



Produto & Produção, vol. 16 n.2, p. 01-23, mar. 2015

RECEBIDO EM 21/08/2014. ACEITO EM 07/04/2015.

Projeto de uma planta para manufatura de produtos pecuários a partir do reaproveitamento de resíduos plásticos industriais e fibras vegetais

Fabio Alves Barbosa

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

fabioarbosa@ufgd.edu.br

José Augusto Marcondes Agnelli

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

agnelli@ufscar.br

Abdimar Moreno

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

abdimarmoreno@gmail.com

Cesar Augusto Scheide

Inflex Indústria e Comércio de Embalagens Ltda.

cesar@inflex.ind.br

Suzan Aline Casarin

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

sacamarin@yahoo.com.br

Walter Roberto Hernández Vergara

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

waltervergara@ufgd.edu.br

RESUMO

O presente artigo discute o processo de elaboração para projeto conceitual de um sistema de produção sustentável para manufaturar equipamentos destinados à alimentação e suplementação de bovinos, que são obtidos a partir de materiais compostos (combinação de resíduos plásticos industriais e fibras vegetais de reforço). O estudo é decorrente da execução de uma pesquisa aplicada financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, que foi baseado em acordo de cooperação entre a indústria INFLEX, Universidade Federal da Grande Dourados/UFGD e Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. O principal resultado é uma configuração preliminar do sistema produtivo sustentável (referência para uma nova unidade de negócios) que foi delineada a partir da adequação da metodologia de *plant layout* de Apple (1991), conceitos de produção mais limpa e requisitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Por fim, destaca-se, também, a formação de uma base de fornecedores (embalagens plásticas pós-consumo e fibras vegetais).

Palavras-chave: projeto de instalação industrial sustentável; reaproveitamento de resíduos industriais; compósitos végeto-poliméricos.

ABSTRACT

This paper discusses the development process for conceptual design of a sustainable production system for manufacturing of feeding and supplementation cattle equipments, which are obtained from composite materials (combination of industrial plastic residues and reinforcing plant fibers). This study refers to an applied research funded by National Council for Scientific and Technological Development, which was based on cooperation agreement between the INFLEX industry, Federal University of Grande Dourados/UFGD and Federal University of São Carlos/UFSCar. The main result is a preliminary configuration of sustainable production system (reference to a new business unit) that was designed from suitability of Apple's methodology for plant layout, cleaner production concepts and requirements of National Policy on Solid Wastes. Finally, also, can be detached the formation of a regional suppliers base (post-consumer plastic packages and plant fibers).

Keywords: sustainable industrial layout design; industrial wastes recycling; vegetal-polymeric composites.

1. Introdução

As organizações que buscam aumentar resultados financeiros (lucros) devem desenvolver novos produtos e processos produtivos tecnologicamente aprimorados para obterem vantagens comparativas em custos, qualidade e entrega sobre seus concorrentes, de modo a conquistar maior participação de mercado, aumentar a lucratividade, defender posições competitivas e ampliar a participação em vendas nos mercados da sua base de atuação (SCHUMPETER e MCDANIEL, 2009).

Assim, os métodos/técnicas para agregação de valor em resíduos industriais tem sido tema de diversas pesquisas multidisciplinares aplicadas em Engenharia. Paixão, Roma e Moura (2011) mencionam que a produção brasileira média anual de resíduos sólidos industriais é estimada em torno de cem milhões de toneladas, sendo que o tratamento ambientalmente adequado desses rejeitos constitui um dos pontos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal n. 12.305/2010), que também abrange os seguintes aspectos:

- A adoção de padrões sustentáveis de produção e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos gerados nos processos produtivos e instalações industriais através de práticas de reutilização, reciclagem e recuperação;
- O desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e organizacional para melhoria de processos produtivos e reaproveitamento de resíduos na própria estrutura de produção original e/ou redirecionados a outras cadeias produtivas;
- O incentivo à pesquisa científico-tecnológica e à cooperação técnica-financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de novos produtos, processos produtivos e tecnologias limpas para minimizar impactos ambientais;
- O estímulo ao desenvolvimento, manufatura e disponibilização ao mercado de produtos fabricados a partir de materiais reaproveitados.

A OECD (2005) defende que as atividades inovativas ligadas ao aprimoramento tecnológico de produtos e processos produtivos devem estar integradas à própria estratégia competitiva da organização industrial. Assim, faz-se necessário a concepção de plantas fabris e arranjos físicos baseados na utilização racional de recursos de manufatura (materiais e insumos, máquinas/equipamentos e força de trabalho) e focalizar o reaproveitamento/reinserção na cadeia produtiva de subprodutos, resíduos de processos e materiais de pós-consumo. Para Jiménez e Lorente (2001), o sistema produtivo deve considerar essencialmente cinco critérios estratégicos de desempenho, que são custo, qualidade, tempo, serviço e desempenho ambiental.

Há duas décadas, Sarkis (1995) considerou que os processos devem se fundamentar em “políticas de produção ambientalmente favoráveis” que abordem o desenvolvimento de tecnologias e operações de fabricação/montagem baseadas na utilização de quantidades significativamente reduzidas

de matérias-primas, na geração controlada e/ou eliminação de resíduos industriais e na produção/disponibilização de produtos recicláveis, reutilizáveis ou remanufaturáveis.

No Brasil, segundo a SBRT (2014), o volume de materiais plásticos reciclados aumentou 31,5% no período 2003-2011, pressupondo que ainda novas oportunidades de mercado para os referidos materiais compostos também podem aumentar em proporções semelhantes. Por sua vez, o SEBRAE (2014) comenta que a comercialização de produtos baseados em projeto ecológico (*ecodesign*) e produção limpa, manufaturados com compósitos plásticos reforçados com fibras vegetais (também conhecidos por *wood plastic composites*), tem expandido consistentemente devido à intensificação nas atividades de logística reversa e reciclagem de materiais, maior conscientização socioambiental, consumo de bens/serviços sustentáveis e legislações ambientais mais rigorosas, reiterando as potencialidades mercadológicas do projeto proposto.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi elaborar o projeto conceitual de um sistema de produção sustentável voltado à manufatura de equipamentos pecuários destinados à alimentação e suplementação vitamínico-mineral de bovinos a partir da utilização de compósitos végeto-poliméricos. Por sua vez, os objetivos específicos da pesquisa podem ser assim elencados:

- Adaptar a metodologia para projeto de fábrica de Apple (1991) para o projeto conceitual de um sistema produção sustentável baseado no conceito de produção mais limpa e no atendimento à Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Caracterizar passo a passo o referido sistema de produção através da elaboração do plano de macroprocesso, lista de máquinas/equipamentos, requisitos dos sistemas de armazenagem e movimentação de materiais, projeto da planta fabril, arranjo físico funcional e mapofluxograma.
- Configurar a base de fornecedores regionais das principais matérias-primas – embalagens plásticas de pós-consumo e fibras vegetais provenientes de atividades sucroenergéticas.

Os produtos são fabricados com materiais compostos végeto-poliméricos resultantes de combinações de resíduos plásticos industriais reaproveitados e fibras vegetais oriundas da indústria sucroenergética. O desenvolvimento, projeto, manufatura e disponibilização de produtos destinados às atividades pecuárias representa a base para a construção de uma nova unidade fabril anexa a uma indústria de embalagens plásticas flexíveis presente na Região da Grande Dourados/MS, o que permitirá maior agregação de valor em resíduos plásticos industriais e fibras vegetais.

O desenvolvimento sustentável necessita de competências e recursos de manufatura localmente disponíveis, sendo que crescentes demandas da cadeia do agronegócio por novos produtos, processos e serviços podem fomentar outros segmentos produtores de matérias-primas/insumos, bens de consumo/capital e fornecedores de serviços tecnológicos de alto valor agregado, incentivando a diversificação da base produtiva nacional e a consequente ampliação das condições para a inclusão produtiva e sustentabilidade dos novos empreendimentos.

