

APLICAÇÕES DE TÉCNICAS DE ECOLOGIA INDUSTRIAL PARA REAPROVEITAMENTO DE MATÉRIA-PRIMA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE CORTE DE AÇO

BEATRIZ DROZINO

MÁRCIA MARCONDES ALTIMARI SAMED

Resumo

O problema de corte bidimensional objetiva maximizar o corte de peças minimizando o uso de material, e dessa forma reduzir seu desperdício. Esse problema é questão recorrente à metalúrgicas de corte de chapas de aço. Chapas de aço de tamanho padronizado devem ser otimamente consumidas a fim de garantir sua total utilização e evitar geração de subprodutos, esse cenário não é ideal e a geração destes acontecem. Os subprodutos gerados, chamados de retalhos, possuem dimensões reduzidas e restritivas. Os retalhos são considerados desperdícios e uma falha do processo. Eles podem ser vendidos como sucata, retornando cerca de 10% de seu valor original, ou reintegrados ao processo produtivo, tornando-se produtos comercializáveis e com valor agregado. Esse trabalho busca reformular o processo de reaproveitamento desses materiais em uma metalúrgica especializada em corte e dobra de aço, na região de Maringá. O estudo foi desenvolvido com o objetivo de reestruturar a maneira a qual os retalhos são reinsertidos ao processo produtivo como matéria-prima nova, fazendo com que possam ser reprocessados para geração de novos produtos solicitados. O processo de reinsertão de retalhos foi automatizado, por meio do sistema gerencial da empresa, a fim de garantir a viabilidade e rentabilidade de seu uso.

Palavras-chave: *problema de corte; retalhos, ecologia industrial.*

Abstract

The goal of two-dimensional cutting is to maximize the number of processed products minimizing the use of material, and thus reducing its waste. This problem is a recurring issue for metallurgical industries. Standard size steel sheets should be optimally consumed to ensure its full utilization and avoid generation of by-products, this scenario is not ideal and the generation of these by-products is a reality. The by-products generated, have small and restrictive dimensions. They are considered waste and a failure in the process. They can be sold as scrap, returning about 10% of their original value, or reintegrated into the production process, becoming marketable and value-added products. This work proposes to reformulate the process retrofit of these materials in a metallurgical industry specialized in steel cutting and bending, in the region of Maringá, Brazil. The study was developed with the objective of restructuring the way the generated by-products are reinserted into the productive process as a new raw material, so they can be reprocessed to generate new requested products. The process of reinsertion was automated, through the management system of the company, to guarantee the viability and profitability of its use.

Key-words: *cutting problem, by-products, industrial ecology.*

1. Introdução

O problema de corte almeja produzir a maior quantidade de peças ou produtos consumindo a menor quantidade de material possível, tal paradigma é uma questão recorrente às metalúrgicas que realizam o corte de chapas de aço. Peças de diversas dimensões, espessuras e quantidades precisam ser distribuídas em chapas, de largura e comprimento fixos, e o encaixe das mesmas pode não ser ideal, acarretando na geração de chapas com dimensões reduzidas, não padronizadas, e restritivas ao corte de determinadas peças devido aos seus tamanhos.

Materiais provenientes da situação descrita, chamados retalhos, são considerados perdas do processo de corte. Para mantê-los é necessário catalogá-los e armazená-los, consumindo assim mão de obra e espaço físico, descartá-los significa diminuir o percentual de aproveitamento de matéria-prima.

Com relação à sua fase de programação, que antecede o corte, suas especificidades dificultam tal processo, é necessário identificar um retalho de dimensões suficientemente grandes a comportar determinada quantidade de peças, e minimamente pequenas, a fim de minimizar ainda mais as perdas. Neste contexto o presente estudo busca auxiliar uma metalúrgica que realiza corte de chapas de aço e armazena retalhos provenientes do mesmo. Dimensões mínimas e comuns de diversos retalhos serão mapeadas e peças de produção frequente, que se encaixam em tais dimensões, identificadas. Esse procedimento buscará aprimorar o processo de utilização de retalhos na empresa em que o estudo é realizado. Reduzindo o tempo de programação demandado por esse tipo de matéria-prima através da proposição de uma nova forma de utilização dos retalhos produzidos pela empresa, busca-se aumentar a utilização dos mesmos proporcionalmente ao aumento de produtos provenientes destes.

A empresa a qual o estudo é proposto conta com cerca de cem funcionários e está localizada no parque industrial de cidade de Maringá - PR. O sistema de integração de informações, *Enterprise Resource Planning* (ERP), está presente e é utilizado em todos os setores, esse sistema é capaz de monitorar quantidade, peso e dimensões de chapas padronizadas e retalhos presentes na mesma.

A programação de corte inicia-se no Departamento Técnico, onde o programador, através do software de apoio fornecido pelo fabricante das máquinas de corte, estabelece quantidade e disposição das peças no material a ser processado. A instrução deste programador é a de almejar o uso completo da chapa, gerando a menor quantidade de retalhos possível. Após o corte os retalhos gerados nesse processo são temporariamente armazenados em um dispositivo para

que o responsável pelo setor de armazenagem os catalogue e insira suas informações no ERP, o que ocorre a cada dois dias.

A área de armazenagem dos retalhos já catalogados é aberta e não possui restrições de entrada aos colaboradores, a programação e o corte são mais trabalhosos e demorados para processar esse tipo de material devido às suas especificidades de largura e comprimento. Uma mesma programação para retalhos só é reutilizada em caso destes possuírem dimensões exatamente iguais.

O desenvolvimento e implantação do novo modelo de utilização dos retalhos conta com participação direta dos funcionários responsáveis pelo processo de programação e controle de armazenagem assim como com o aval da diretoria da empresa.

O desenvolvimento deste trabalho consiste em propor um modelo de reaproveitamento de chapas de aço de dimensões reduzidas. São abordados conceitos relacionados à problemas de corte, desperdícios e reaproveitamento de materiais. A seguir são apresentados, separadamente, os objetivos gerais e específicos.

O objetivo geral do trabalho é desenvolver um modelo de reaproveitamento de retalhos de chapas de aço em uma metalúrgica. Como objetivos específicos, tem-se:

- Mapear o processo de utilização de retalhos.
- Diagnosticar perdas provenientes desse processo.
- Desenvolver e estruturar um modelo do reaproveitamento de materiais gerados no processo de corte.
- Implantar o modelo desenvolvido previamente.

O capítulo 1 apresenta a introdução ao trabalho que será desenvolvido, assim como as justificativas e objetivos do mesmo.

No capítulo 2 do trabalho os principais assuntos que fundamentam a construção deste são definidos e em seguida é realizada a revisão bibliométrica sobre o assunto, a qual é composta por uma análise quali-quantitativa.

O capítulo 3 descreve o desenvolvimento do estudo de caso, detalhando a metodologia do mesmo e a empresa. Seus processos e perdas são analisadas e as principais dificuldades do processo descritas.

No capítulo 4, com base nas informações levantadas previamente, é proposto um novo processo de reintegração de retalhos na cadeia produtiva da empresa, bem como detalhado seu processo de implantação. Por fim são descritos os resultados esperados após a integração deste.

2. Revisão de literatura

Nesse capítulo é feita a revisão conceitual dos tópicos que norteiam a pesquisa desenvolvida e então apresentado a revisão bibliométrica do assunto abordado.

2.1. Revisão conceitual

Na revisão conceitual são apresentados conceitos que fundamentarão a compreensão e desenvolvimento deste trabalho.

2.1.1. Ecologia industrial

Para Marinho e Kiperstol (2001) a Ecologia Industrial almeja prevenir a poluição através, não somente da redução da utilização de matéria-prima, mas também, através da inserção de subprodutos ou resíduos do processo produtivo de volta ao mesmo. Teixeira (2005) complementa que “o que é considerado resíduo em um sistema industrial é usado em outro sistema como insumo”, fazendo com que a matéria-prima percorra diversas unidades produtivas.

Giannetti *et al.* (2007) relaciona a Ecologia Industrial a um conjunto de elementos interligados (empresas e fábricas) os quais interagem entre si, cujo objetivo dessa interação é o de alcançar o uso ou reuso total de materiais, evitando qualquer tipo de desperdício ou emissão. Os autores ainda relatam o paralelo que tal conceito traça entre ecossistemas e sistemas industriais, considerando que toda saída do processo, subproduto, deve ser continuamente reinserido à cadeia produtiva do sistema.

Chertow (2001) mostra que essa interação se dá em diferentes níveis: dentro da própria empresa, entre as empresas e em uma escala regional/global. Para que a Ecologia Industrial consiga ter essas abrangências, os autores trazem exemplos de ferramentas que fazem com que as empresas consigam ter êxito nas práticas ecológicas. Dessa forma, algumas dessas ferramentas são: Produção mais Limpa, Prevenção da Poluição, Simbiose Industrial, Análise de Fluxo de Substância e Energia, Química Verde e etc.

2.1.2. Produção mais limpa

Furtado (2002) enfatiza que o princípio básico das ferramentas de Ecologia Industrial é a eliminação de resíduos durante o processo produtivo, não especificamente no final da cadeia produtiva, mas sim, ao longo dela tornando-a mais racional e otimizando suas ações, consumo de matéria-prima e subprodutos.

Técnicas de Produção Mais Limpa objetivam a conservação de matéria-prima e eliminação e redução de resíduos através da análise do ambiente produtivo, sob perspectivas tecnológicas e gerenciais, abordando atividades, suas causas e efeitos. Dessa forma tecnologias limpas resultam no aumento de produtividade e economia de recursos (Medeiros *et al.* 2007). Tais recursos podem ser classificados em diversas categoriais, os recursos aqui analisados são caracterizados como resíduos sólidos.

2.1.3. Caracterização do resíduo de corte

A norma ABNT NBR 10.004:2004 define Resíduo Sólido como “resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”.

