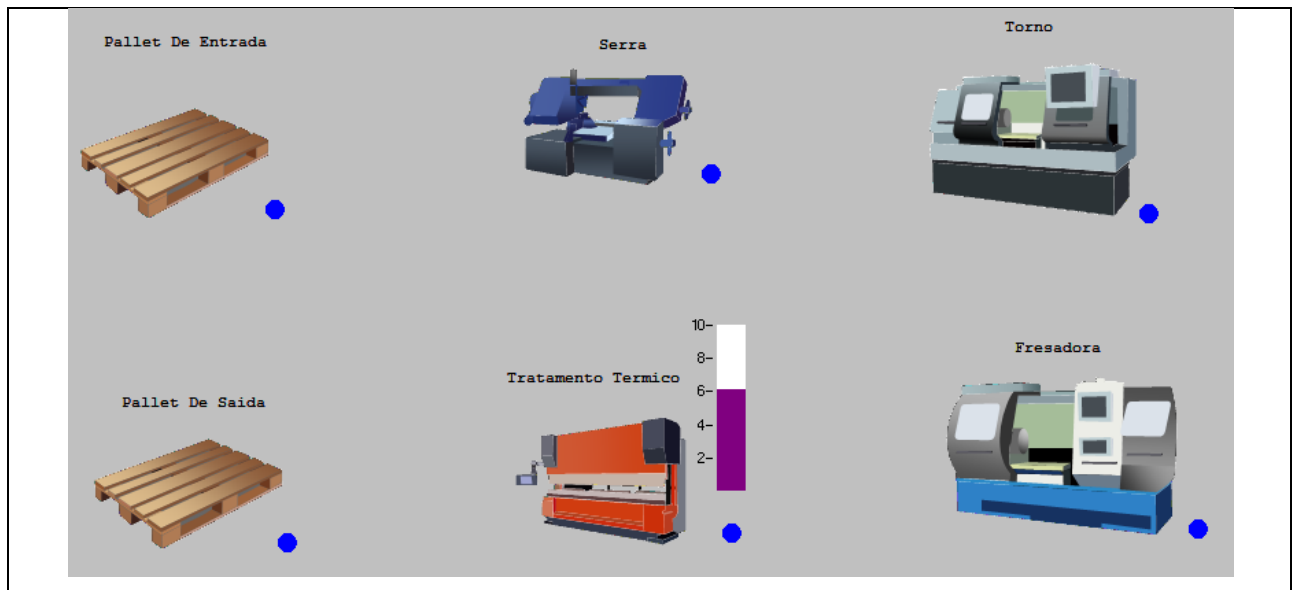


Figura 2: Modelo utilizado.

Fonte: Autoria Própria.

No layout do modelo, apresentado na Figura 2, temos a seguinte disposição dos locais: um pallet de entrada e um de saída, uma serra, um torno e um fresadora, uma unidade para fazer tratamento térmico. No processo a matéria prima entra pelo pallet de entrada depois passa por uma serra, depois de seccionado a peça é torneada e fresada, depois é combinada em lotes que irão passar por um tratamento térmico. O lote acabado é transferido e armazenado no pallet de saída, para depois sair do nosso modelo.

***** * Processamento *****							
Processo				Roteamento			
Entidade	Local	Operação	BI	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimento
Matéria_Prima	Pallet_De_Entrada	Wait 0 min	1	Matéria_Prima	Serra	FIRST 1	Move For 1 min
Matéria_Prima	Serra	Wait 4 min	1	Peca	Torno	FIRST 5	Move For 0.1 min
Peca	Torno	Wait 3 min	1	Peca	Fresadora	FIRST 1	Move For 0.1 min
Peca	Fresadora	Wait 2 min	1	Peca	Tratamento_Termico	FIRST 1	Move For 0.1 min
Peca	Tratamento_Termico	Combine 10					
		Wait 10 min	1	Lote	Pallet_De_Saida	FIRST 1	Move For 0.1 min
Lote	Pallet_De_Saida	Combine 5					
		Wait 3 min	1	Produto_Acabado	EXIT	FIRST 1	
Matéria_Prima	Tratamento_Termico						
***** * Chegadas *****							
Entidade	Local	Quantidade	Primeira Vez	Ocorrências	Frequência	Lógica	
Matéria_Prima	Pallet_De_Entrada	1	0	INF	10		

Figura 3: Logica de processamento.

Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 3 é possível observar o tempo de operação e o número de chegadas no sistema.

2.4 Analise do Simulador

O entendimento do funcionamento do software de simulação é parte crucial para iniciar a integração com o mesmo, dessa forma é possível o reconhecimento das entradas de dados, chamadas de funções, conhecimento de como as planilhas de relatórios estão organizadas. Apesar do fabricante do software possuir uma documentação, a análise é uma etapa que é necessária para validar as informações contidas nesse documento.

O ProModel se trata de um programa proprietário, ou seja, não possui um código aberto que pode ser analisado, aprender como ele foi programado ou como seria possível melhorá-lo. Para tanto é necessário um trabalho de engenharia reversa de software sendo necessário para buscar e identificar informações que não existem no documento fornecido.

Para isso, foi desenvolvido um pequeno software, que realizou o estudo de um modelo escolhido. Após, foi realizado uma simulação para que fossem gerados informações de saída da simulação. As informações do banco dados gerado, fornecidas pelo ProModel após a simulação, foram exportadas para um arquivo compatível com Excel (CSV). Com isso, utilizando informações geradas no próprio ProModel, foram identificadas quais tabelas e campos correspondem as informações desejadas. As informações encontradas nessa etapa foram utilizadas para avaliar e definir uma pontuação tanto no modelo pai quanto em seus descendentes.