Nesse sentido, a produção mais limpa visa, preventivamente, evitar/diminuir a formação e reutilizar resíduos, rejeitos e subprodutos nos processos produtivos, resultando em aumento da produtividade das etapas de obtenção dos produtos, utilização racional de matérias-primas, água e energia, bem como na redução das emissões de poluentes gerados. Por fim, o MCTI (2012) defende que a produção sustentável é dependente do aprimoramento consistente de produtos e processos baseados na produção mais limpa e na estruturação de cadeias de reciclagem de materiais de pós-consumo em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Projetos sustentáveis e produção mais limpa

O conceito de desenvolvimento sustentável foi pioneiramente abordado em 1987 pela World Commission on Environmental Development, durante a Assembleia Geral das Nações Unidas (Relatório Brundtland), que pressupunha a necessidade de equilíbrio entre os três dimensões ligadas intimamente à atividade industrial: econômica, social e ambiental (Robles Junior e Boneli, 2006). Em períodos mais recentes, a Organização das Nações Unidas/ONU aponta uma triplicação no consumo de recursos naturais até 2050, o que sugere um colapso no fornecimento de matérias-primas e energia

às indústrias de transformação – conclusivamente, o modelo econômico não é sustentável em longo prazo, uma vez que o consumo de recursos naturais ocorre em velocidade maior que a produção de matérias-primas e insumos (PNUMA, 2011).

Nesse sentido, Rosini *et al.* (2008) defendem que o reaproveitamento de materiais reciclados para manufatura de produtos deve seguir a filosofia de sustentabilidade produtiva (socioeconômica, ambiental e energética), que é viabilizada através de métodos de produção mais limpa. O desenvolvimento sustentável está atrelado à utilização de tecnologias inovadoras (produto e processo) que possibilitem a realização de estratégias socioeconômicas, ambientais e tecnológicas integradas, visando aprimorar o uso de matérias-primas, insumos, água e energia. Assim, produtos manufaturados com materiais reaproveitados podem aumentar os ganhos financeiros das organizações produtivas, evitando gastos com complicadas atividades de reprocessamento externo e práticas de descarte ambientalmente seguro.

Para Smith e Ball (2012) uma organização produtiva sustentável é aquela que busca tornar seus processos de negócio economicamente viáveis, ambientalmente seguros e promotores de bem-estar social – desse modo, as estratégias, planos de ação e decisões devem contemplar o atendimento do “tripé da competitividade sustentável” (econômico, social e ambiental). Dues, Tan e Lim (2011) mencionam que os projetos industriais voltados à sustentabilidade são caracterizados por incorporarem conceitos e metodologias referentes à responsabilidade social, melhores práticas de governança corporativa, ecoeficiência, análise do ciclo de vida de produtos e processos, programas de “emissão zero”, gerenciamento ambiental certificado e produção mais limpa.

Por sua vez, Faulkner e Badurdeen (2014) apontam que a produção mais limpa representa uma metodologia de cunho preventivo e integrador de operações/áreas funcionais aplicada em todos os processos internos e externos de uma organização produtiva como forma de assegurar a utilização racional de recursos de manufatura, eliminação de perdas/desperdícios, redução da emissão de poluentes e minimização de impactos ambientais associados ao ciclo de vida dos produtos, o que pressupõe uma detalhada análise tecnológica, econômica e ambiental de processos produtivos e gerenciais. Nesse sentido, o CNTL (2008) propõe três macroetapas sequenciais da produção mais limpa para a obtenção de melhorias em processos produtivos: (1) eliminação/redução de fontes de impactos ambientais indesejáveis através da otimização dos recursos de manufatura e reprojeto de produtos e/ou processos; (2) reaproveitamento de resíduos/poluentes no próprio sistema fabril (reintegração e direcionamento de rejeitos/subprodutos para os processos produtivos – reciclagem interna); (3) redirecionamento dos resíduos/poluentes (tratamento adequado de rejeitos, subprodutos e efluentes por outras empresas/agentes especializados – reciclagem externa).

Para Jayal *et al.* (2010) a manufatura sustentável pressupõe que os fabricantes devem apoiar os processos na tríade “pré-produção (desenvolvimento e projeto), fabricação, uso e pós-utilização”, com vistas em todo o ciclo de vida dos produtos e nas atividades 6R – redução, reutilização, reciclagem, recuperação, reprojeto, e remanufatura. No âmbito da produção mais limpa, o desenvolvimento, projeto e reprojeto de produtos para facilitar as atividades 6R se fundamenta no *Design for Environment* (DfE), sendo que Badurdeen *et al.* (2010) o apontam como o principal método aplicado para “tornar o produto mais sustentável” no sentido de se reduzir drasticamente o consumo de recursos e geração de resíduos incrementando substancialmente a vida útil do produto –o sistema produtivo deve inevitavelmente considerar a extensão da rede de operações presentes na cadeia de suprimentos.

Já Zhang *et al.* (2012) defendem que os atuais sistemas produtivos devem focalizar todo o ciclo de vida o produto e considerar cada um dos três vértices da produção sustentável (economia, meio ambiente e sociedade) – os autores propõem que a sustentabilidade do produto abrange seis elementos: impacto ambiental, funcionalidades, requisitos de produção limpa, reciclabilidade e remanufaturabilidade, fabricação otimizada (recursos utilizados e aspectos econômicos) e impacto social, que configurariam a base de um sistema avaliativo para os processos, normatização (manufatura sustentável) e classificação internacional. Finalmente, considerando toda a evolução dos conceitos ligados à manufatura sustentável, Gallardo e Sanchez (2014) enfatizam que um sistema de produção sustentável pode ser estruturado a partir de estratégias, práticas e tecnologias intra e interorganizacionais, perfazendo um subsistema interno (relativo ao escopo empresarial) e outro subsistema externo – referente aos processos de negócio e ao sistema de agregação de valor transcendente à própria cadeia produtiva.

2.2 Conceitos importantes sobre o projeto de arranjo físico industrial

O projeto de instalações fabris deve obter uma combinação ótima dos fatores de produção através da integração de máquinas/equipamentos e força de trabalho, influenciando diretamente a competitividade da organização industrial (MEYERS e STEPHENS, 2013). Já Tompkins *et. al.* (2013) e Olivério (1985) comentam que o projeto do arranjo físico industrial deve promover a excelência na utilização de máquinas/equipamentos, materiais, mão-de-obra e energia, proporcionando escalas adequadas de custos de produção, qualidade, flexibilidade e atendimento ao mercado consumidor. Assim, o projeto de arranjo físico de uma fábrica trata da disposição física de máquinas, equipamentos, áreas de suporte à produção e áreas para pessoal (TOMPKINS *et al.*, 2013). Também, o projeto de uma nova unidade industrial ou o reprojeto de uma planta já existente compreende a estruturação organizacional e funcional das operações produtivas de modo a atender o mercado consumidor e melhorar a competitividade (TIBERTI, 2003).

Slack, Johnston e Chambers (2009) comentam que o projeto de arranjo físico deve se preocupar com a localização dos recursos de transformação, ou seja, a decisão de onde se alocar as instalações físicas, máquinas, equipamentos e pessoal da produção. Já para Stevenson (2001), o *layout* produtivo trata da configuração de departamentos, centros de trabalho, instalações e equipamentos, com ênfase na movimentação dos materiais através do sistema fabril. Para Gaither e Frazier (2001), o *plant layout* aborda o planejamento da localização de todas as máquinas, equipamentos, estações de trabalho, áreas de atendimento, pontos de armazenagem, corredores de movimentação de materiais, facilidades e setores de apoio (banheiros, refeitórios e escritórios), bem como a definição dos fluxos de materiais e pessoas que circulam pela fábrica.

Nesse sentido, Drira, Pierreval e Hajri-Gabouj (2007) argumentam que o arranjo físico industrial influencia os custos de produção, materiais em processamento (*work in process*), tempos de entrega e produtividade, sendo que a otimização dos custos de manipulação de materiais, proximidade de departamentos, flexibilização do arranjo e operação, racionalização do espaço disponível, cuidados com higiene/segurança do trabalho e questões ergonômicas dos sistemas produtivos estão entre os principais desafios enfrentados no projeto de uma unidade produtiva.