Butter (2003) destaca que resíduos industriais possuem características específicas ao envolverem elementos da logística aplicada, tais como Logística de materiais (atividades de geração, tratamento, transporte e armazenagem), de distribuição (atividades de movimentação) e interna (classificação e coleta).

Em 2004 o governo federal a partir do Ministério do Meio Ambiente elaborou uma Política Nacional de Resíduos Sólidos para que as empresas fossem norteadas com relação às destinações desses tipos de resíduos. Os objetivos elencados são:

- a) Proteção à saúde pública e qualidade ambiental;
- b) Não geração, redução, reciclagem, tratamento dos resíduos e destinação final;
- c) Desenvolvimentos e adoção de tecnologias limpas como minimização de impactos ambientais;
- d) Incentivo a reciclagem;
- e) Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável;
- f) Desenvolvimento de sistema de gestão ambiental para melhoria de processos produtivos.

O próximo conceito necessário a compreensão do desenvolvimento do estudo aborda sistemas de auxílio a manufatura e design.

2.1.4. Sistemas CAD/CAM

Sistemas *Computer Aided Design* (CAD) / *Computer Aided Manufacturing* (CAM) auxiliam na interpretação de geometrias de peças, e através de sua representação geométrica, é possível realizar a programação e produção das mesmas, simular cenários produtivos e estimar tempo de processo (Meneghello 2003).

Essa integração é utilizada para simplificar o processo de programação de máquinas, onde tais softwares suportam a programação *Computer Numerical Control* (CNC), gerando os percursos de comandos numéricos (NC) de forma automatizada. Esses comandos numéricos orientam o posicionamento de um órgão mecânico, onde seus movimentos são definidos e elaborados de forma automática através de um programa CAM (Andrade, 2010).

Segundo Kong (2003) esse sistema começou a ser amplamente utilizado na década de 90, quando a criação de sistemas operacionais e *hardwares* robustos fizeram com que os sistemas CAD/CAM da época, que em sua maioria eram baseados em sistemas menos avantajados, fossem mais fáceis de serem implementados. Em paralelo, os custos desses sistemas diminuíram relativamente proporcionando a pequenas empresas adquirirem esse tipo de sistema, aumentando amplamente sua utilização.

Com base nessas definições pode-se então abordar a questão relacionada aos problemas de corte.

2.1.5. Problema de corte

Para Limeira e Yanasse (2001) o problema de corte consiste em determinar a “melhor maneira de cortar itens, com dimensões e quantidades específicas, de objetos com dimensões específicas de forma a otimizar uma função objetivo, como a minimização dos custos”. Os autores ainda mencionam que o padrão de corte é definido pelos itens a serem cortados de um objeto bem como a disposição deles no objeto para a realização dos cortes em sua produção.

De acordo com Silveira e Morabito (2002) o problema de corte busca estabelecer a melhor forma de produzir um conjunto de peças utilizando a menor quantidade de material possível, tal problema é característico de processos industriais onde o corte do material,

disponível em estoque, correspondem a barras de aço, bobinas de papel e alumínio, placas metálicas e de aço, etc., e as peças, com dimensões específicas, são encomendadas através de uma carteira de pedidos de clientes. Através da otimização desse processo busca-se a redução do desperdício de material, o qual pode ser classificado em sucata ou retalho, e retorna ao processo produtivo como matéria-prima.

Cherri (2006) destaca que durante o processo de corte perdas inevitáveis acontecem, podendo ou não serem descartadas, sendo estas qualquer pedaço cortado ao qual não foi requisitado pelo cliente. A autora ainda menciona uma alternativa para solução desse problema, padrões de corte que limitem as perdas e cujas dimensões permitam seu reaproveitamento como matéria-prima.

Porém Cherri *et al.* (2012) relembram que a quantidade de retalhos produzidos precisa ser monitorada, sua armazenagem demanda espaço e, caso o período que estes são mantidos em estoque seja muito longo, pode fazer com que os mesmos se tornem impróprios para o corte e transformem-se em sucata. Menegon *et al.* (2003) ainda menciona que estoque é um dos sete tipos de desperdícios da produção, destacando que estoque de matéria-prima implica em desperdício de investimento e espaço.

2.1.6. Mapeamento de processos

Segundo Villela (2000) mapeamento de processos é uma ferramenta analítica de cunho gerencial indispensável para líderes e organizações que buscam em inovação e a implantação de melhoria contínuas além da criação de uma estrutura de criação de novos processos. O mapeamento de processos é essencial para desafiar os processos existentes além de criar a oportunidade de crescimento do desempenho organizacional. A autora também destaca que o mapeamento de processo também ganha importância por sua função de registro e documentação histórica da organização.

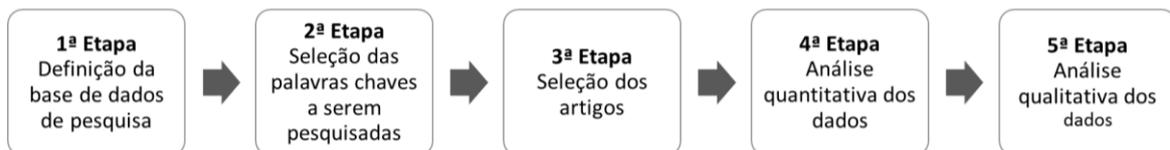
Para Hunt (1996) uma análise estruturada de processos permite atuar na redução de custos do desenvolvimento de produtos, serviços, falhar de integração de sistemas e melhorias no desempenho organizacional. O autor enfatiza também que a utilização dessa excelente ferramenta permite um melhor entendimento dos processos atuais das organizações e eliminações ou simplificações dos que precisam de mudanças.

2.2. Revisão bibliométrica

O objetivo da pesquisa bibliométrica é o de quantificar o número de artigos publicados na última década e avaliá-los qualitativa e quantitativamente. Esse processo iniciou-se com a definição da base de dados a ser utilizada, onde optou-se pela utilização da plataforma de pesquisa “Portal de Periódicos Capes/MEC”. A busca foi realizada com as seguintes palavras-chave: “Problema de Corte”, “Corte a Laser”, “Corte de Chapas”, “Resíduos de Corte” e “Corte a Laser” + “Resíduos” + “Aço”.

A Figura 1 ilustra as etapas seguidas para o processo de revisão bibliométrica.

Figura 1 – Etapas da Revisão Bibliométrica



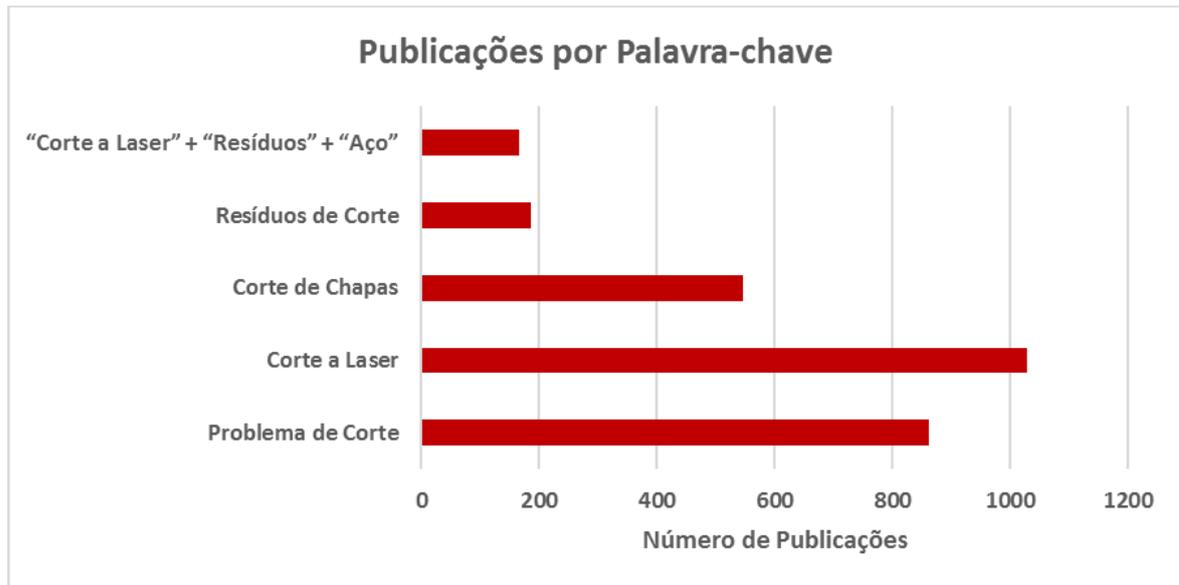
Fonte: Autoria própria (2017)

Ao buscar pela expressão “Problema de Corte”, cerca de 862 publicações foram encontradas, a expressão “Corte a Laser” retornou um total de 1030 artigos, “Corte de Chapas” 546, já para “Resíduos de Corte” os resultados caíram para 185 e por fim para a combinação das expressões “Corte a Laser” + “Resíduos” + “Aço” foram encontrados um total de 166 publicações. As publicações consideradas na análise foram publicadas entre os anos de 2006 e 2016.

2.2.1. Análise quantitativa

A partir dos dados coletados foi construído o Gráfico 1, onde os trabalhos selecionados foram organizados de acordo com sua palavra-chave correspondente.