2.5 Algoritmo evolutivo

Esse método robusto foi adaptado para os casos de otimizações de modelos, começando de uma solução inicial ele foi o primeiro a ser simulado e ganhar uma pontuação de desempenho. Inicia-se então o trabalho com a geração do primeiro conjunto de descendentes do modelo pai, o algoritmo realiza uma modificação nos locais contidos no modelo pai e gera o primeiro filho. Depois é realizada outra modificação partindo do modelo pai novamente e gera-se outro filho, assim até realizadas modificações correspondentes ao número de locais.

Todos os descendentes gerados são simulados e juntamente com a pontuação do pai passam a competir pela sobrevivência. São analisados com base nos critérios que se deseja obter, aqueles que apresentaram uma melhor adaptabilidade (maior pontuação) e se tornarão os pais para a próxima geração. Aqueles que não apresentaram o resultado desejado são descartados, uma vez que não fazem parte do conjunto de possível solução.

Conforme a mostrado na Figura 4.

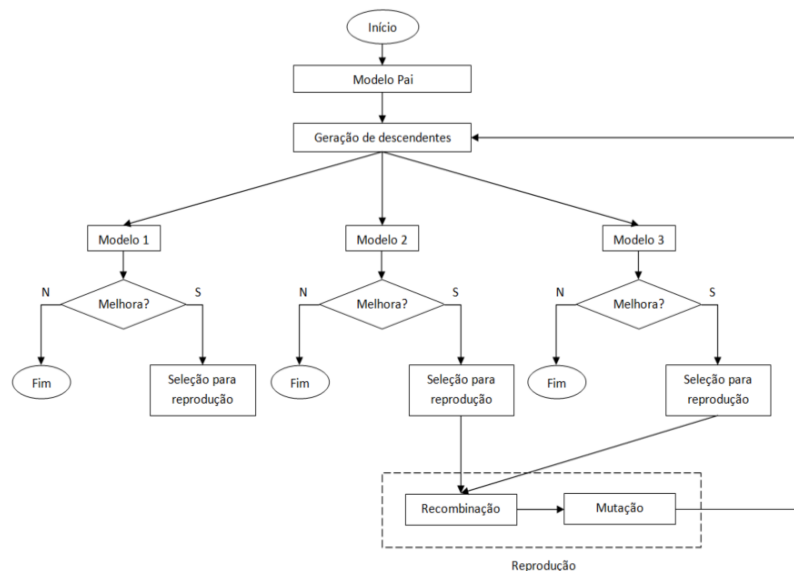


Figura 4: Algoritmo evolutivo.

Fonte: Autoria Própria.

Como pode ser observado a partir de critérios de desempenho são definidos quais filhos tem características para serem selecionados para a próxima geração, sendo esses escolhidos para se tornarem os próximos pais. A segunda geração será obtida a partir de recombinações desses pais, gerando novos descendentes. Esses possivelmente irão apresentar um resultado melhor do que seus progenitores, pois estão combinando as boas características encontrados em duas

soluções. Em virtude de que uma boa solução poder exigir um enorme investimento para que possa ser concretizado, sempre está sendo levado em consideração o valor gasto na busca pela solução, sendo assim então, a solução ótima pode ser desprezada por não ser economicamente viável.

2.6 Identificação as áreas de atuação

Em meio de diversos parâmetros esses foram identificados e classificados para as modificações tenderem ao resultado esperado. Parte dessas informações selecionadas foram utilizada na pontuação de cada modelo, e outra parte foi apenas informativa para o usuário, como custos, por exemplo, ajudando-o a resolver problemas e para que se possa avaliar se estão dentro da margem esperada. A Tabela 1 apresenta as os campos úteis para a otimização.

Tabela	Campo	Item	Relação
1	5	Conteúdo Médio (%)	Locais
1	6	Conteúdo Máximo (%)	Locais
1	8	Utilização (%)	Locais
2	2	Operação (%)	Locais
2	3	Setup (%)	Locais
2	5	Aguardando (%)	Locais
2	6	Bloqueado (%)	Locais
2	7	Parada Não-Planejada (%)	Locais
4	1	Total de Saídas	Entidades
4	3	Tempo Médio no Sistema	Entidades
5	1	% em Lógica de Movimentação	Entidades
5	2	% Aguardando	Entidades
5	5	% Bloqueado	Entidades
6	5	Custo Total (\$)	Locais
7	2	Custo Total (\$)	Entidades

Tabela 1. Elementos definidos para comparação.

Fonte: Autoria Própria.

Os itens apresentados na tabela são:

- O conteúdo médio identifica quanto à máquina teve em média sua capacidade utilizada em todo o momento de simulação.
- O conteúdo máximo identifica quanto à máquina teve no máximo sua capacidade utilizada em todo o momento de simulação, isso pode identificar que em dado instante de tempo a máquina acabou tendo seu uso próximo do máximo possível.
- A utilização identifica o quanto a máquina tem sua capacidade de uso em média.
- Operação identifica o tempo em percentual que estava gerando trabalho.
- Setup, será utilizado para informar ao usuário. Pode-se identificar se o tempo de setup está sendo muito grande, podendo ser solucionado aumentando o número de funcionários realizando a preparação, por exemplo.
- Aguardado corresponde ao tempo que o local se encontra ocioso.
- Bloqueio é o tempo em que a máquina encaminhar a peça para a estação seguinte pois essa está ocupada, esse é um ponto crucial pois pode identificar um gargalo na no modelo que está sendo estudado.
- Parada não-planejada, caso a porcentagem esteja alta é um critério para começar a ser estudados uma maior manutenção e monitoramento do equipamento, muitas vezes uma parada não planejada por quebra, pode apresentar um gasto maior do que uma parada para que seja realizada uma manutenção preditiva.
- Total de saídas representa a produtividade da linha, deve ser observada pois quanto maior mais eficiente será a linha.
- Tempo no sistema é dado pela diferença entre a saída do produto final e a entrada da matéria prima a ser trabalhada, quanto menor o valor mais rápido está sendo produzido o item.
- Porcentagem em lógica de movimentação, esse dado refere-se a entidade, podemos estudar quanto tempo está sendo gasto para que seja movimentado para o próximo local, um valor alto seria um indicativo de que uma alteração de layout na planta seja interessante. Atualmente, as empresas carecem de uma boa organização do espaço físico, determinar o layout, entretanto é uma tarefa difícil que deve ser muito bem estudada [5]. Ele será informado para o usuário para ser tomadas as ações necessárias.
- Percentual aguardando, é quanto uma peça fica parada esperando para ser trabalhada.