Os problemas relativos ao *layout* produtivo são fortemente dependentes das características específicas do sistema fabril, que são classificados por Camarotto (2007) em contínuos, repetitivos e intermitentes. Os processos contínuos são característicos de indústrias que não podem interromper a fabricação sob o risco de perder o material processado ou até mesmo danificar equipamentos e/ou parte das instalações industriais. O arranjo físico é extremamente influenciado pelos condicionantes tecnológicos e sua lógica é determinada pelo processo de fabricação – portanto, são considerados arranjos com pouca flexibilidade, pois possuem equipamentos dedicados ao processamento de uma pequena variedade de produtos.

Por sua vez, os processos repetitivos estão presentes nas fábricas em que o produto é manufaturado em lotes que são movimentados em quantidades fixas ao longo do sistema fabril, sendo que itens pertencentes a um lote seguem o mesmo roteiro/fluxo produtivo, tempos de processamento equivalentes e tamanhos de lote uniformes. Já os processos intermitentes estão relacionados ao processamento de pequenos lotes de produtos sem regularidade de período e/ou tamanho de lote, onde o sistema de manufatura é flexível dependente de encomendas dos produtos, que podem sofrer alterações de especificações mesmo se tratando de um mesmo lote de produção.

Na literatura podem ser encontradas diferentes classificações de arranjos físicos, sendo que as mais comuns são baseadas no processo de fabricação e/ou no volume-variedade de produtos. Heizer e Render (2013) mencionam sete tipos usuais de arranjos físicos – escritório, varejo, armazém, posicional, por processo, por produto e celular. Slack, Johnston e Chambers (2009) também sugerem uma forma de seleção de *layouts* produtivos, dividindo-os em quatro tipos principais aplicados aos sistemas fabris: posicional, por processo, por produto e celular. A Figura 1 relaciona os processos existentes com os arranjos físicos mais comuns.

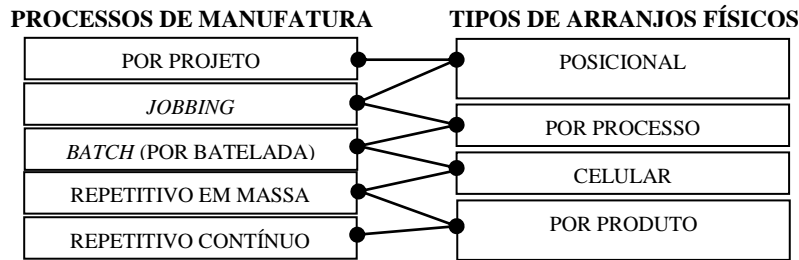


Figura 1 – Relacionamento entre processos e arranjos. Fonte: adaptado de Slack, Johnston e Chambers (2009).

O arranjo físico posicional, segundo Shambu e Suresh (2000) e Dilworth (1999), é considerado mais adequado à manufatura de produtos cujas dimensões inviabilizam, ou mesmo impossibilitam, sua movimentação através dos estágios do processo produtivo. O produto permanece imóvel e as estações de trabalho se deslocam até os materiais a serem transformados – os exemplos de aplicação são a fabricação navios, montagem de aviões e construção de edifícios. De acordo com Peinado e Graeml (2007), o arranjo físico posicional apresenta como desvantagens a complexidade de supervisão da mão-de-obra, controle/estocagem de matérias primas e ferramentas, necessidade de áreas externas para confecção de submontagens, produção em pequena escala e baixo grau de padronização do produto.

O arranjo físico por processo (funcional ou *job shop*) é caracterizado pelo agrupamento de máquinas/equipamentos que executam operações similares em um mesmo espaço físico, que é denominado seção ou departamento. Segundo Heizer e Render (2013), as máquinas/equipamentos são alocados conforme as especificidades do processo de manufatura, sendo que o material em transformação percorre um roteiro de uma área produtiva para outra, de forma que as operações de realização do produto sejam cumpridas passo a passo. Os departamentos/seções são dispostos de acordo com o deslocamento dos materiais entre os mesmos, gerando um alto fluxo interdepartamental e um baixo fluxo intradepartamental (TOMPKINS *et al.*, 2013).

Rocha (2011) defende que a complexidade do arranjo funcional aumenta na medida em que a manufatura dos produtos exige muitas operações e roteiros de produção diferenciados, bem como quando as quantidades produzidas aumentam significativamente com o decorrer do funcionamento da planta fabril, fazendo com que os fluxos produtivos sofram cruzamentos e aumentando o tempo de atravessamento dos materiais em processo. Para Peinado e Graeml (2007), o arranjo por processo possui grande capacidade para atender às alterações na de demanda final, flexibilidade para manufaturar, ao mesmo tempo, modelos de produtos diversificados em quantidades variáveis, além de apresentar menores investimentos iniciais para instalação do parque industrial. Dentre as desvantagens associadas estão os longos fluxos produtivos devido às intensas movimentações dos materiais ao longo das operações departamentalizadas, baixa diluição dos custos fixos de produção, necessidade de mão-de-obra qualificada, dificuldade de balanceamento do conjunto de operações, estoques em processo mais elevados e maior necessidade de preparação de máquinas/equipamentos.

No arranjo físico por produto (*flow shop*), as máquinas/equipamentos e as estações de trabalho são alocadas conforme uma sequência lógica de fabricação e montagem de produtos padronizados, sem rotas alternativas dentro dos fluxos produtivos preestabelecidos, permitindo ritmos mais rápidos na manufatura de produtos padronizados, facilitando a supervisão do processo e minimizando a movimentação e o manuseio de materiais (CAMAROTTO, 2007).

Rocha (2011) cita que, dentre as vantagens atribuídas ao arranjo físico por produto, estão a possibilidade de produção em massa com grande produtividade, carga de máquina e consumo de material constantes, facilitação do controle operacional, menores estoques e baixos tempos improdutivos (devido aos ritmos de produção mais regulares). Dentre as desvantagens estão o alto investimento em máquinas/equipamentos dedicados, divisão/especialização do trabalho (que pode gerar monotonia, fadiga e desmotivação dos operadores), baixa flexibilidade operacional (altos tempos de resposta para alterações de volume e/ou *mix* de produtos), sensibilidade à presença de recursos-gargalo (que afetam o ritmo de produção) e às paralisações (quebras e paradas não programadas).

O arranjo físico celular (*cellular layout* ou *group technology layout*), segundo Chase, Jacobs e Aquilano (2006), é representado pelo agrupamento de máquinas/equipamentos dispostos em uma área

comum (denominado célula), que são referentes ao processo de produção completo de um produto ou de famílias de produtos (grupos de produtos com características físicas semelhantes e/ou similaridade de processos de obtenção). Os materiais em processo são movimentados nas operações presentes no interior da célula, que é projetada para ter flexibilidade para manufaturar diversos produtos conforme seqüências de processamento bem definidas. Tompkins *et al.* (2013) dizem que, diferentemente do arranjo físico por processo, nas células de manufatura são notados consideráveis fluxos intradepartamentais e baixos fluxos interdepartamentais, o que integra as vantagens dos arranjos físicos por processo e por produto, além de requisitar menor espaço físico da planta fabril e permitir, assim, futuras ampliações de capacidade produtiva.

Chase e Jacobs (2009) citam como vantagens relativas às células de manufatura o aumento da flexibilidade referente ao tamanho dos lotes de produção, diminuição de tempos ociosos, redução da movimentação/manuseio e dos níveis de estoques de materiais em processo, melhoria da satisfação no trabalho (polivalência funcional e rotação de atividades), autonomia e responsabilização operacional, preparações mais rápidas e altos níveis de produtividade e qualidade. Por sua vez, as principais desvantagens são a especificidade do arranjo celular para manufatura de um único produto ou de uma pequena família de produtos, altos investimentos de capital e complexidade de projeto comparativamente aos *layouts* por produto e por processo.

A escolha do arranjo físico baseada no volume-variedade de produtos busca relacionar um determinado tipo de arranjo físico à quantidade e ao *mix* de produtos fabricados. Para Silva e Morábito (2007), tanto o volume (escala) quanto a variedade (escopo) interferem diretamente no projeto e operação da unidade produtiva. A Figura 2 mostra uma relação entre tipos de arranjo físico e volume-variedade de produtos que pode auxiliar na seleção do arranjo físico mais adequado às características do produto manufaturado em termos de tamanho de lote e variabilidade de peças/componentes.