Gráfico 1 – Número de Publicações por Palavra-chave



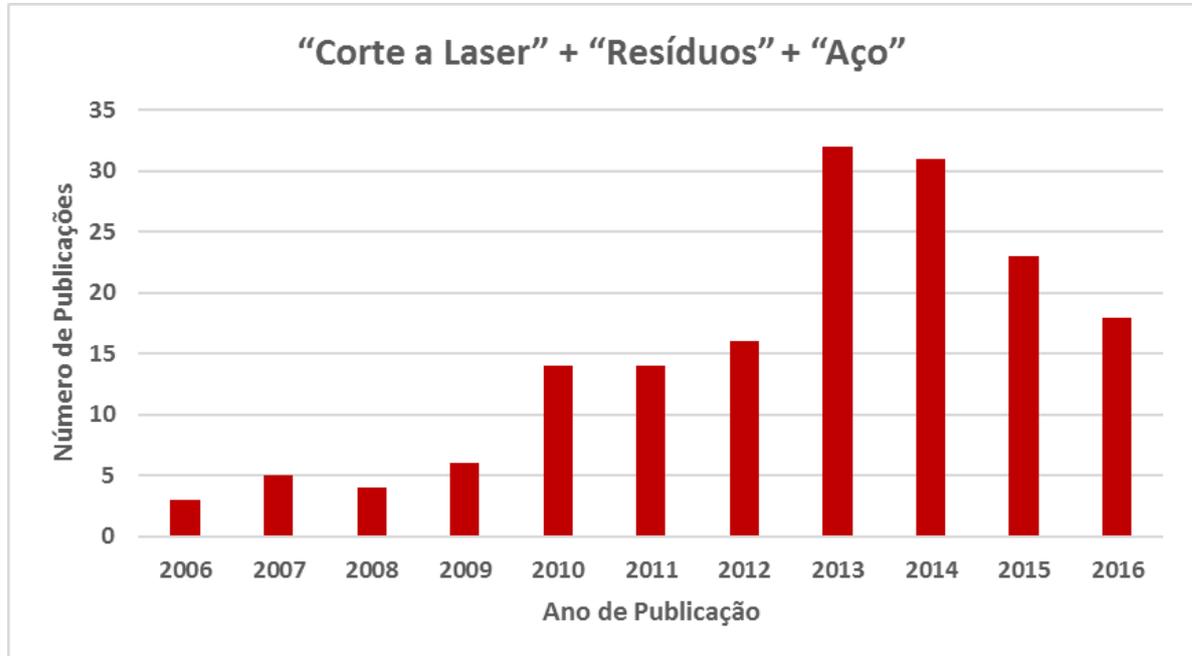
Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Observa-se que palavras chaves que abordam assuntos mais amplos, tal como "Problema de Corte" ou "Corte a Laser" resultaram na maior parte de publicações analisadas, correspondendo a 67,84% das publicações, 1892 das 2789 analisadas.

Os artigos mais relevantes ao desenvolvimento desse trabalho foram encontrados na amostragem resultante da busca de combinações das palavras "Corte a Laser" + "Resíduos" + "Aço", as quais correspondem a 166 publicações, correspondendo a cerca de 6% da amostra total analisada.

É a partir dessa amostra que o Gráfico 2 é construído, o mesmo apresenta a quantidade de artigos resultantes dessa busca relacionados a seus respectivos anos de publicação.

Gráfico 2 – Publicações por Ano



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Entre os anos de 2006 e 2013 é possível notar o constante crescimento no número de publicações relacionadas aos assuntos abordados, se comparadas as publicações de 2013 com as de 2006 constata-se um crescimento de cerca de 966%. Porém, é também necessário destacar a diminuição no número de trabalhos nos últimos três anos analisados, uma das explicações para essa tendência é a de que as publicações referentes a tais anos podem ainda não ter sido disponibilizadas ou adquiridas pela plataforma de pesquisa utilizada neste trabalho.

2.2.2. Análise qualitativa

Dentre os 166 trabalhos, da busca de combinações das palavras "Corte a Laser" + "Resíduos" + "Aço", foram selecionados cinco os quais se encaixam no contexto estudado sobre problemas de corte, geração de resíduos e aproveitamento de material.

No processo de seleção desses trabalhos nenhum deles enquadrou-se em todos os temas buscados, e mesmo aqueles que abordam os temas de interesse à construção deste trabalho, afastam-se em seus desenvolvimentos dos objetivos aqui almejados. A seguir é apresentado um breve resumo de cada um desses trabalhos selecionados.

Cherri e Vianna (2010) destacam que um dos principais problemas nas indústrias metalúrgicas é a produção de cortes de peças para estoque, pois as qualidades dos padrões estão ligadas aos tamanhos e as quantidades desses itens. O tamanho desses cortes tem relação direta a esses problemas, devido ao tamanho das sobras serem grandes demais para ser consideradas retalhos e pequenas demais para que as mesmas sejam inseridas no estoque da empresa. Sendo assim, foram estudadas heurísticas unidimensionais e bidimensionais, presente na literatura a fim de elencar a que apresenta a maior eficiência no processo de programação dos cortes, assim, as heurísticas unidimensionais usadas foram: Procedimento FFD (Alocação de Itens em ordem decrescente), Procedimento Guloso, Residuais de Arredondamento Guloso (RAG) e Heurística Residual. A heurística bidimensional usada foi o algoritmo Grafo E/OU. Para fazer a análise de cada heurística foram realizadas análises computacionais e os autores constataram que a heurística Residual de Arredondamento Guloso apresentou um melhor aproveitamento dos materiais, tanto nos problemas unidimensionais como bidimensionais.

Silva *et al.* (2013) discutem o problema de corte de estoque unidimensional com sobras aproveitáveis (PCESA), o qual objetiva minimizar perdas e caso estas ocorram que as mesmas sejam armazenadas a fim de serem reutilizadas posteriormente no processo. Silva *et al.* propõem uma solução para tal problema baseando-se no modelo de Gilmore e Gomory, onde padrões de corte são estabelecidos para geração ou não de retalhos e o número deste é limitado. Através da simulação do problema proposto pela equipe a mesma concluiu que quanto maior a quantidade de retalhos gerados, menor é a perda. Os autores fazem uma ressalva que tais retalhos gerados na simulação proposta não são considerados como materiais a serem cortados posteriormente.

Coelho (2015) traz uma visão diferente sobre a problemática apresentada e sobre as soluções apresentadas na literatura. O problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis (PCESA) é norteador pelas teorias *Ecological Modernization* e Produção Mais Limpa, fazendo uma ponte entre a pesquisa operacional e sustentabilidade. O trabalho faz a inserção da hipótese de venda desses retalhos caso seja mais viável do que serem reutilizados no processo produtivo. De acordo com a autora, essa prática aumentaria o lucro da empresa além de resolver o problema anteriormente citado. Para modelar o problema de corte de estoque com sobra aproveitáveis e venda de retalhos (PCESAVR), foi utilizado o método heurístico Simplex, além de simulações estáticas em análises computacionais. Assim, o desenvolvimento do trabalho mostrou que utilizando a hipótese de venda, é possível aumentar o lucro e ainda a diversidade dos objetos em estoque ao aceitar a geração de retalhos.

Dalé *et al.* (2010) realizaram uma pesquisa de campo em quatro empresas a fim de verificar a importância dos pilares da sustentabilidade: Econômico, Ambiental e Social na cadeia de suprimentos das mesmas. Os critérios utilizados nas quatro empresas participantes foram: i) empresas do ramo industrial; ii) empresas participantes como uma empresa central de uma cadeia de suprimentos; iii) empresa que desenvolva práticas sustentáveis; e iv) empresas com disponibilidade para participar da pesquisa. Os dados foram coletados através de entrevistas com colaboradores das empresas estudadas e os autores puderam concluir que as empresas conhecem o termo sustentabilidade, mas não sabem aplicar os seus conceitos. Foi verificado também que, por serem empresas centrais em uma rede de suprimentos, as mesmas não cobram de seus fornecedores e clientes a aplicação de sustentabilidade em seus processos. Analisou-se também que as empresas acreditam que a sustentabilidade e suas ferramentas podem trazer ganhos significativos, principalmente econômicos.

Pôde-se notar com o desenvolvimento da pesquisa bibliométrica a falta de artigos à respeito da problemática abordada neste trabalho. Na literatura foram encontrados artigos os quais as temáticas encaixavam-se majoritariamente na área de estudo de Pesquisa Operacional ou então de Reaproveitamento e Sustentabilidade. Vê-se, portanto, nessa constatação a oportunidade de contribuição acadêmica de um estudo que releve aspectos sustentáveis e conceitos sobre otimização na reintrodução na cadeia produtiva e reprocessamento de resíduos provenientes do corte de chapas de aço.

3. Estudo de caso

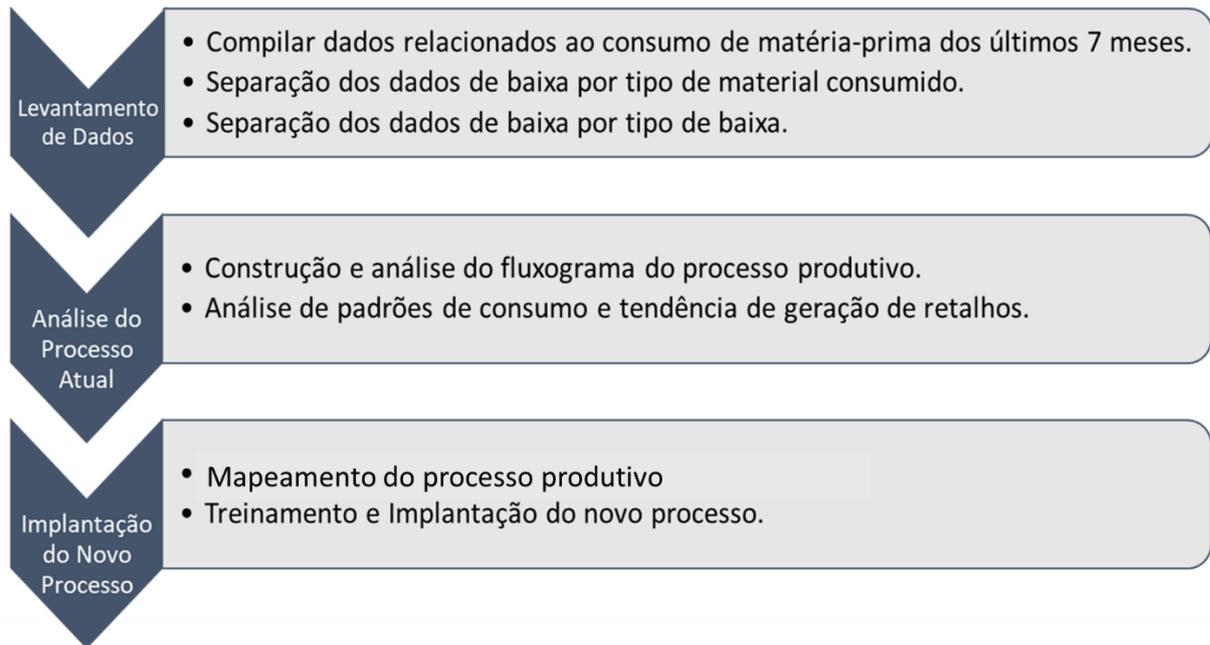
Neste tópico é abordada a metodologia que norteou o desenvolvimento desse estudo de caso. Em seguida é apresentado o estudo de caso desenvolvido, detalhando as características da empresa onde este foi aplicado, o mapeamento de processos e análise de perdas.