- Porcentagem bloqueada, esse dado da entidade é importante, pois identificamos o quanto essa peça passa parada aguardando alguma máquina para atender, indicando que se possível a realização de uma simplificação na forma de ser produzido o produto pode-se trazer inúmeras vantagens, impactando inclusive na quantidade de produto produzido.
- Custos totais dos locais e o valor que o mesmo custa para operar.
- Custos totais das entidades é o valor que cada unidade precisa para ser produzida.

2.7 Geração da pontuação e critérios de escolhas

A fim de ter uma forma de comparação entre os resultados obtidos desenvolveu-se um sistema para realizar uma análise dos resultados obtidos de cada geração. As informações obtidas após a simulação são divididas em duas áreas, uma correspondendo as entidades e outro, aos locais. Em sistemas de produção contínuos, em especial em linhas de montagem e fabricação, é prioritária a obtenção de uma elevada produtividade mediante uma apropriada distribuição de recursos físicos e procedimentos operacionais adequados [17].

Para fazer essa avaliação deve-se levar em consideração a eficiência, disponibilidade (dado pelo tempo operacional, isso é quando não se encontra em quebra), falha, preparação ou setup, entre outros, desempenho do equipamento, variações de ciclo, espera ou bloqueio, falta de pessoal, entre outras [17].

O presente trabalho visou como primeiro critério de avaliação o número de saídas explícitas do sistema. O segundo elemento para avaliação foi escolhido como os totais de saídas da linha. Como terceiro critério considera-se o tempo médio de produção. Sendo assim a linha que possui maior fluidez. Os selecionados irão gerar novos descendentes com características modificadas além de um descendente que combina características de ambos.

Outros fatores como custos de produção, tempo em lógicas de movimentação, custos referentes investimento em maquinário são apresentada ao usuário depois de realizadas as rodadas de simulação, podendo assim com o conhecimento do profissional selecionar a melhor estratégia a se adotar.

Conforme as exigências do projetista, seria possível priorizar outros parâmetros, obtendo-se resultados diferenciados, isso pois há uma falta de terminologia clara e abrangente em empresas ou mesmo na literatura com respeito aos critérios que justificariam uma maior eficiência [17].

2.8 Implementação e desenvolvimento

Foi desenvolvido um software de computador para controlar o ProModel. Inicialmente o software faz a abertura do simulador como uma instância dentro do programa, e foi carregado um modelo especificado (modelo pai) previamente desenvolvido no ProModel, conforme pode ser visto na Figura 5. Após essa etapa foi realizada uma simulação preliminar a fim de coletar as primeiras informações do modelo. Essas informações preliminares orientam se houve ou não uma melhoria do sistema com a geração dos descendentes, gerando um ponto de partida.

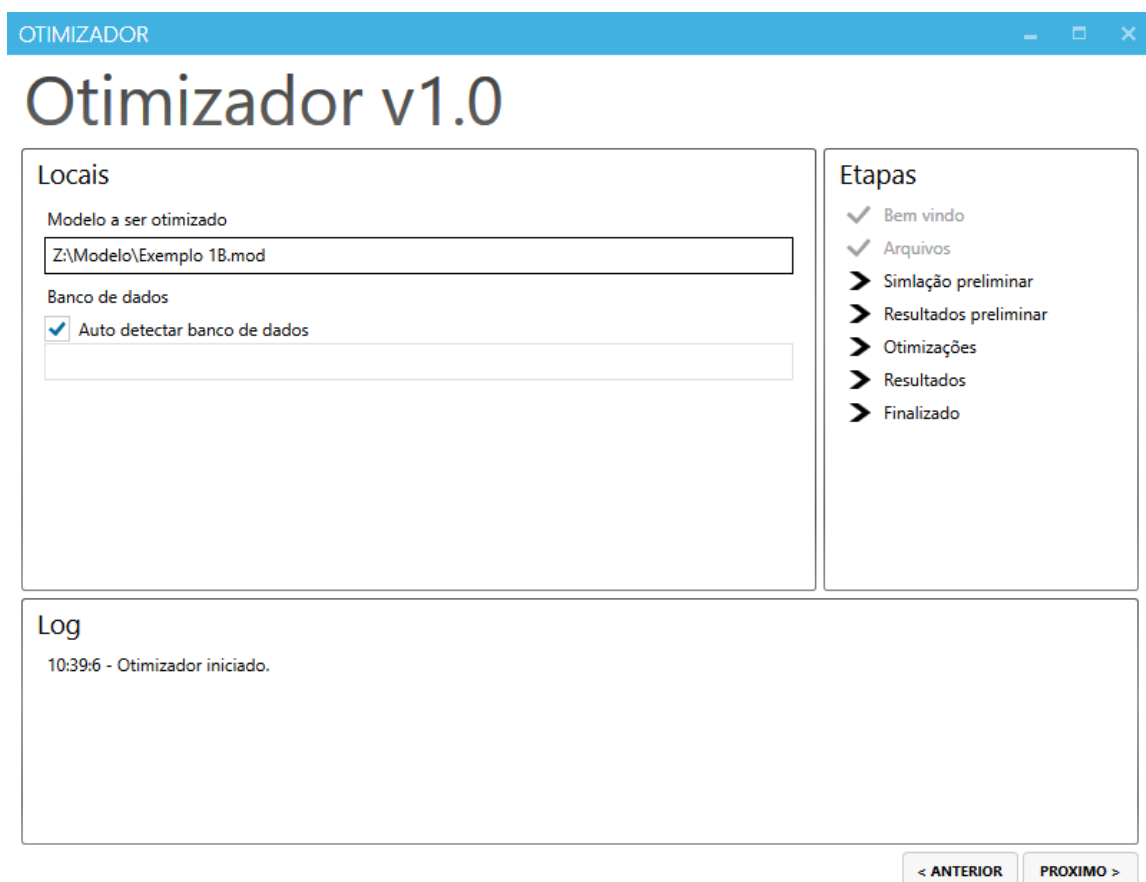


Figura 5: Abertura do modelo pai.