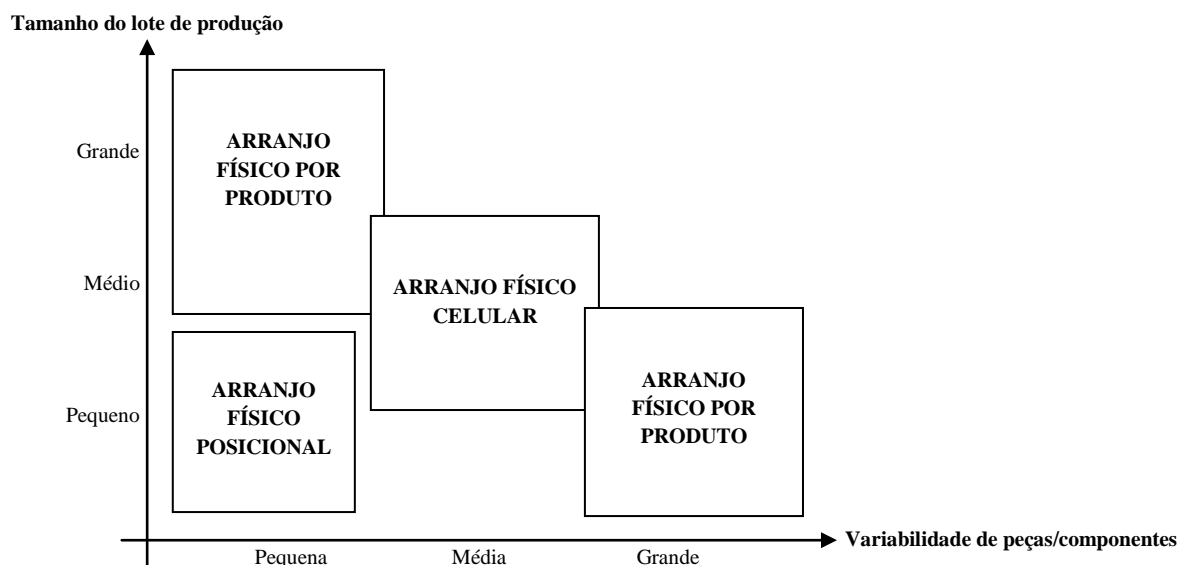


Figura 2 – Classificação de arranjo físico por volume-variedade. Fonte: adaptado de Tiberti (2003).

Por sua vez, o projeto de fábrica deve se concentrar na caracterização e no dimensionamento do sistema de produção como um todo, o que pressupõe a determinação recursos de manufatura e a configuração da rede de operações, englobando o conjunto de atividades para a localização da unidade produtiva, configuração das linhas de fabricação e montagem, projeto/organização dos postos de trabalho e funções de apoio, bem como a definição dos sistemas ligados ao gerenciamento de operações (TOMPKINS *et al.*, 2013; MENIPAZ, 1984). Por fim, Camarotto (2007) defende que o projeto de arranjo físico deve ser tratado com os mesmos rigores do projeto do produto, sendo tratado como um ‘produto dinâmico’ que considera as necessidades futuras dos usuários do sistema fabril, restrições da fábrica e do próprio negócio.

2.3 Metodologias usuais para projeto de arranjo físico

Os projetos de *plant layout* devem ser apoiados por metodologias baseadas em uma sequência de atividades organizadas em passos ou etapas e cujo resultado final é um arranjo físico viável à fábrica. Nesse sentido, com base em levantamento bibliográfico, identificaram-se quatro metodologias bastante utilizadas em trabalhos técnico-científicos publicados nos últimos dez anos na área de Projeto de Fábrica e de Instalações Industriais, elencadas como segue:

- Planejamento Sistemático de Arranjo Físico (*Systematic Layout Planning/SLP*) de Muther e Wheeler (2000);
- Projeto simplificado de arranjo físico proposto por Slack, Johnston e Chambers (2009);
- Método de projeto de planta fabril de Tompkins *et al.* (2013);
- Metodologia de projeto de *plant layout* proposta por Apple (1991).

Com base em Muther e Wheeler (2000), o Planejamento Sistemático de Arranjo Físico (*Systematic Layout Planning/SLP*) pode ser compreendido em linhas gerais como um método sistemático de análise e projeto de *layout* funcional baseado na determinação dos fluxos de produtos e recursos necessários, identificação de inter-relacionamentos entre as atividades produtivas (dependência/proximidade), composição das áreas de trabalho, estimativa de espaços físicos necessários (departamentos/setores produtivos) e realização de refinamentos/ajustes na área total disponível (composição do *plant layout e templates*).

Já o modelo de projeto de arranjo físico proposto por Slack, Johnston e Chambers (2009) é bastante simplificado, consistindo de três etapas principais: (1) seleção do tipo de processo (por projeto, *jobbing*, *batch*, em massa ou contínuo); (2) seleção do tipo de arranjo físico (posicional, por processo, por produto ou celular) com base nos objetivos estratégicos e no conceito de volume-variabilidade dos produtos manufaturados; (3) projeto detalhado do arranjo físico (posicionamento dos recursos de transformação e determinação dos fluxos produtivos).

O método de projeto de planta fabril de Tompkins *et al.* (2013) é composto por nove atividades principais: (1) definição ou redefinição do objetivo da planta fabril; (2) especificação das atividades produtivas e de suporte; (3) determinação do inter-relacionamento entre atividades produtivas e de suporte; (4) cálculo de espaço físico para a execução de todas as atividades; (5) elaboração de anteprojetos da planta fabril (plantas alternativas); (6) avaliação sistemática das plantas alternativas; (7) seleção da planta fabril; (8) implantação da planta fabril selecionada; (9) acompanhamento e melhorias na planta fabril implantada.

Por sua vez, a metodologia de projeto de *plant layout* proposta por Apple (1991), muito utilizada em projetos de arranjos físicos funcionais (por processo), é constituída de vinte passos gerais que podem ser adaptados (ou mesmo suprimidos), conforme a natureza dos produtos a serem manufaturados e particularidades do processo, apresentando flexibilidade para a concepção de arranjos físicos industriais. O conjunto de passos da metodologia está ilustrado na Figura 3.

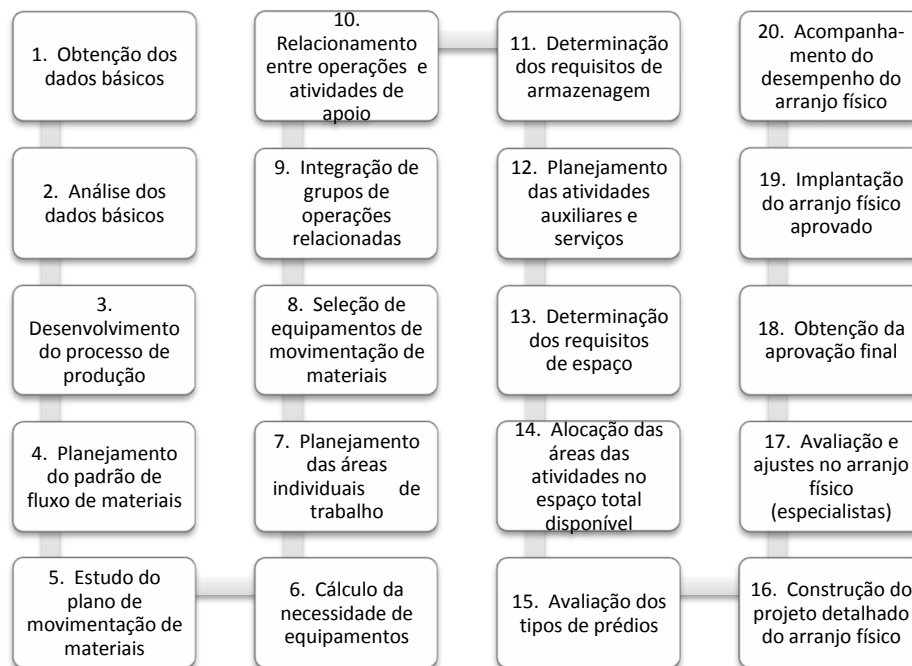


Figura 3 – Metodologia de projeto do *plant layout* proposta por Apple (1991).