3.1. Método de pesquisa

O estudo desenvolvido tem caráter qualitativo face às suas preocupações com processo e descrições deste sob perspectiva dos envolvidos (Bogdan & Biklen, 2003), e quantitativo pois utiliza e realiza a análise de dados estruturados (Mattar, 2001). Além disso tem cunho exploratório e caracteriza-se como um estudo de caso, devido a seu desenvolvimento baseado em um contexto de vida real (Yin, 2001, p. 33).

Dessa forma o trabalho é executado em três fases principais, sendo elas: levantamento de dados, análise do processo atual e implantação do processo. A ordem dessas fases e suas respectivas subatividades são ilustradas na Figura 2.

Figura 2 – Etapas de Execução.



Fonte: Autoria própria.

A primeira etapa, levantamento de dados, foi executada por meio da consulta direta ao banco de dados da empresa, extraindo dados referentes ao consumo de material dos últimos sete meses, bem como suas dimensões, quantias, pesos e tipos. A coleta de dados foi referente ao período de 7 meses, de Janeiro de 2017 à Julho, período ao qual foi possível garantir a consistência e veracidade dos dados inseridos no banco de dados da empresa.+

Na segunda etapa foi realizada a análise quali-quantitativa do processo mapeado, identificando dimensões mínimas adequadas para programação de retalhos assim como o conjunto de peças que se encaixem nestes.

Na terceira etapa, em posse dos dados e análises realizados previamente efetuou-se a implantação do novo modelo de aproveitamento de retalhos.

3.1. A empresa

O estudo de caso foi realizado em uma empresa que consome chapas de aço de tamanhos padronizados e, em seu processo de transformação, gera sobra de material, que pode ser reintroduzido ao ciclo produtivo, retornando como matéria-prima.

A empresa em questão é uma prestadora de serviços de corte, dobra e montagem de produtos de aço. Estabelecida no mercado a mais de 10 anos, oferece serviços de corte laser e puncionadeira em chapas de aço de até 16 milímetros, caso seja necessário ao produto do cliente essas peças podem ainda passar por processos de dobra ou montagem.

A fundação da empresa deu-se em 1998, inicialmente fabricando subconjuntos metálicos para o ramo odontológico. Em 2005 foi inaugurada a unidade de corte e dobra de chapas, neste momento a Teclaser passou a oferecer serviços de corte laser, corte por puncionadeira e dobra, se especializando na prestação de serviços em processamento de aço com alta tecnologia. A empresa busca ser referência nacional no segmento de processamento de aço, sendo reconhecida como excelência em qualidade, atendimento e pontualidade.

3.1.1. Infraestrutura disponível

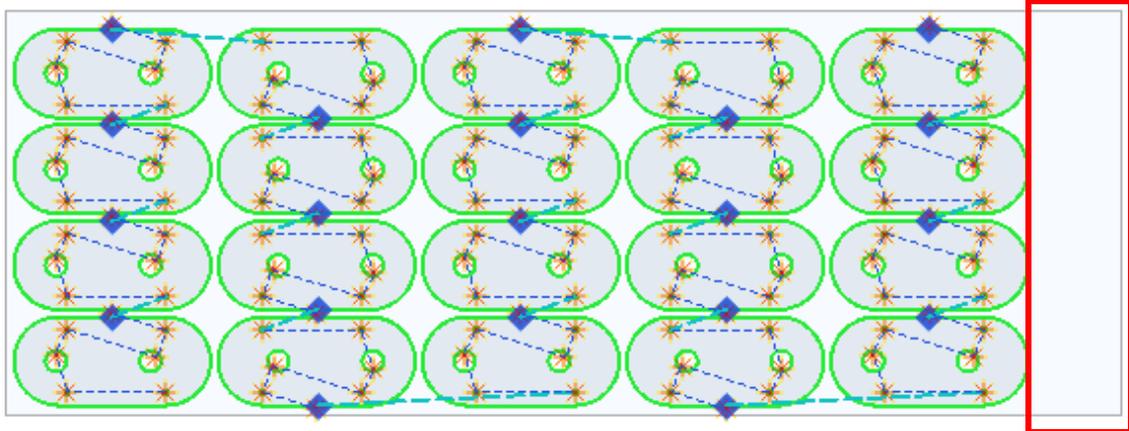
A empresa conta com uma estrutura física de 3.000m² em uma área total de 17.500m² localizada no Parque Industrial de Maringá no estado do Paraná. Atua em dois turnos de quarenta e quatro horas semanais e possui um número total de 50 funcionários. A instalação principal da fábrica conta com três máquinas de corte a laser e outras duas máquinas de corte, uma puncionadeira e uma guilhotina. Além disso, na instalação da empresa encontram-se uma calandra, desbobinadeira e seis máquinas de dobra de comando numérico computadorizado (CNC).

3.1.2. Problema de corte

O processo de corte é essencial no fluxo produtivo da empresa, é também um dos mais complexos, envolvendo diretamente quatro setores distintos para execução de seus subprocessos. As execuções dessas atividades envolvem duas etapas cruciais, a programação e o corte.

Na primeira etapa, a de programação, o programador utiliza um software para planejar o corte das peças na chapa, na Figura 3 é apresentado um exemplo de programa de corte.

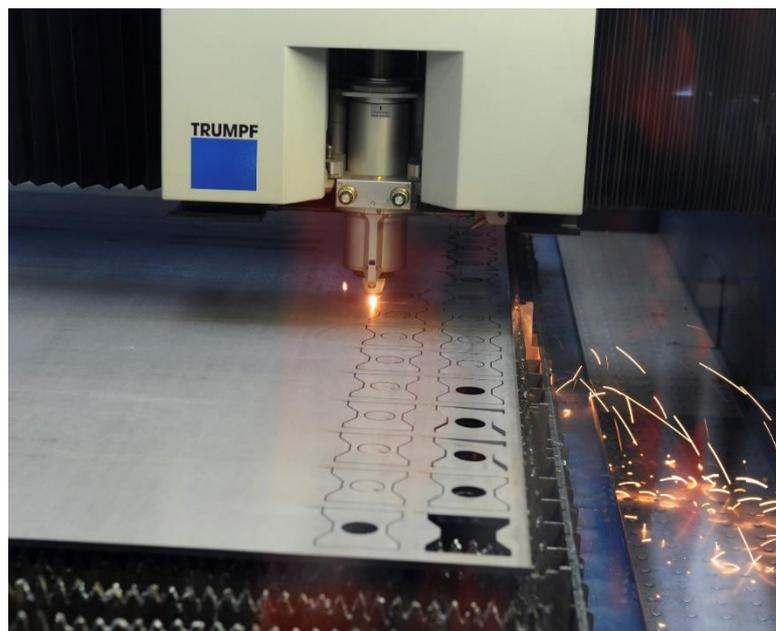
Figura 3 – Programa de corte do *software* de programação.



Fonte: Autoria própria.

O contorno da peça, ilustrado em verde na Figura 3, é inserido no software e disposto pelo programador nas chapas de acordo com o desejado. O pontilhado em azul na Figura 3 representa o caminho ao qual o fecho de laser (responsável pelo corte do material) percorre a peça sem executar o corte. Desta forma, o corte só é realizado quando o feixe encontra a linha de contorno verde da peça. A área à direita, destacada pelo retângulo em vermelho, representa a área da chapa que não foi possível utilizar. Assim, caracteriza-se como são subprodutos do processo de corte, chamados de retalhos, que podem ser reaproveitados como matéria-prima para o corte de peças menores, que caibam nessa área. Na Figura 4 é mostrado o funcionando de uma das máquinas de laser operadas na empresa.

Figura 4 – Funcionamento do Corte Laser.



Fonte: Autoria própria.

Os produtos solicitados são programados de acordo com seus melhores encaixes em chapas de aço de tamanhos padronizados. A quantidade e variedade de peças por muitas vezes não permitem a utilização completa das chapas. Dessa forma, chapas de aço de tamanhos reduzidos e retangulares são geradas em tal processo. Os retalhos gerados nesse processo são armazenados e reaproveitados para outros cortes. Os processos de programação, seleção, separação e corte são discutidos no tópico seguinte.