Fonte: Autoria Própria.

Depois de estarem armazenadas as informações iniciais, iniciou-se o algoritmo evolutivo e as primeiras modificações começam a ser geradas. Foi lida a quantidade de locais existente no modelo e o número de entidades a ser observada. Foi realizado então a modificação no número de equipamentos disponíveis no local, gerando o primeiro descendente. Na etapa seguinte foi feita a

alteração da quantidade de equipamentos disponíveis no segundo local, mantendo os outros inalterados, gerando o segundo descendente. Assim sucessivamente até esgotadas as possibilidades de modificações nos locais do modelo (Figura 6). Todos os filhos tiveram sua resposta de simulação coletadas e foi empregada as funções de pontuação para se definir os novos pais utilizados na segunda etapa.

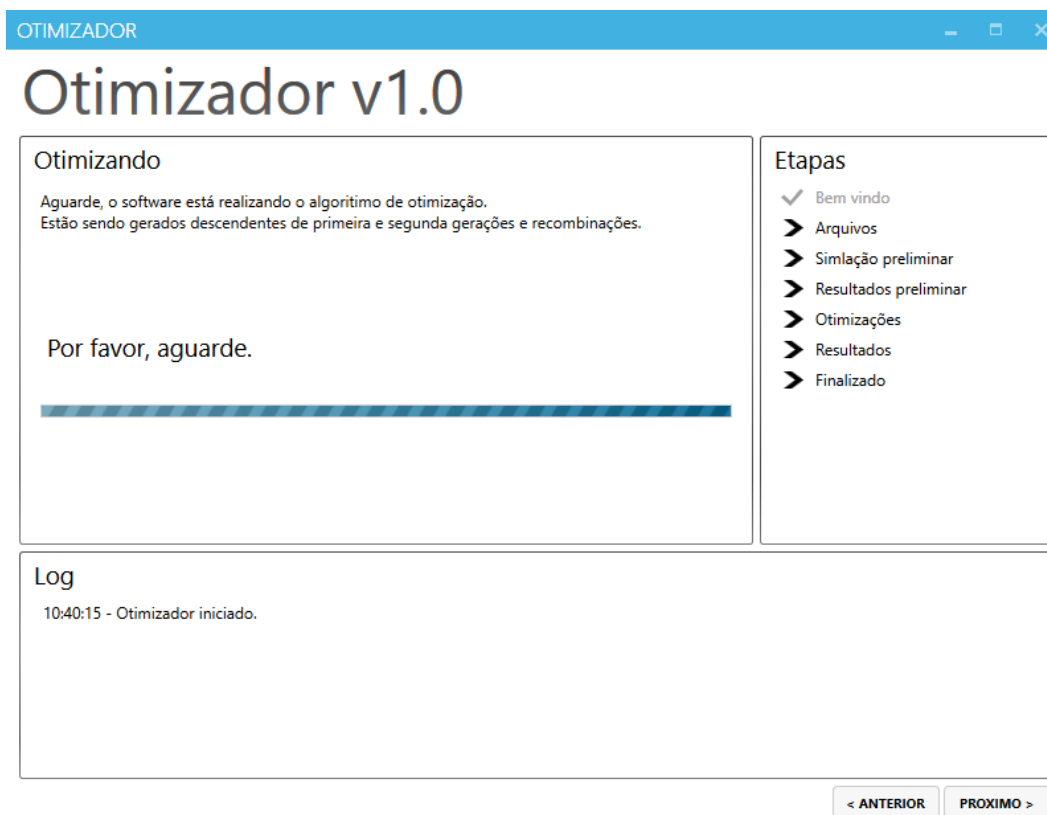


Figura 6: Etapa de otimização.

Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 7 representa o fluxograma de funcionamento do programa.