Com base na Figura 3, o projeto do arranjo físico se inicia com a obtenção/análise dos dados básicos (previsão de vendas, portfólio de produtos, política de estoques de materiais e produtos acabados, desenhos e listas de materiais, roteiros de produção, fluxogramas de processo, tempos de produção e plantas de prédios preexistentes). A partir da análise cuidadosa dos dados, concebe-se o processo de produção detalhado (conjunto de todas as operações para transformação dos produtos), bem como o planejamento dos fluxos otimizados de materiais. Também, devem ser planejados os métodos de movimentação de materiais (recebimento de matérias-primas/insumos e deslocamento de materiais em processo e produtos acabados), conforme os fluxos anteriormente definidos.

Ainda, com a definição do processo produtivo e dos materiais que serão transformados, procede-se ao cálculo das necessidades dos equipamentos, ao planejamento detalhado das estações de trabalho (operações e áreas necessárias) e à determinação das relações entre máquinas/equipamentos, operações e recursos auxiliares. Posteriormente, faz-se a definição de todos os equipamentos de movimentação de materiais, a integração das áreas individuais de trabalho, setores e departamentos, bem como se compõe o relacionamento entre atividades produtivas e de apoio (serviços/facilidades).

Na sequência, determinam-se os requisitos de armazenagem de matérias-primas/insumos, materiais em processo, produtos acabados e ferramentas/dispositivos, além do planejamento das atividades auxiliares/ serviços e dos requisitos de espaço para todas as atividades realizadas (produção, serviços e facilidades). Então, elabora-se um arranjo físico preliminar (alocação de áreas às atividades produtivas e de apoio), sendo também avaliados os padrões construtivos e arquitetônicos da nova planta fabril. Por fim, executa-se o projeto detalhado do arranjo físico (*layout* mestre), bem como as avaliações e ajustes necessários no mesmo para, *a posteriori*, iniciar a implantação e acompanhar o desempenho da nova planta industrial.

3. Metodologia

3.1 Caracterização da empresa

A INFLEX Indústria e Comércio de Embalagens Ltda., instalada na Região da Grande Dourados/MS, possui certificação ISO 9001:2008 e Gestão de Resíduos P+L, 200 funcionários e planta fabril com 7.200 m² (área total de 35.000 m²). A firma produz 400 toneladas/mês de embalagens plásticas flexíveis, mono/multilaminadas, impressas em processo flexográfico com tecnologia *gear less*, *linners* para fabricação de fitas dupla face e sacos plásticos *stand-up* e *zip*, a partir de filmes extrudados de Polietileno de Alta Baixa Densidade (PEAD e PEBD), Polietileno

Tereftalato (PET), Polipropileno Bi-Orientado e Torção (BOPP e PPT), Poliamida Bi-Orientada (BOPA) e diversas películas metalizadas. Os produtos são destinados a agroindústrias regionais e indústrias localizadas em municípios de todas as regiões geográficas brasileiras.

A produção *job shop* visa atender a carteira de pedidos firmes e inclusões de pedidos de acordo com a disponibilidade de capacidade produtiva, trabalhando com ordens de produção diárias/semanais, com programação firme de quinze dias e horizonte de planejamento mensal executadas pelos aplicativos Microsiga Protheus 11da Totvs e Preactor 400APS da Preactor International Ltd.

O sistema de manufatura é do tipo intermitente baseado em lotes e arranjo físico funcional (departamental). O processo produtivo engloba atividades de desenvolvimento do *layout* e projeto técnico do produto conforme requisitos do cliente, elaboração dos clichês para impressão (fornecedores externos) e produção da embalagem, que contemplam as operações de extrusão/co-extrusão em até três camadas de filmes plásticos, impressão flexográfica, laminação simples e/ou dupla, refilamento de bobinas (embalagens contínuas), corte/soldagem de embalagens individuais (sacos plásticos) e expedição/*follow-up*. A operação de refilamento é responsável pela geração média de 25 toneladas/mês de aparas plásticas (85% dos resíduos considerados perdas normais de produção).

3.2 Metodologia e procedimentos adotados

A estrutura metodológica do trabalho segue a lógica de pesquisa aplicada/exploratória que, segundo Gil (2008) e Barros e Lehfeld (2007), tem como premissa a produção do conhecimento através de resultados associados à solução prática de um problema específico a partir de conceitos da literatura. O principal objetivo da pesquisa bibliográfica é a ampliação e domínio do conhecimento disponível para auxiliar na fundamentação de hipóteses e construção de modelos (LAKATOS e MARCONI, 2010). A referida pesquisa também está baseada na elaboração de um estudo de caso, sendo que Yin (2010) ressalta sua natureza empírica e adequação à investigação de problemas realísticos, principalmente quando os mesmos não estão claramente definidos.

Por sua vez, o método de execução da pesquisa está fundamentado em uma adaptação da metodologia para projeto de fábrica de Apple (1991), considerando oito etapas resultantes da combinação dos dezoito passos iniciais propostos pelo referido autor, que estão assim elencados:

- Coleta e análise de dados/informações para projeto do sistema fabril;
- Configuração do processo, fluxos e esquema de movimentação de materiais;
- Estimativa de necessidades de máquinas/equipamentos;
- Alocação de áreas aos setores/centros de trabalho;
- Construção de relacionamentos entre subprocessos e operações;
- Determinação das necessidades de armazenagem de matérias-primas/insumos, materiais em processo e produtos;
- Configuração das atividades de apoio (suprimentos, preparação/*setup*, manutenção e facilidades);
- Projeto detalhado, avaliação e aprovação final do *plant layout*.

Dessa maneira, com base no referido método de execução da pesquisa, o conjunto de procedimentos adotados para o projeto conceitual do sistema de produção sustentável, derivado da adaptação da metodologia de Apple (1991), contempla sete etapas interdependentes e sequenciais, assim definidas:

- Etapa 1 – Determinação da área disponível para construção da nova planta fabril e do tipo de arranjo físico predominante;
- Etapa 2 – Delineamento do processo de produção, que contempla o plano de macroprocesso (descrição de operações e fluxogramas) e lista de máquinas/equipamentos;
- Etapa 3 – Elaboração/readequações da planta fabril inicial e do arranjo físico funcional conforme necessidades de espaço físico dos centros de trabalho (operações), almoxarifado e depósito de produtos acabados;

- Etapa 4 – Estudo/definição de corredores de movimentação, pontos de estoque de material em processo e sistemas de armazenagem e movimentação de materiais, bem como detalhamentos construtivos (pisos);
- Etapa 5 – Avaliação detalhada e aprovação final do *plant layout* referente ao sistema de produção sustentável (projeto da planta fabril e arranjo físico funcional);
- Etapa 6 – Elaboração, avaliação e aprovação final do mapofluxograma produtivo completo baseado no conjunto dos fluxos individualizados de matérias-primas, materiais em processo e produtos acabados.
- Etapa 7 – Estudo e configuração da base de fornecedores de matérias-primas e insumos.

Ainda, como justificativa para a escolha da metodologia de Apple (1991) para delinear o método de execução da pesquisa, está sua facilidade de adaptação ao projeto de arranjos físicos funcionais (por processo), que se relaciona à possibilidade de combinação e/ou supressão de alguns de seus vinte passos segundo peculiaridades do sistema de produção e tecnologias de processamento adotadas. Devido à sua grande flexibilidade de utilização, esta metodologia pode ser interpretada como um modelo de referência para o *plant layout* – os modelos de referência, conforme Bertalanffy (2008) e Keller e Teufel (1998), permitem a descrição do fluxo de processos de negócio em termos de sistemas, subsistemas, componentes, atividades e tecnologias associadas às áreas/funções presentes em uma organização produtiva, dentro de uma visão adaptativa e voltada à aprendizagem organizacional.

3.3 Resultados obtidos

O projeto do sistema de produção sustentável foi concebido para manufaturar três produtos pecuários (equipamentos) destinados à alimentação e suplementação vitamínico-mineral de bovinos, que foram desenvolvidos conforme recomendações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA, denominados de cocho estacionário com cobertura, cocho-trenó móvel sem cobertura e dispositivo automático para suplementação vitamínico-mineral (exibidos na Figura 4).