3.2. Mapeamento do processo

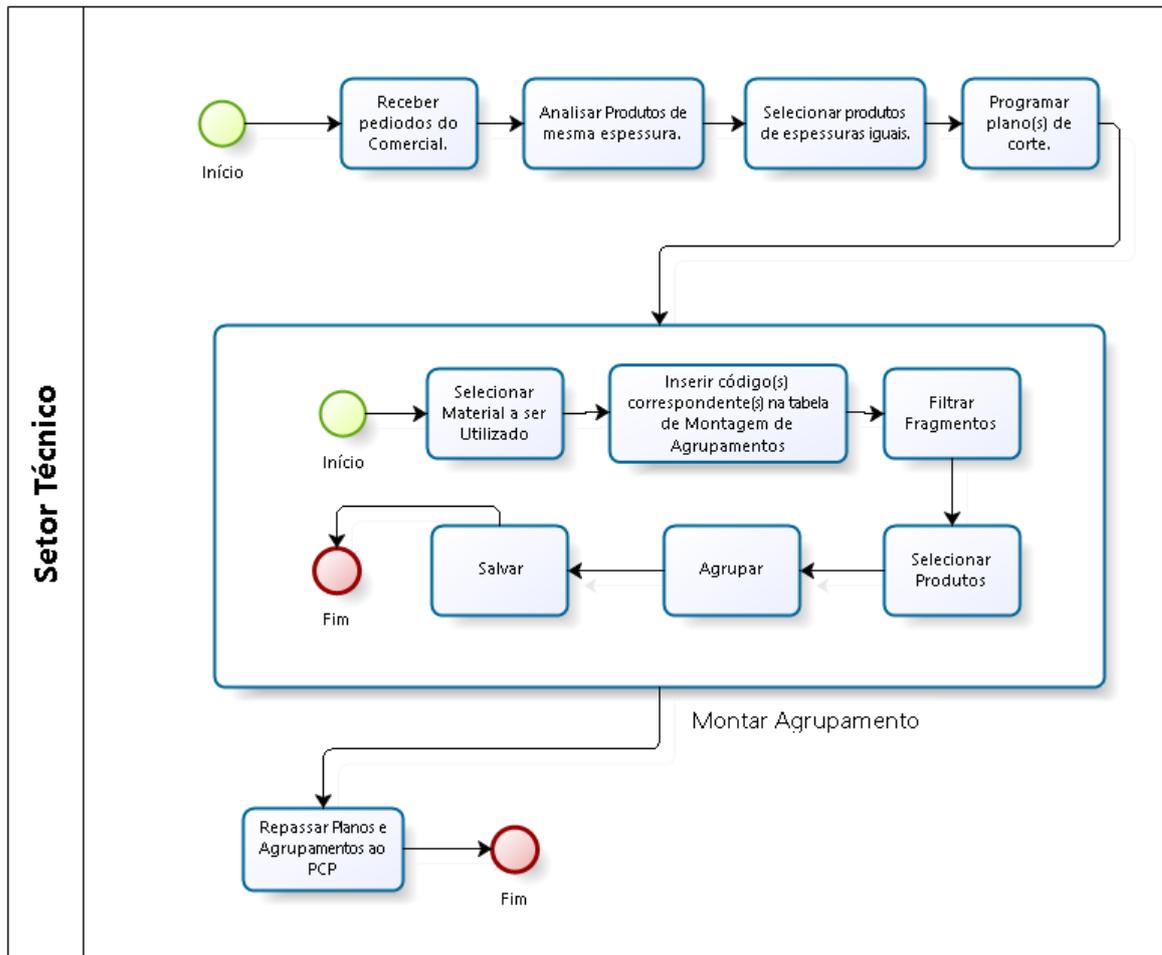
O processo de corte engloba quatro setores distintos da empresa, sendo eles o setor técnico, de planejamento e controle da produção (PCP), de armazenagem e de corte. O mesmo é apresentado através de fluxogramas de cada um dos setores. A seguir são descritas as atividades em cada um dos setores envolvidos.

- Setor Técnico

O início desse processo se dá através do recebimento dos pedidos do setor comercial pelo setor técnico, são identificados os tipos de materiais e suas respectivas espessuras, inicia-se então o processo de programação de corte. Nessa etapa o material a ser utilizado é empenhado pelo programador e os produtos a serem cortados são programados nas chapas da melhor maneira possível, podendo ou não gerar retalhos.

O processo descrito é apresentado pelo fluxograma da Figura 5, construído através da metodologia BPMN (Business Process Model and Notation).

Figura 5 – Fluxograma dos processos do setor técnico.

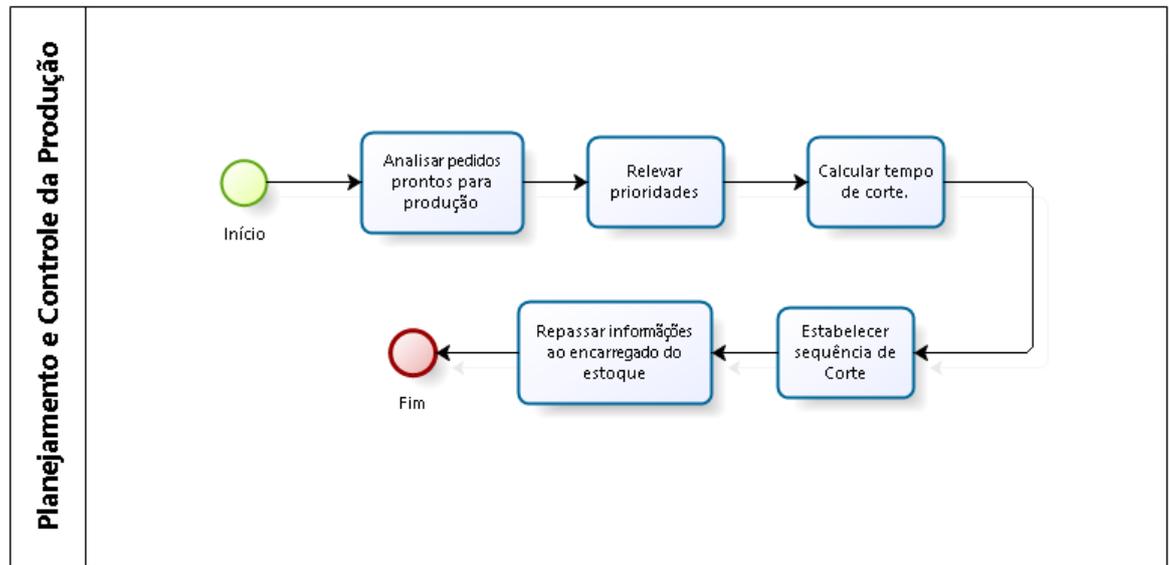


Fonte: Autoria própria.

- Programação e Controle da Produção

Ao fim desse processo os agrupamentos já programados são repassados ao setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP) que estabelece a sequência de corte e separação e calcula o tempo necessário para tal. A seguir, na Figura 6 é apresentado o fluxograma do setor.

Figura 6 – Fluxograma dos processos do setor de PCP.

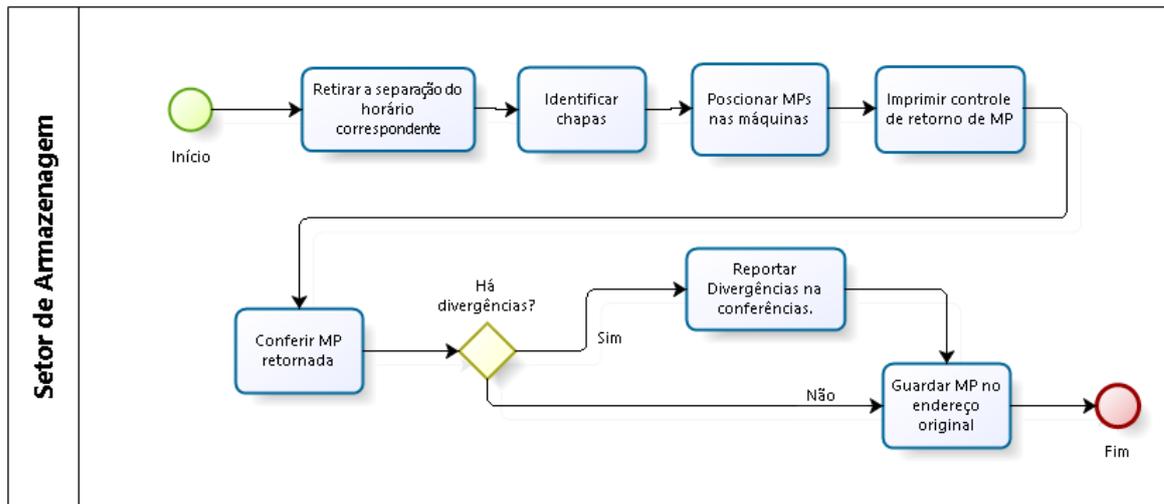


Fonte: Autoria própria.

- Setor de Armazenagem

Os materiais correspondentes aos agrupamentos são separados para o corte, cortados e então retornados ao setor de armazenagem, onde passam por uma inspeção, para então serem armazenados. Esse processo de inspeção demanda tempo e é crucial para disponibilização dos retalhos para reuso, caso estes possam ser utilizados para uma nova programação, mas não estejam disponíveis para o programador, o mesmo utilizará uma nova chapa padronizada e poderá então, mais uma vez, gerar retalhos e aumentar o desperdício de material. O fluxograma dos processos do setor é ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Fluxograma dos processos do setor de armazenagem.