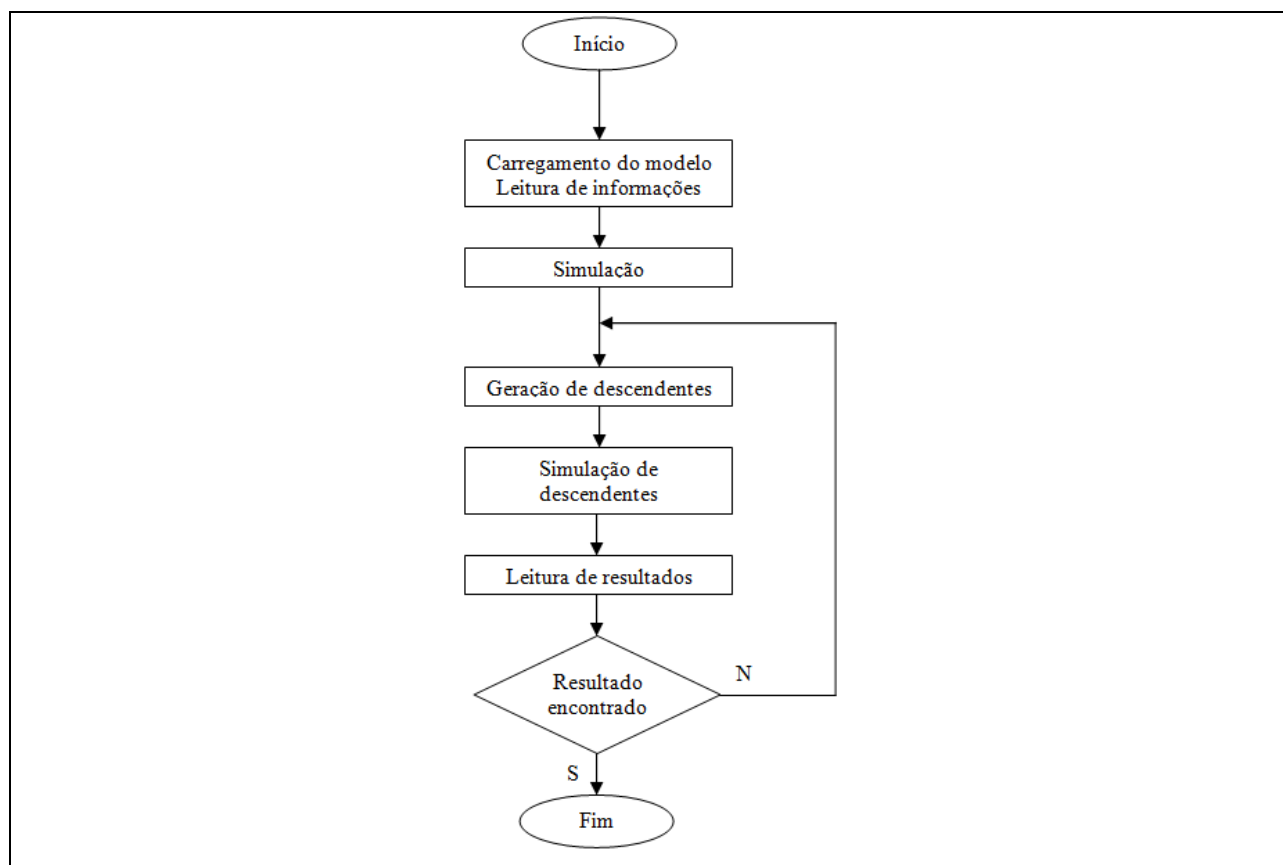


Figura 7 – Algoritmo de fluxo

Fonte: Autoria própria.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1. Introdução

Nesse momento são apresentados os resultados obtidos com aplicação do software de otimização.

3.2 Avaliações dos modelos gerados

A Tabela 2 apresenta a numeração, que foi atribuída para cada item corresponde a um descendente. Assim temos:

Geração	Modelo	
1ª	1	Modelo pai
	2	Primeiro descendente
	3	Segundo descendente
	4	Terceiro descendente
	5	Quarto descendente
	6	Quinto descendente
	7	Sexto descendente

Tabela 2 – Primeira geração de simulação.

Fonte: Autoria Própria.

O modelo pai não apresenta modificações, seu objetivo é servir como referência para as simulações seguintes, assim foi possível comparar melhorias nos outros modelos gerados.

Primeiro descendente foi realizado a modificação no primeiro local no modelo estudado trata-se do pallet de entrada, como é de se esperar o impacto na modificação não será muito positivo, pois o tempo entre entregas é relativamente grande e não apresenta bloqueio nessa etapa.

O segundo descendente foi modificado o número de serras no modelo, essa modificação não deve apresentar melhoras, mas também, por o número de chegadas ser baixo logo não apresenta um gargalo.

Terceiro modelo o número de tornos aumentou para duas unidades, pelo fato da serra seccionar cada matéria prima que chega em seis peças, aumentar o numero de tornos irá gerar alguma possível melhora no quadro geral da linha.

A quarta modificação apresenta duas fresadoras, essa modificação deve gerar alguma possível melhora, pois essa etapa leva algum tempo para ser concluída.

No quinto descendente foi feita uma modificação na estação de tratamento térmico, essa se apresenta como a etapa de trabalho mais demorada, muito possivelmente a modificação nessa estação gerará uma boa melhora no sistema, contribuindo para a diminuição do gargalo da linha.

Por último o sexto filho foi modificado o pallet de saída, assim como no primeiro descendente esse não é de se esperar que apresente algum impacto no modelo estudado, pois também as saídas não apresentam gargalo.

3.3 Avaliações dos resultados obtidos de primeira geração

3.3.1 Avaliações

Para cada uma das simulações rodadas os resultados dos parâmetros foram apresentados pode ser visto na Tabela 2. Demais valores não usados como critério de avaliação foram retirados para facilitar a compreensão.

Modelo	Saídas explícitas	Total de Saídas	Tempo Médio no Sistema
Pai	3	168	137,63
Filho 1	3	168	154,97
Filho 2	3	178	148,11
Filho 3	3	208	112,37
Filho 4	3	178	128,93
Filho 5	3	178	125,35
Filho 6	3	168	137,63

Tabela 2 – Resultados da simulação.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 8 apresenta os valores da Tabela 2 em forma de gráfico, facilitando a leitura.