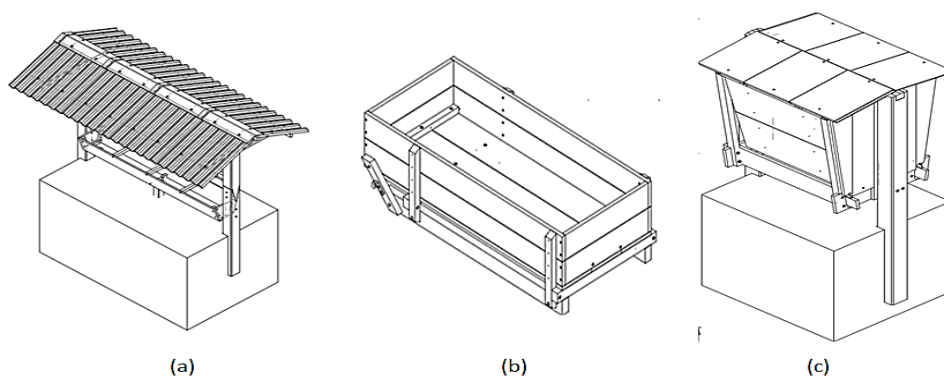


Figura 4 – Representação dos produtos – (a) cocho estacionário com cobertura; (b) cocho-trenó móvel sem cobertura; (c) dispositivo automático para suplementação vitamínico-mineral.

Na manufatura dos três produtos pecuários é realizada a extrusão de perfilados retilíneos planos (larguras de 100 a 500 mm e espessuras de 15 a 30 mm), perfilados maciços de seção retangular (larguras de 50 a 120 mm e espessuras de 50 a 60 mm) e perfilados maciços de seção quadrada (seções transversais entre 50 e 200 mm), processados em extrusoras dupla rosca com dosadores volumétricos separados para alimentação de blendas termoplásticas e fibras vegetais micronizadas. O processo de extrusão de termoplásticos possui custos menores em comparação à injeção e termoformagem, além de flexibilidade para fabricação de produtos com consistentes e variadas seções transversais e possibilidade de reaproveitamento de sobras de materiais normalmente descartados por outros processos de conformação de termoplásticos (MANRICH, 2005).

Considerando a Etapa 1 do conjunto de procedimentos adotados para projeto de fábrica (*plant layout*), inicialmente a INFLEX indicou uma área disponível de 5.000 m² para construção da nova planta fabril (contígua ao terreno industrial principal). Ainda, a determinação do arranjo físico predominantemente funcional (por processo) foi baseada nos seguintes pontos:

- Predominância de processo intermitente, que é caracterizado pelo processamento de lotes de tamanhos, características dos produtos e frequências de produção variáveis;
- Relacionamento entre o processo intermitente por lotes (*batch*) e o arranjo físico funcional (Figura 1);
- Conforme mostrado na Figura 2, o arranjo físico por processo pressupõe a manufatura de pequenos lotes associada à média/grande variabilidade de peças/componentes, o que se reflete em um reduzido *mix* de produtos fabricados;
- Roteiros e fluxos de produção simplificados para manufaturar produtos em variados volumes de produção;
- Baixos investimentos financeiros em máquinas/equipamentos em comparação com outros arranjos físicos tradicionais (por produto e celular).

Já na Etapa 2, o desenho do processo produtivo considera nove subprocessos interdependentes e suas respectivas operações constituintes. O plano de macroprocesso abrange a descrição do conjunto de operações que perfaz cada um dos nove subprocessos, bem como os fluxogramas correspondentes. Também, foi elaborada uma lista de máquinas/equipamentos para cada subprocesso em termos do conjunto de suas operações produtivas (que é exibida no Quadro 1).

A Figura 5 mostra o fluxograma do processo produtivo em termos de seus nove subprocessos.

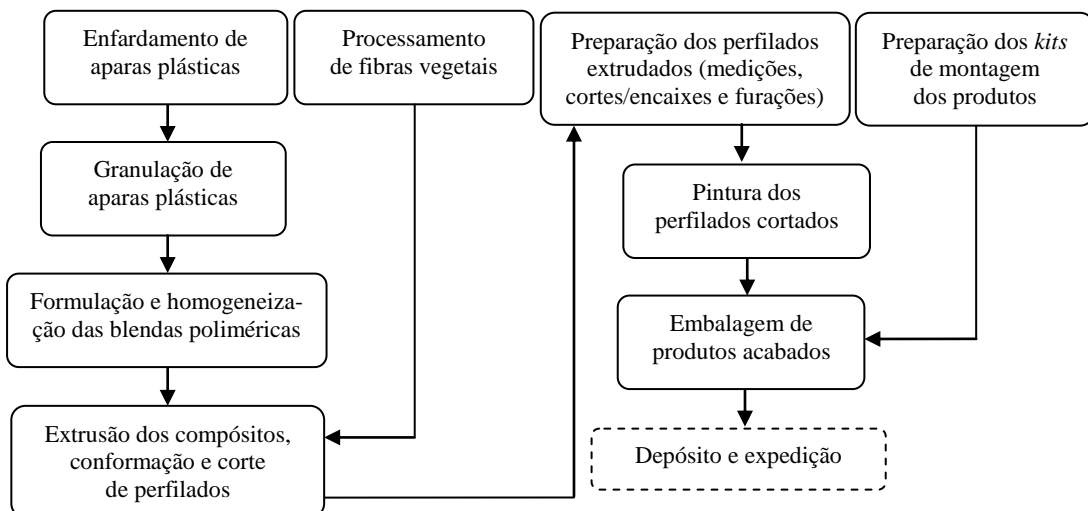


Figura 5 – Fluxograma do sistema de produção sustentável (macroprocesso).

O subprocesso de enfardamento de aparas plásticas exibido na Figura 6 é composto de quatro operações: (1) recebimento das aparas plásticas (resíduos industriais) – as aparas plásticas residuais originárias da INFLEX são acomodadas em contenedores aramados e transportadas até o setor de enfardamento de aparas plásticas; (2) separação/classificação das aparas segundo as composições dos filmes plásticos residuais; (3) enfardamento das aparas selecionadas (compressão e cintagem em prensas verticais); (4) acomodação dos fardos em *pallets* metálicos padrão PBR (1,20 x 1,00m), movimentação/armazenagem em estantes metálicas (*porta-pallets*).

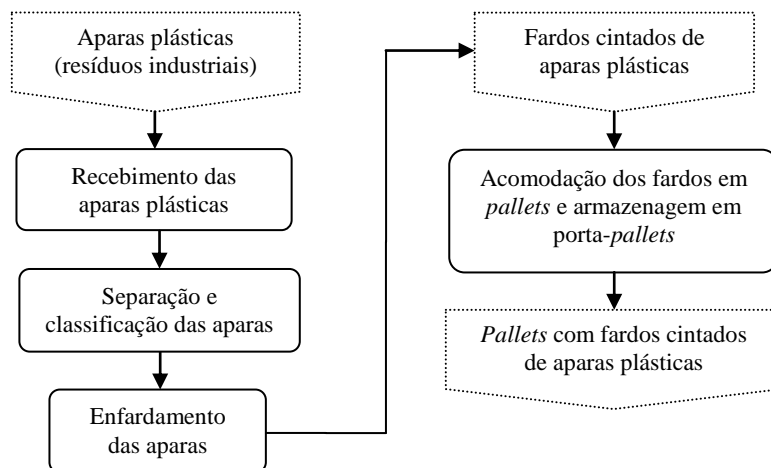


Figura 6 – Fluxograma do subprocesso de enfardamento de aparas plásticas.

Por sua vez, o subprocesso de processamento de fibras vegetais é mostrado na Figura 7, sendo constituído de cinco operações: (1) recebimento das fibras vegetais enfardadas (comprimidas, cintadas e paletizadas) vindas de fornecedores (usinas sucroenergéticas), pesagem/d Descarregamento de caminhões e movimentação até o setor de processamento de fibras vegetais; (2) secagem e moagem das fibras *in natura* em secadores contínuos *flash dryer* alimentados a Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e em moinhos de martelos rotativos; (3) classificação granulométrica das partículas de fibras vegetais através de peneiradores rotativos (faixas de 0,5 a 3,0 mm); (4) acondicionamento das partículas processadas em bombonas plásticas de 30 litros; (5) colocação das bombonas plásticas em *pallets* e movimentação/armazenagem em estantes metálicas (*porta-pallets*).