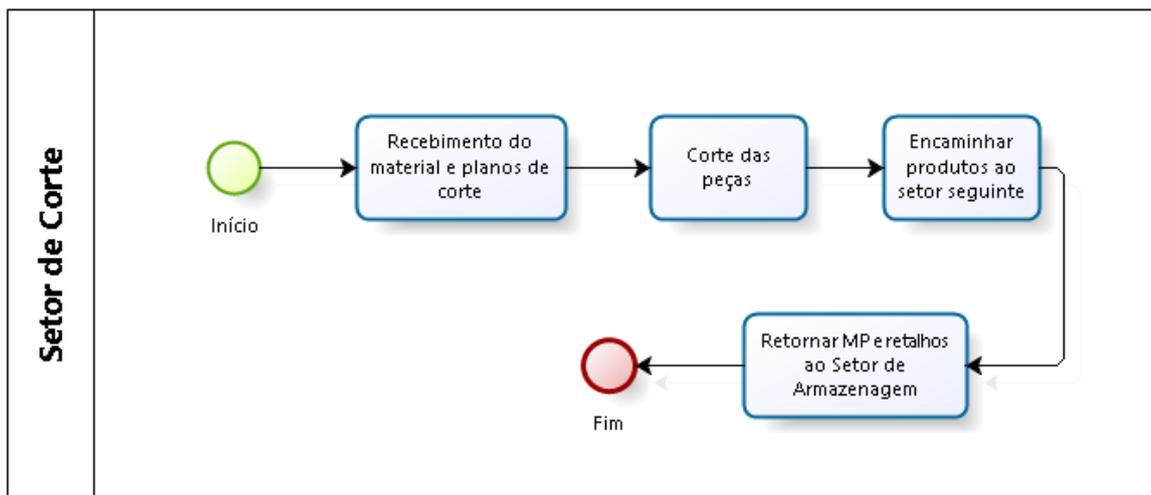


Fonte: Autoria própria.

- Setor de Corte

Neste setor as chapas são processadas, cortadas, as peças cortadas são encaminhadas ao setor seguinte e os retalhos, caso existam, encaminhados ao setor de armazenagem. Os processos são apresentados no fluxograma da Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma dos processos do setor de armazenagem.



Fonte: Autoria própria.

3.3. Análise das perdas

Através do software de gerenciamento da empresa, foram coletados dados referentes ao consumo e disponibilização de retalhos e consumo de chapas padronizadas no período de janeiro a julho de 2017.

Tais dados foram segmentados entre Aço Carbono e Aço Inox, a Tabela 1 apresenta o consumo de Aço Carbono entre os meses de janeiro e julho de 2017 e seus respectivos totais.

Tabela 1 – Consumo de Aço Carbono

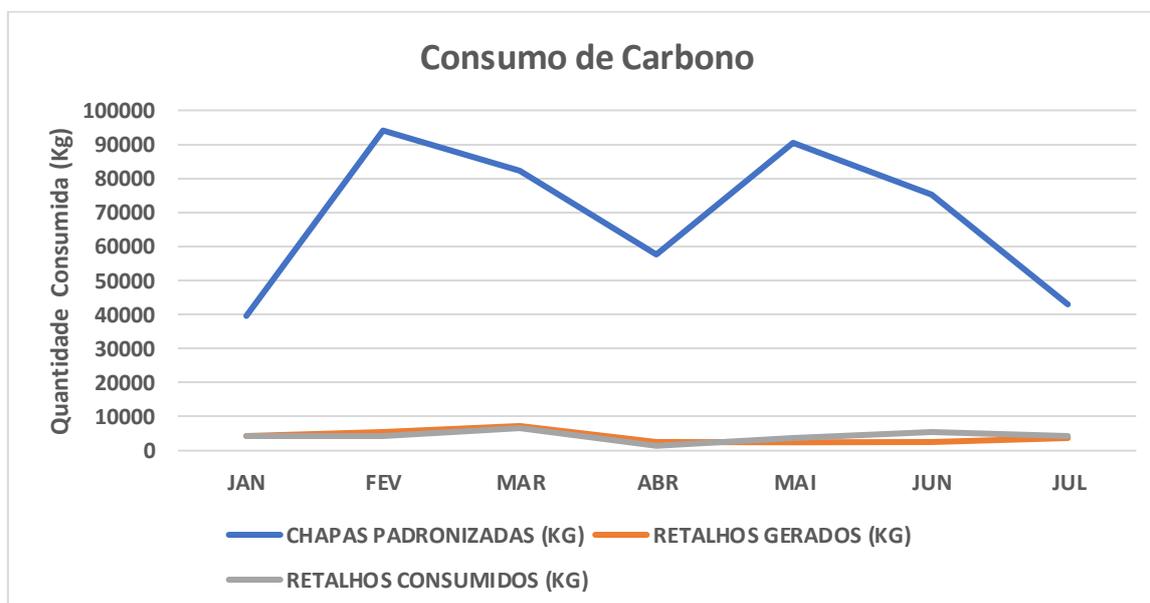
CARBONO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	TOTAL
CHAPAS PADRONIZADAS (KG)	39586	94070	82256	57461	90394	75078	42924	481769
RETALHOS GERADOS (KG)	4163	5369	7233	2480	2452	2683	3581	27961
RETALHOS CONSUMIDOS (KG)	4465	4434	6615	1432	3885	5322	4023	30176

Fonte: Autoria própria.

É importante destacar que peças produzidas em chapas padronizadas e retalhos possuem o mesmo valor de venda. Ainda constatou-se que o consumo de matéria-prima do tipo retalho equivale em média 5,94% do consumo total do aço carbono processado pela empresa, equivalendo a cerca de 28 toneladas de material.

Além disso durante esse período foi consumido mais material do que o que foi gerado, isso pode ser explicado pelo consumo de retalhos gerados anteriormente e que, portanto, estavam armazenados em estoque. Em posse dos dados coletados acima foi plotado o gráfico apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Consumo de carbono.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se através do Figura 9 a discrepância do consumo entre retalhos e chapas padronizadas, porém, mesmo com essa grande diferença é importante destacar que consumo de retalhos representa um ganho para a empresa. Se tal material não fosse utilizado, seria descartado com sucata. Assim, o processo de uso de retalhos significa reaproveitamento de material e redução de perda deste.

Na Tabela 2 são apresentados os dados referentes ao consumo de retalhos e chapas padronizadas, assim como geração de retalhos de aço inox.

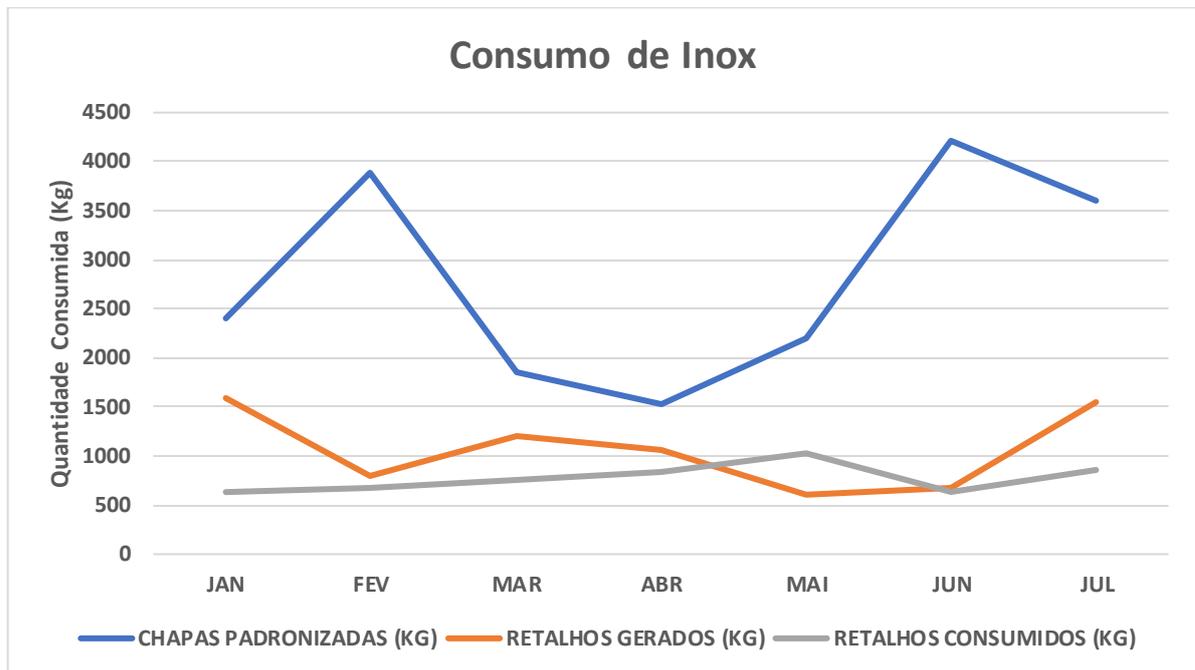
Tabela 2 – Consumo de Aço Inox.

INOX	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	TOTAL
CHAPAS PADRONIZADAS (KG)	2403	3883	1854	1529	2196	4213	3593	19671
RETALHOS GERADOS (KG)	1591	799	1196	1067	606	673	1543	7475
RETALHOS CONSUMIDOS (KG)	633	674	760	846	1028	641	868	5450

Fonte: Autoria própria.

O consumo de retalhos de aço inox representa em média 27,54% do consumo total de material, um percentual maior quando comparado com o percentual de consumo de retalhos de aço carbono (5,94%). Ao comparar o total de retalhos gerados e consumidos no período analisado nota-se a geração de cerca de 2024 quilos de material, o que apoia a principal reclamação do responsável pelo setor de armazenagem de que materiais do tipo aço inox aumentara. Os dados da Tabela 2 são ilustrados no gráfico da Figura 10.

Figura 10 – Consumo de Aço Inox.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 10 evidencia o consumo menor do que a geração de retalhos de aço inox, o consumo dessa matéria-prima só supera sua geração no mês de maio. Ainda é possível verificar a menor discrepância entre o consumo de chapas padronizadas e retalhos, no mês de abril o consumo de retalhos equivale a 41,11% do consumo total desse tipo de material.

3.4. Análise das dificuldades

Em posse da análise do processo de corte e também dados de geração e consumo de material foi realizada uma pesquisa de campo, junto aos envolvidos no processo, a fim de identificar as falhas e selecionar oportunidades, estas são listadas abaixo.