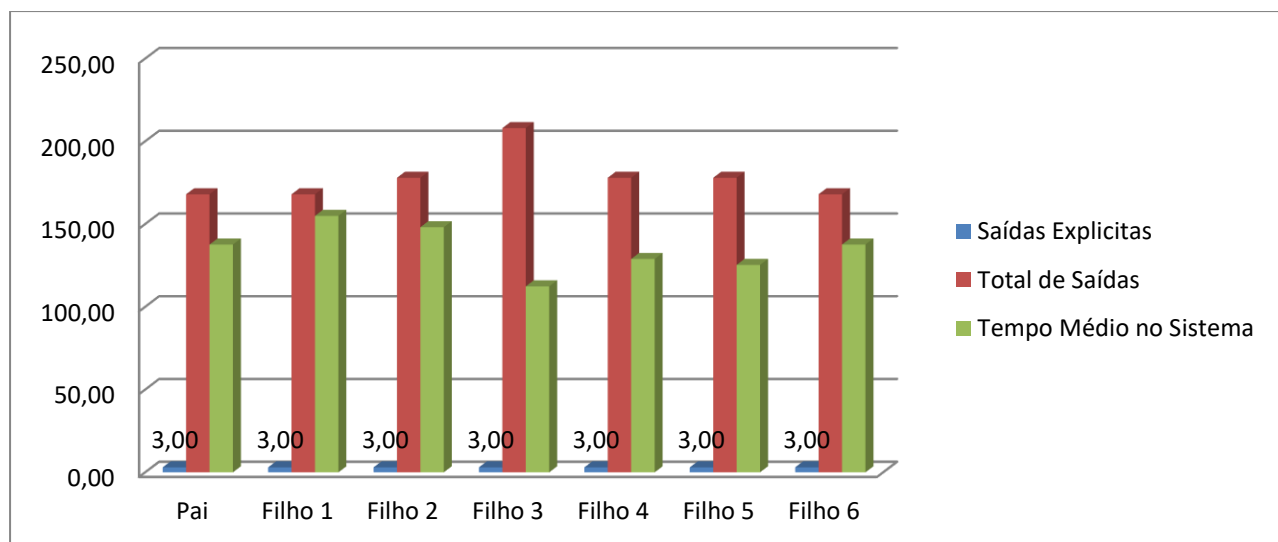


Figura 8 - Gráficos de simulação.

Fonte: Autoria Própria.

Podemos observar na tabela 2 e na Figura 8, a disposição dos valores.

O primeiro critério a ser buscado é a saídas explícitas dos sistemas. Como todos os filhos apresentam o mesmo número de saída, esse critério não será decisivo. O segundo critério, total de saídas, foi escolhido o que apresenta o melhor valor, logo o primeiro pai será filho 3. O segundo progenitor deve-se partir para o terceiro critério, pois os filhos 2, 4 e 5 apresentam o mesmo valor de total de saídas. De acordo com o tempo médio no sistema, será escolhido então o filho 5.

3.3.4 Avaliações dos resultados obtidos de segunda geração

3.3.4.1 Avaliação do primeiro progenitor

O primeiro progenitor da segunda geração foi aquele que apresentou o melhor resultado na primeira rodada, representado pelo filho 3. Ele gerou novos descendentes, os valores podem ser observados na Tabela 3 e na Figura 9.

Modelo	Saídas explícitas	Total de Saídas	Tempo Médio no Sistema
Pai	3	208	112,37
Filho 1	3	208	125,79
Filho 2	4	224	119,05
Filho 3	4	224	108,3
Filho 4	4	244	97,96
Filho 5	4	264	100,4
Filho 6	3	208	112,37

Tabela 3 – Resultado da simulação.

Fonte: Autoria Própria.

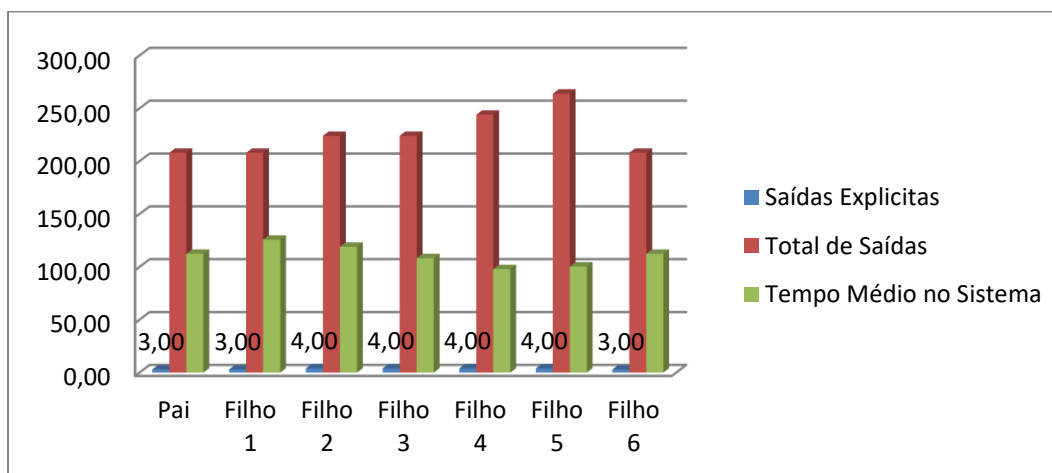


Figura 9 - Gráficos de simulação.

Fonte: Autoria Própria.

Os filhos que apresentaram os melhores resultados, segundo o primeiro critério, são os descendentes 3, 4, 5 e 6. Como esse apresentou empates será considerado o segundo critério, total de saídas, o melhor resultado é representado pelo filho 5, esse possui dois tornos e dois tratamentos térmicos e está destacado na Tabela 3.

3.3.4.2 Avaliação do segundo progenitor

O segundo progenitor da segunda geração foi aquele que apresentou o segundo melhor resultado na primeira rodada, representador pelo filho 5. Ele gerou novos descendentes, os valores podem ser observados na Tabela 4.

Modelo	Saídas explícitas	Total de Saídas	Tempo Médio no Sistema
Pai	3	178	125,35
Filho 1	3	178	140,98
Filho 2	3	198	126,63
Filho 3	4	264	100,4
Filho 4	3	178	125,35
Filho 5	3	178	125,35
Filho 6	3	178	125,35

Tabela 4 – Resultado da simulação de entidades.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 10 apresenta os valores da Tabela 4 em forma de gráfico.