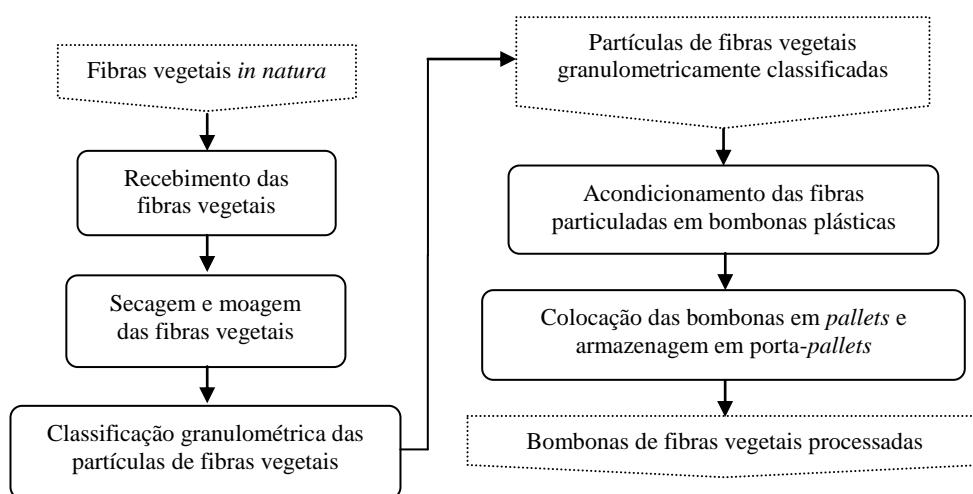


Figura 7 – Fluxograma do subprocesso de processamento de fibras vegetais.

A Figura 8 ilustra o subprocesso de granulação de aparas plásticas formado por cinco operações sequenciais: (1) movimentação dos *pallets* com fardos de aparas plásticas para o setor de granulação de aparas plásticas; (2) trituração/moagem das aparas plásticas em moinhos granuladores de facas rotativas e pré-peneiramento classificatório; (3) extrusão e granulação polimérica (obtenção de *pellets*); (4) acondicionamento dos pellets em bombonas plásticas de 30 litros; (5) colocação das bombonas plásticas em *pallets* e movimentação/armazenagem em *porta-pallets*.

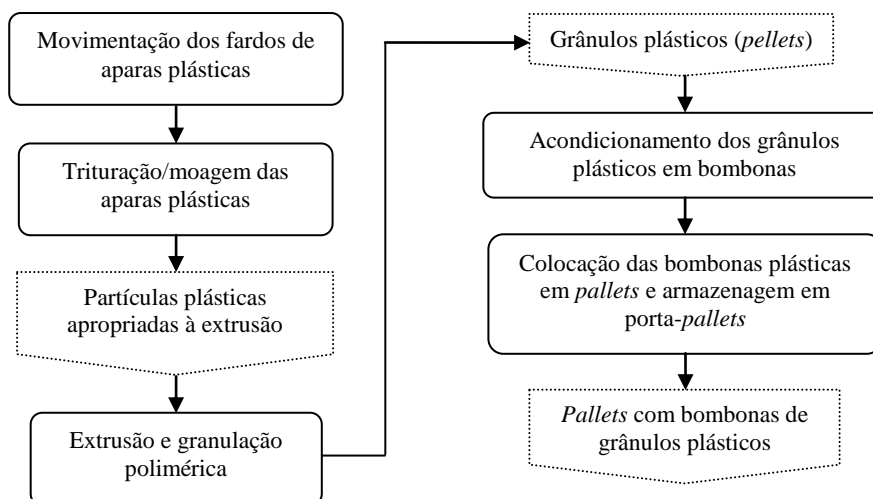


Figura 8 – Fluxograma do subprocesso de granulação de aparas plásticas.

O subprocesso de formulação e homogeneização das blendas poliméricas mostrado na Figura 9 é composto de três operações: (1) movimentação dos *pallets* com bombonas de grânulos plásticos para o setor de formulação/homogeneização de blendas poliméricas; (2) formulação das blendas poliméricas através de pesagem eletrônica e homogeneização em misturadores de tambores rotativos; (3) acondicionamento das blendas formuladas/homogeneizadas em caçambas metálicas basculantes.

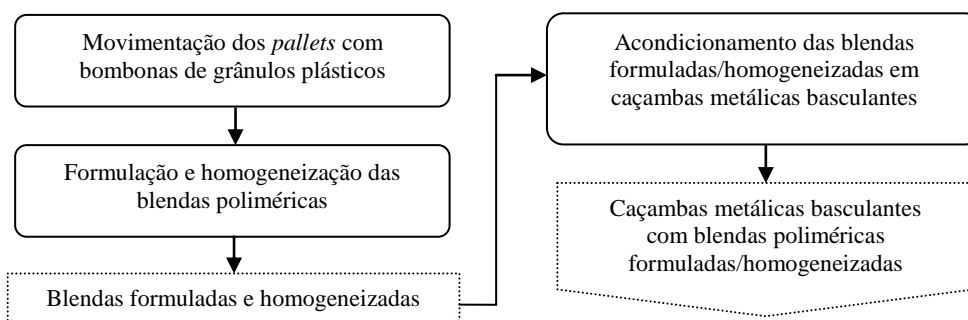


Figura 9 – Fluxograma do subprocesso de formulação e homogeneização das blendas poliméricas.

A Figura 10 contempla o subprocesso de extrusão dos compósitos, conformação e corte de perfilados, que é formado por cinco operações: (1) movimentação das caçambas basculantes com blendas homogeneizadas e dos *pallets* com bombonas contendo fibras vegetais particuladas para o setor de extrusão dos compósitos, conformação e corte de perfilados extrudados; (2) extrusão em dupla rosca dos compósitos végeto-poliméricos (aglutinação de blendas e partículas de fibras vegetais); (3) conformação de perfilados por extrusão dupla rosca; (4) corte dos perfilados com serras de discos rotativos automatizados; (5) armazenagem dos perfilados cortados em estantes *cantilever*.

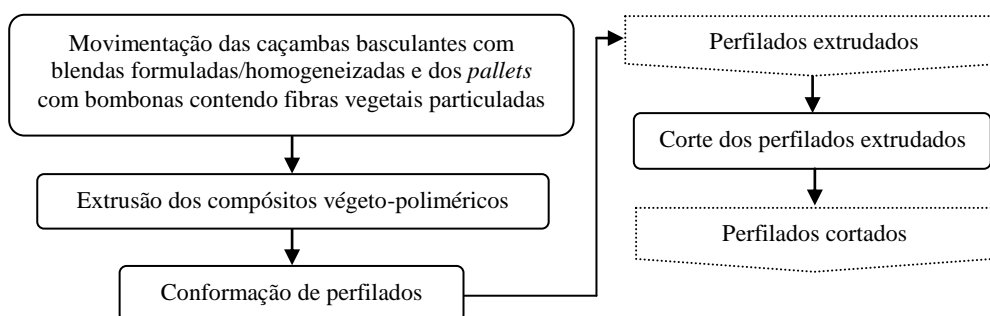


Figura 10 – Fluxograma do subprocesso de extrusão de compósitos, conformação/corte de perfilados.

O subprocesso de preparação dos perfilados extrudados (medições, cortes/encaixes e furações), exibido na Figura 11 possui um conjunto de cinco operações inter-relacionadas: (1) movimentação dos perfilados cortados para o setor de preparação de perfilados cortados; (2) medição/determinação dos pontos de cortes, encaixes e furos nos perfilados cortados; (3) execução de cortes, encaixes, rebaixos e furações nos perfilados cortados, que passam a ser designados de perfilados cortados preparados; (4) movimentação e armazenagem dos perfilados cortados preparados em estantes *cantilever* presentes no setor de embalagem de produtos acabados; (5) movimentação e armazenagem dos perfilados cortados preparados no setor de pintura de perfilados cortados preparados.