1. Tempo de disponibilização de retalhos
2. Diversidade de produtos
3. Número de peças
4. Número de funcionários
5. Complexidade do processo
6. Consistência de informações
7. Organização do setor

A seguir são discutidas as dificuldades listadas acima.

- Tempo de disponibilização dos retalhos

O tempo de disponibilização dos retalhos no sistema de gerenciamento da empresa é crucial para os programadores, estes só têm acesso a suas dimensões e características após sua inserção no sistema. Dessa forma, se existe um retalho passível de utilização, ainda não lançado no sistema, o mesmo não será utilizado. Ao invés disso, será consumida uma nova chapa de dimensões padronizadas e maiores, criando mais uma vez a possibilidade da geração de novos retalhos e contribuindo para o aumento do estoque destes.

- Diversidade de produtos

A empresa produz uma variedade de cerca de 1500 produtos mensais, com quantias, materiais e geometrias distintas. Esse cenário dificulta a utilização completa de chapas padronizadas e propicia a criação de mais retalhos.

- Número de peças

As quantias de peças dos produtos podem variar de uma unidade até milhares. No entanto, o aproveitamento de material para produção de uma unidade de um item é diferente do aproveitamento da produção de mil unidades de um produto específico, o que torna esse fato essencial para determinar a geração de retalhos ou não.

- Complexidade do processo

Os retalhos gerados do corte devem ser medidos e conferidos um a um, só então são inseridos no sistema através da alimentação das informações referentes a seu tipo de material, espessura, largura e comprimento. Após esses procedimentos, gera-se uma etiqueta, a qual é fixada no retalho para este ser armazenado.

- Número de Funcionários

Apenas um funcionário é responsável pela catalogação e disponibilização dos retalhos no sistema gerencial. Este mesmo funcionário deve também realizar a separação do material que deve alimentar as máquinas de corte, o que contribui para o atraso da catalogação dos retalhos gerados.

- Organização do Setor

O acúmulo de retalhos dificulta o trabalho no setor, restringindo o espaço de locomoção e organização de material.

- **Consistência de Informações**

A inserção manual de dados referente às dimensões dos retalhos pode criar inconsistência nas informações destes.

Para cada uma das dificuldades discutidas foram identificados os setores de origem dos problemas e soluções para tais, as relações entre dificuldades, origens e soluções são apresentadas na Quadro 1.

Quadro 1 – Origens e soluções.

Dificuldades	Sector de Origem	Solução
Tempo de disponibilização ds retalhos	Armazenagem	Automatização do processo
Diversidade de Produtos	Comercial	Retrições de venda
Número de peças	Comercial	Retrições de venda
Número de funcionários	Armazenagem	Contratação ou redução de atividades
Complexidade do processo	Armazenagem	Automatização do processo
Organização do setor	Armazenagem	Redução de Estoque
Consistência de Informações	Armazenagem	Automatização do processo

Fonte: Autoria própria.

Fica evidenciado, portanto, que as origens dos problemas mencionados são em sua maioria do setor de armazenagem, e as soluções para tal implicam na simplificação do processo de catalogação de retalhos ou automatização, impactando na disponibilização mais ágil dos materiais, melhor aproveitamento destes e, portanto, redução de estoque.

As dificuldades originadas no setor comercial dizem respeito à variedade e quantia de peças, solucionar tais problemas implicaria na restrição de vendas, redução e alteração de mercado. Logo, as mudanças seriam complexas e arriscadas quando relevado o cenário industrial atual.

Dessa forma, o modelo proposto tem como foco a automatização do processo de catalogação de retalhos e simplificação das atividades necessárias a este.

4. Resultados e discussões

Nessa etapa é apresentado o modelo para adaptação do software de gerenciamento desenvolvido para os problemas e dificuldades previamente levantados, assim como sua implantação. Por fim são discutidos os resultados esperados após a implantação do modelo.

4.1. Construção do modelo

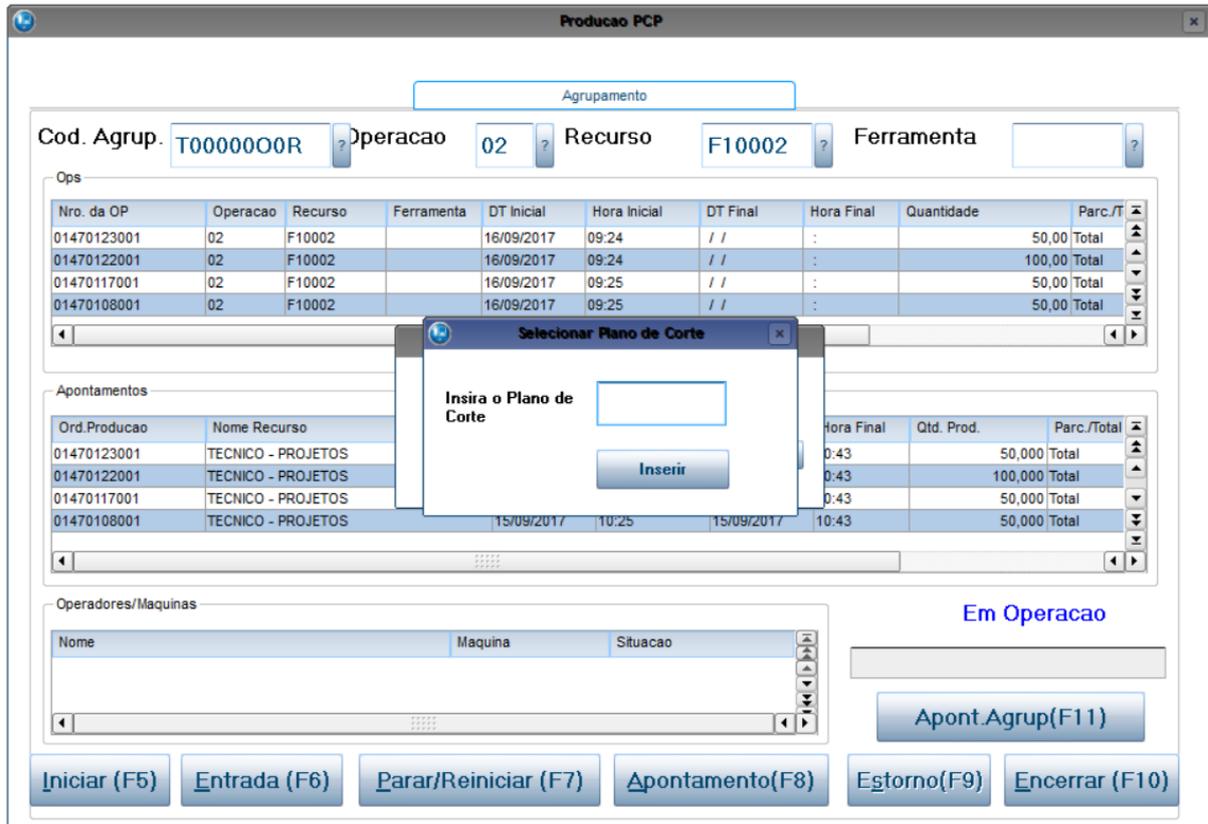
Com base na análise de dados e mapeamento do processo foi identificada uma falha no processo de disponibilização de retalhos a serem utilizados. Caso esses materiais sejam demandados pela programação é preciso que os mesmos estejam disponíveis, porém, conforme relatado, esse processo ocorre a cada três dias, criando uma janela de espaço e descontinuando a troca de informações entre os setores.

É preciso garantir a continuidade do processo de troca de informações e disponibilização do material, de tal forma que assim que um retalho tenha sido gerado o mesmo esteja imediatamente disponível para programação. A fim de garantir disponibilidade dos retalhos, foi proposta a criação de uma nova interface no sistema gerencial da empresa, tornando possível que o programador identifique os planos de corte os quais gerarão retalhos, suas quantias e dimensões. Imediatamente após o corte, os retalhos devem ser inseridos automaticamente no estoque, restando ao colaborador do setor de armazenagem apenas a atividade de estocagem dos materiais.

Todos os setores produtivos realizam o apontamento do início e fim de suas atividades. Ao finalizar uma atividade ou pará-la é possível inserir informações adicionais, tais como adversidades ou dificuldades durante o cumprimento das atividades referente ao pacote produtivo em trabalho. A proposta é que os programadores insiram as informações necessárias para automatizar o processo de catalogação de retalhos ao final do apontamento de seus pacotes de produção.

Dessa forma, conforme a Figura 11, ao efetuar o final do apontamento do processo de programação, o programador passa a inserir o número do plano de corte do pacote produtivo que está programando, processo que inicia a inserção dos retalhos no sistema gerencial.

Figura 11 – Identificação do plano de corte



Fonte: Autoria própria.

Ao inserir o plano de corte, o programador é questionado se deseja inserir a matéria-prima que será utilizada e os retalhos que serão gerados. Caso opte por sim, este é redirecionado a uma tela para inserção dessas informações. A interface é apresentada na Figura 12.

Figura 12 – Interface de inserção de retalhos.

Parâmetros do Filtro

Espessura: Matéria: Código:

Filtrar MP Limpar

Matéria Prima

Mar	Codigo MP	Espessura	Qtde. Disponivel	Qtde. Utilizada	Qtde. Retalho	Descricao
-----	-----------	-----------	------------------	-----------------	---------------	-----------

Retalhos

Mat Prima	Lote	Retalho	Qtde Materia	Largura	Comprimento
			0,000	0,000	0,000

Salvar

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a interface apresentada na Figura 12, são incluídos dados referentes a largura, comprimento, espessura, tipo de material e quantia de retalhos. Esses dados são armazenados e relacionados ao código do pacote produtivo apontado, logo após o apontamento de fim do processo de corte (o que significa que os retalhos já estão fisicamente disponíveis para uso de acordo com as quantias e dimensões estabelecidas).