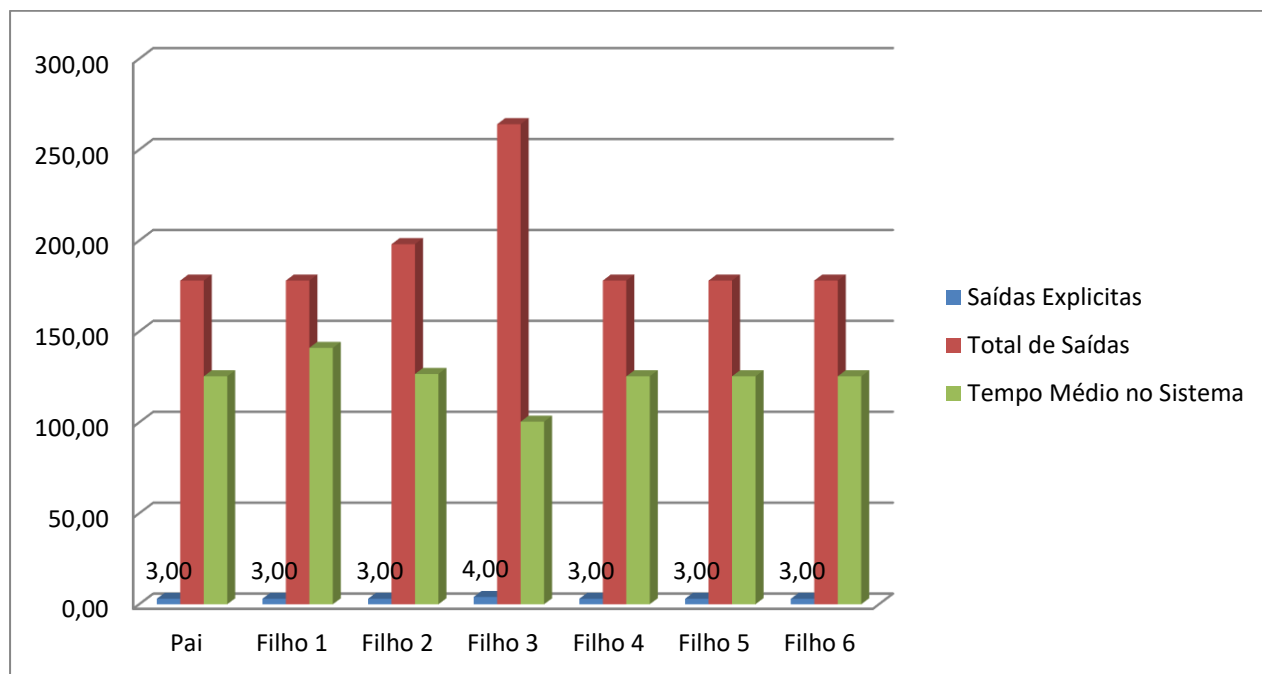


Figura 10 - Gráficos de simulação.

Fonte: Autoria Própria.

O filho que apresenta o melhor resultado segundo o primeiro critério é o descendente 3, esse possui dois tornos e dois tratamentos térmicos destacado na Tabela 4.

3.3.4.3 Resultado Segunda Geração

Segundo resultados obtidos pelo sistema de pontuação, o melhor solução para o modelo utilizado foi o filho 3 da primeira geração e o descendente 5 da geração. O layout pode ser visto na Figura 11.

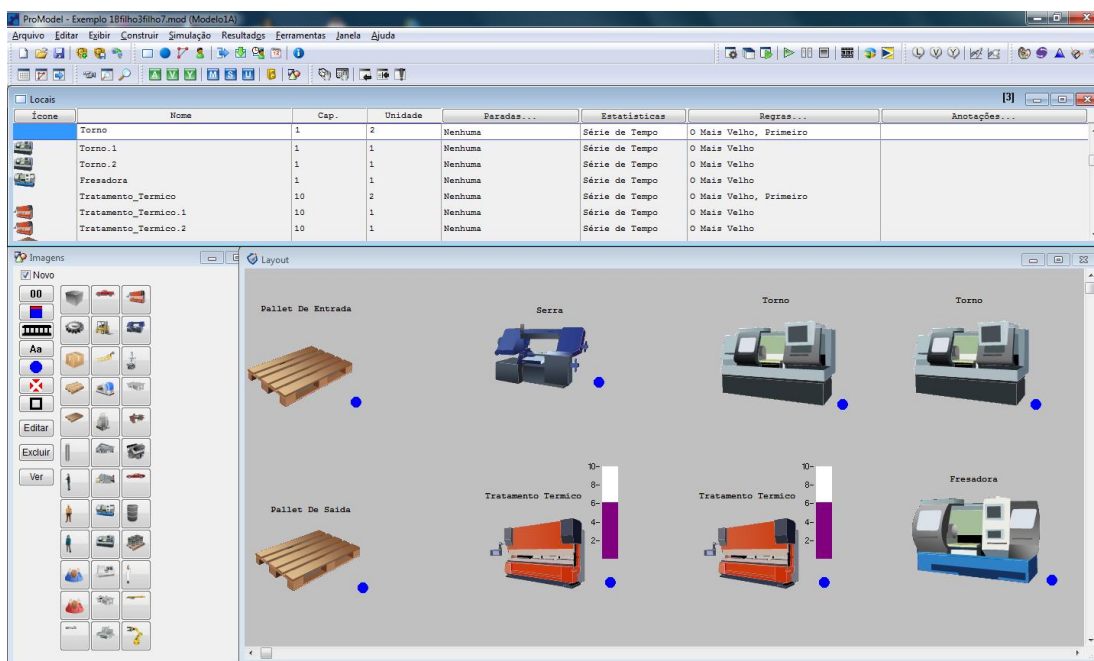


Figura 11 – Melhor modelo de segunda geração

Fonte: Autoria própria.

O modelo apresenta dois tornos que contribuiu para a redução do tempo de produção e duas estações de tratamento térmico. Esse se trata da fusão dos melhores resultados obtidos com os filhos 3 e 5 da primeira geração. Tratando-se assim do elemento que foi realizado a recombinação, apresentando as melhores características de seus progenitores.

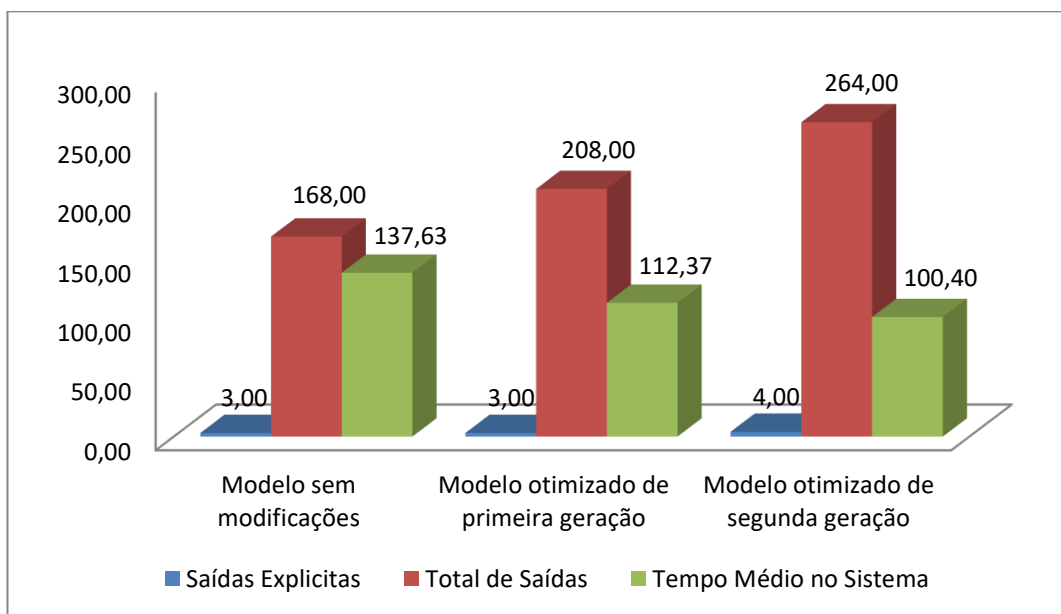


Figura 12 – Melhor modelo de segunda geração comparado com outros modelos.

Fonte: Autoria própria.

Na figura 12 é apresentado um comparativo entre os valores de avaliação dos melhores modelos de cada geração. Como esperado, quando comparado com todos os outros filhos (sejam eles de primeira ou segunda geração), o modelo com melhores índices é representado pela solução de segunda geração.

4. CONCLUSÃO

Esse projeto desenvolveu um programa de otimização e assistente para integração com o software de simulação ProModel. Além da otimização foi empregado conceitos de algoritmos evolucionários e técnicas para fazer o *ranking* dos modelos gerados. As técnicas empregadas visaram diminuir o tempo de convergência para encontrar uma resposta favorável, diminuindo o custo computacional. Os resultados foram demonstrados no modelo de referência.

O software de otimização se mostrou justificável, contribuindo para a investigação de e melhoria de linhas de produção, facilitando o processo de busca a soluções com melhores resultados, e diminuindo o tempo de experimentação. Simplificando e auxiliando profissionais da área, e contribuindo para desfazer a lacuna existente entre simulação e otimização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LIM, M. K.; Zhang, Z. - A multi-agent based manufacturing control strategy for responsive Manufacturing. Journal of materials processing technology 139 (2003)
- [2] PIERREVAL, H.; TAUTOU, L. - Using evolutionary algorithms and simulation for the optimization of manufacturing systems. IIE Transactions (1997)
- [3] HARREL, Charles R; et al – Simulação: otimizando sistemas, IMAM, ISBN: 8589824438 136p. (2002)
- [4] PIDD, M. - Five simples principles of modelling, Winter Simulation Conference – Lancaster University (1996)
- [5] SILVA, Wesley Alves da; Otimização de parâmetros na gestão baseada em atividade aplicada em uma célula de manufatura. Universidade Federal de Itajubá. Dissertação (2005)
- [6] TORGA, Bruno Lopes Mendes – Modelagem, simulação e otimização em sistemas puxados de manufatura, Itajubá: UNIFEI, 2007
- [7] CHWIF, Leonardo – Utilizando simulação de eventos discretos em projetos de sistemas automatizados de manufatura; Simulate Tecnologia de Simulação Ltda
- [8] PAIVA, Cibele Nogueira - A relevância do fator humano na simulação computacional. Universidade Federal de Itajubá. Dissertação (2010)
- [9] TRUONG, Tu Hoang; AZADIVAR, Farhad – Simulation based optimation for supply chain configuration design, Winter Simulation Conference – Lancaster University (2003)
- [10] RIBEIRO, Paulo Henrique Gabriel; DELBEM, Alexandre Cláudio Botazzo – Fundamentos de Algoritmos Evolutivos

[11] OLIVEIRA, Alexandre César Muniz de; LORENA, Luiz Antonio de Nogueira - Algoritmos evolutivos para problemas de otimização numérica com restrições, Instituto nacional de pesquisas espaciais (INPE)

[12] MICROSOFT, Visual C#. Disponível em: <https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/kx37x362.aspx>. Acesso em: 21 set. 2015.

[13] ECMA, C# Language Specification. Disponível: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/Ecma-334.pdf> . Acesado em 20 set 2015.

[14] TIOBE Software Inc. Disponível: <http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>. Acesso em 14 nov. 2015.

[15] ProModel Corporation. Disponível: <http://www.promodel.com/newsletter/2014/summer/productnews.asp>. Acessado em 22 set 2015.

[16] BELGE. Disponível: <http://www.belge.com.br/promodel-intro.php>. Acessado em 22 set 2015

[17] MORAES, Luis Henrique; SANTORO, Miguel Cezar – Medida de eficiência em linhas de produção, XXXVI Enegep (2006)