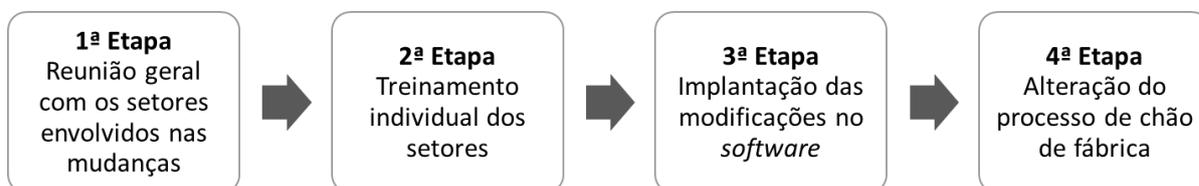
Através das informações previamente inseridas e relacionadas ao código do pacote, todos os retalhos relacionados a este, são imediatamente inseridos na relação de estoque de retalhos e, portanto, disponibilizados para uso do programador.

O tópico seguinte aborda as etapas de implantação do modelo aqui descrito.

4.2. Implantação do modelo

A implantação do modelo desenvolvido deu-se em quatro etapas principais, objetivando a contextualização de todos os colaboradores que são afetados pelas mudanças propostas e dessa forma proporcionando a aderência aos novos processos mais facilmente. As quatro etapas da implantação são apresentadas na Figura 13.

Figura 13 – Etapas de implantação do modelo.



Fonte: Autoria própria.

A primeira etapa de implantação foi a organização de uma reunião geral entre os setores envolvidos, nessa reunião foram apresentados os dados referentes às perdas e geração de retalhos. O objetivo dessa reunião foi o de conscientizar os funcionários da necessidade de resolução do problema estudado e motivá-los a participar das mudanças que seriam propostas.

Na segunda etapa cada um dos quatro setores envolvidos foram individualmente treinados, para que sejam capazes de executarem as novas funções demandadas pelas modificações impostas do novo modelo de controle de retalhos.

Com toda a equipe ciente do novo processo e dos objetivos deste, foram implementadas as modificações no *software* de gerenciamento da empresa, a partir dessa etapa a execução do modelo desenvolvido iniciou-se de fato.

Com as alterações de *software* rodando e sendo executadas pelos funcionários do setor técnico, os setores de corte e armazenagem passaram a receber os primeiros planos de corte (com geração de retalhos) nos novos moldes desenvolvidos.

4.2. Resultados esperados

O modelo descrito foi implantado ao final do mês de outubro de 2017. Dessa forma novos dados referentes ao consumo de Aço Carbono e Inox serão coletados dentro de 7 meses, a fim de realizar a análise qualitativa entre os dados pré e pós implantação.

Orientando-se através das dificuldades identificadas na etapa de desenvolvimento foram estabelecidas metas para cada das quais sofrerão influência das modificações realizadas ao processo. Essas metas são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Metas após implantação do novo processo.

Dificuldades	Metas
Tempo de disponibilização dos retalhos	Disponibilização dos retalhos exclusivamente através do apontamento de produção. Disponibilização diária de novos materiais.
Número de funcionários	Redução de atividades do setor de armazenagem.
Complexidade do processo	Simplificação e automatização do processo.
Organização do setor	Aumento no consumo de retalhos de Carbono em 10% nos próximos 6 meses. Aumento no consumo de retalhos em Inox de 5% nos próximos 6 meses.
Consistência de Informações	Mitigação desse problema através da automatização desse processo.

Fonte: Autoria própria.

Como solução ao problema relacionado ao tempo de disponibilização de retalhos, tem-se como única restrição de disponibilização aos programadores o apontamento produtivo do processo de corte. Dessa forma retalhos gerado por um plano de corte programado, serão imediatamente disponibilizados para uso após o apontamento de produção final da etapa de corte. Dessa forma garante-se que imediatamente após a disponibilização física desses retalhos eles já estejam disponíveis ao programador, garantindo a disponibilização diárias destes.

A automatização do processo de catalogação e lançamento de novos retalhos no sistema, garante a redução de atividades ao setor de armazenagem, bem como simplificação destas e garantia na consistência de informações. Logo dispensa-se a contratação de novos funcionários por esse motivo.

Com o aumento do consumo dos novos retalhos gerados, bem como dos que já foram catalogados antes das modificações ao processo implantadas, estima-se o aumento do consumo de retalhos de aço carbono em 10% nos próximos 6 meses e em 5% dos retalhos de aço inox nesse mesmo período. Por consequência estima-se também a redução de estoque desse tipo de material, facilitando a organização do setor.

5. Conclusão

Durante o desenvolvimento do trabalho os processos relacionados ao processo de corte foram mapeados, e em cada uma das atividades e subatividades desses foram analisadas a fim de identificar perdas provenientes de suas tarefas e procedimentos.

Um novo processo e metodologia foi criado e implantado na empresa, garantindo a inserção dos retalhos no início do processo de corte e, portanto, tornando-os disponíveis para uso imediatamente após sua criação, garantindo dessa maneira a consistência nas informações.

Durante o desenvolvimento do trabalho foi possível constatar a falta de publicações relacionadas ao tema abordado, dessa forma dificultando a fundamentação teórica. Porém vê-se aqui uma oportunidade para que este trabalho contribua para o meio acadêmico.

Ainda para trabalhos futuros pretende-se realizar a comparação dos dados analisados relativos ao consumo e geração de material, bem como de chapas padronizadas, após a implantação do novo método de inserção de retalhos.

Referências

BOGDAN, R. S.; BIKLEN, S. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. 12.ed. Porto: Porto, 2003.

BUTTER, P. L. *Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento compartilhado dos resíduos sólidos industriais no sistema de gestão ambiental da empresa*. 2003. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

CHERRI, A. C.; VIANNA, A. C. G. *Aproveitamento de sobras para o problema de corte de estoque*. Anais do XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2010.

CHERRI, A.; DA SILVA, E. F.; VIANNA, A. *Geração de colunas com o uso de retalhos no processo de corte de estoque unidimensional com sobras de materiais aproveitáveis*. In: CONGRESSO DE MATEMÁTICA APLICADO E COMPUTACIONAL, 1, 2012, Uberlândia, Anais... Uberlândia: UFU, MG, 2012. p. 507-510.

CHERRI, A.C. *O problema de corte de estoque com reaproveitamento das sobras de material*. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação e Matemática Aplicada) - Instituto de Ciências e Matemática Computacional, EESC/USP, 2006.

CHERTOW, M. R. *Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy*. Annual Review Energy Environment, n.25, p. 313-337, 2000.

Coelho, K. R. *O problema de corte de estoque com uso e venda de retalhos: uma proposta de otimização para a sustentabilidade ambiental* / Karen Rocha Coelho, 2015 105 f.

DA SILVA, E. F. et al. *Modelo matemático para o problema de corte com sobras aproveitáveis*. Congresso De Matemática Aplicado E Computacional, 1, 2012, Anais... Uberlândia, UFU, MG, 2012.

DALÉ, L. B. C.; HANSEN, P. B.; ROLDAN, L. B. *Análise da incorporação da sustentabilidade em cadeias de suprimentos industriais do RS*. Anais. SIMPOI FGV-EAESP: XIII SIMPOI–Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, 2010.

DE MEDEIROS, D. D. et al. *Aplicação da produção mais limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua*. Production, v. 17, n. 1, p. 109-128, 2007.

FURTADO, M. R. *P+L: Brasil assume compromisso com a produção mais limpa*. Química e derivados. São Paulo, ano XXXVII, n. 407, p. 32-54, ago. 2002.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. *Ecologia industrial. Conceitos, ferramentas e aplicações*. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

KONG, L.; FUH J. Y. H.; LEE, X. L.; LING, L. S. *A Windows-native 3D plastic injection mold design system*. Journal of Materials Processing Technology. p. 1-9. 2013.

LIMEIRA, M. S.; YANASSE, H. H. *Uma heurística para o problema de redução de padrões de corte*. Oficina Nacional de Problemas de Corte de Empacotamento, 5, 2001. Anais... São José dos Campos, SP, p. 137-145, 2001.

MARINHO, M.; KIPERSTOK, A. *Ecologia Industrial e prevenção da poluição: uma contribuição ao debate regional*. Bahia Análise & Dados, v. 10, n. 4, p. 271-279, 2001.

MARLI, A. E. D. A. *Estudo de caso: seu potencial na educação*. Cadernos de pesquisa, v. 49, p. 51-54, 1984.

MATTAR, F. N. Pesquisa de marketing. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MENEGHELLO, G. P. *Aplicação de um sistema robótico utilizando recursos de sistemas CAD/CAM para o processo de fresamento*. 2003. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre.

MENEGON, D; NAZARENO, R. R.; RENTES, A. F. *Relacionamento entre desperdícios e técnicas a serem adotadas em um Sistema de Produção Enxuta*. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção-Ouro Preto, MG, Brasil, v. 21, 2003.

MIGUEL, P. A. C. et al. *Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução*. Revista Produção, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>>. Acessado em: 01 jul.2016.

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação, nov. 2004.

SILVEIRA, R.; MORABITO, R. *Um método heurístico baseado em programação dinâmica para o problema de corte bidimensional guilhotinado restrito*. Gestão & Produção, v. 9, n. 1, p. 78-92, 2002.

SOUZA, A. F.; COELHO, R. T. *Tecnologia CAD/CAM-Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril*. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção–ENEGEP, v. 24, 2003.

TEIXEIRA, M. G. *Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira*. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2005.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HUNT, V. D. *Process Mapping: How to Reengineer your Business Process*. John Wiley & Sons, New York. 1996.

VILLELA, C. S. S. *Mapeamento de Processos como Ferramenta de Reestruturação e Aprendizagem Organizacional*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, SC, Brasil. 2000.