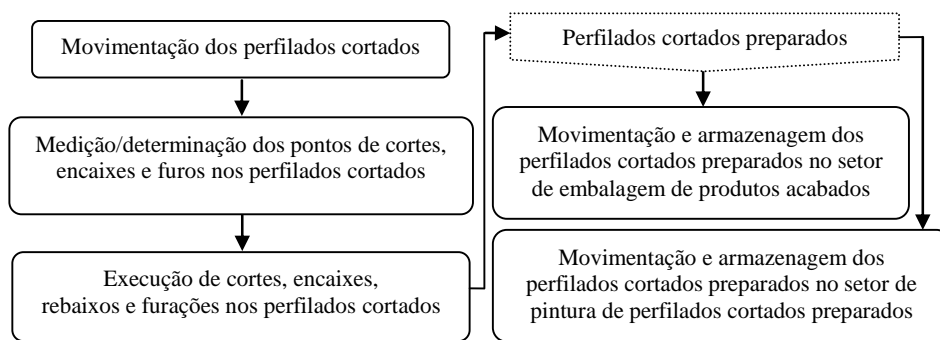


Figura 11 – Fluxograma do subprocesso de preparação dos perfilados cortados.

O subprocesso de pintura de perfilados cortados/preparados exibido na Figura 12 é constituído por um conjunto de duas operações: (1) pintura dos perfilados preparados através de pulverização a ar comprimido em ambiente segregado (sistema de exaustão de gases e névoas); (2) movimentação e armazenagem dos perfilados pintados no setor de embalagem de produtos acabados.

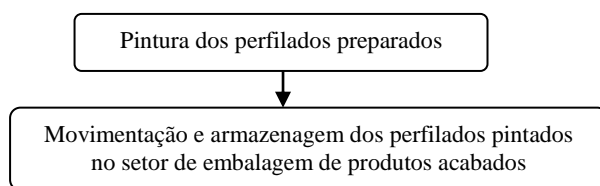


Figura 12 – Fluxograma do subprocesso de pintura de perfilados cortados preparados.

A Figura 13 exibe o subprocesso de preparação dos *kits* de montagem dos produtos, que é constituído por um conjunto de três operações interligadas: (1) recebimento dos elementos de fixação (parafusos, porcas e arruelas) adquiridos de fornecedores, que compreende atividades de conferência de notas fiscais e documentos, contagem/pesagem, controle de qualidade e envio de documentos para pagamento; (2) seleção e armazenagem dos elementos de fixação em estantes de prateleiras presentes no almoxarifado; (3) preparação e armazenagem dos *kits* de montagem dos produtos em estantes dispostas no almoxarifado para posterior envio ao setor de embalagem de produtos acabados.

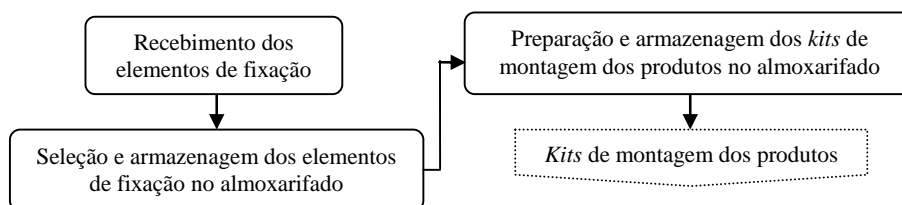


Figura 13 – Fluxograma do subprocesso de preparação dos *kits* de montagem dos produtos.

Por fim, o subprocesso de embalagem de produtos acabados, conforme mostra a Figura 14, é formado por quatro operações: (1) movimentação dos *kits* de montagem dos produtos do almoxarifado

para o setor de embalagem de produtos acabados; (2) embalagem dos produtos acabados, que compreende as atividades de cintagem para amarração dos perfilados cortados preparados e/ou perfilados pintados, aplicação de filmes plásticos termorretráteis para proteção/estabilização dos perfilados cintados e acomodação dos perfilados cintados/*kits* de montagem em caixas de papelão reforçadas (produtos acabados); (3) movimentação/armazenagem dos produtos acabados no depósito; (4) expedição final.

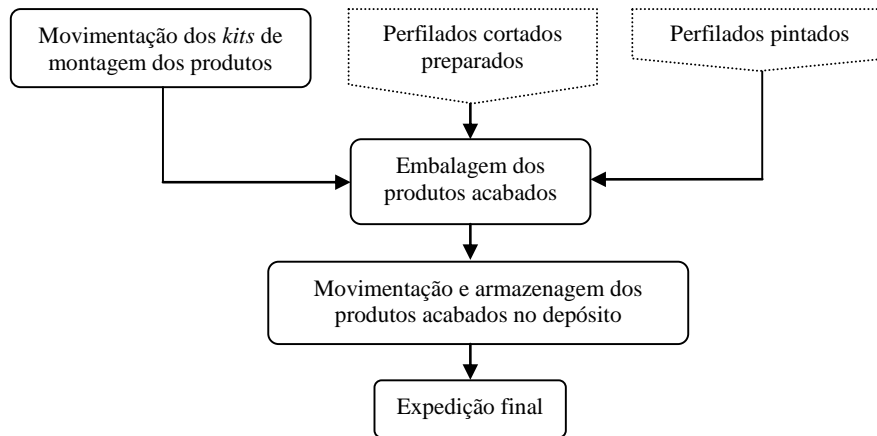


Figura 14 – Fluxograma do subprocesso de embalagem de produtos acabados.

O Quadro 1 exibe a relação de máquinas/equipamentos referentes ao processo de produção delineado (Etapa 2).

Quadro 1 – Lista de máquinas/equipamentos para os subprocessos e respectivas operações.

Subprocesso	Operação	Máquina/Equipamento	Quantidade
Enfardamento de aparas plásticas	Operação 1	Empilhadeira movida a GLP ⁽¹⁾	1
	Operação 3	Prensa enfardadeira vertical	3
	Operação 4	Empilhadeira movida a GLP ⁽¹⁾	-
Processamento de fibras vegetais	Operação 1	Empilhadeira movida a GLP ⁽²⁾	1
	Operação 2	Secador contínuo flash dryer	1
		Transpaleteira manual	1
		Triturador-moedor de martelos	3
	Operação 3	Peneira rotativa	2
Operação 5	Empilhadeira movida a GLP ⁽²⁾	-	
Granulação de aparas plásticas	Operação 1	Empilhadeira movida a GLP ⁽¹⁾	-
	Operação 2	Moinho granulador de facas e martelos	1
	Operação 3	Extrusora recuperadora	1
	Operação 5	Transpaleteira manual e empilhadeira movida a GLP ⁽¹⁾	-
Formulação e homogeneização das blendas poliméricas	Operação 1	Empilhadeira movida a GLP ⁽³⁾	1
	Operação 2	Balança eletrônica transpaleteira	1
		Misturador horizontal	1
Operação 3	Empilhadeira movida a GLP ⁽³⁾	-	
Extrusão dos compósitos, conformação e corte perfilados	Operação 1	Transpaleteira manual e empilhadeira movida a GLP ⁽³⁾	-
	Operação 2	Extrusora dupla rosca (perfilados)	2
	Operação 3		
	Operação 4	Serra de disco rotativo automatizados	2
Preparação dos perfilados extrudados	Operação 1	Transpaleteira manual e empilhadeira movida a GLP ⁽⁴⁾	1
	Operação 3	Serra circular esquadrejadeira	2
		Serra de fita metálica	2
		Furadeira horizontal	2
	Operação 4	Empilhadeira movida a GLP ⁽⁴⁾	-
Operação 5	Transpaleteira manual e empilhadeira movida a GLP ⁽⁴⁾	-	
Pintura de perfilados cortados/preparados	Operação 1	Cabine de pintura com exaustor	1
	Operação 2	Empilhadeira movida a GLP ⁽⁴⁾	-
Preparação dos kits de montagem dos produtos	Operação 1	Transpaleteira manual	1
	Operação 3		
Embalagem de produtos acabados	Operação 1	Transpaleteira manual	1
	Operação 3	Empilhadeira movida a GLP ⁽⁴⁾	-
	Operação 4	Empilhadeira movida a GLP ⁽⁴⁾	-

⁽¹⁾ Empilhadeira para subprocessos 'enfardamento de aparas plásticas' e 'granulação de aparas plásticas'.

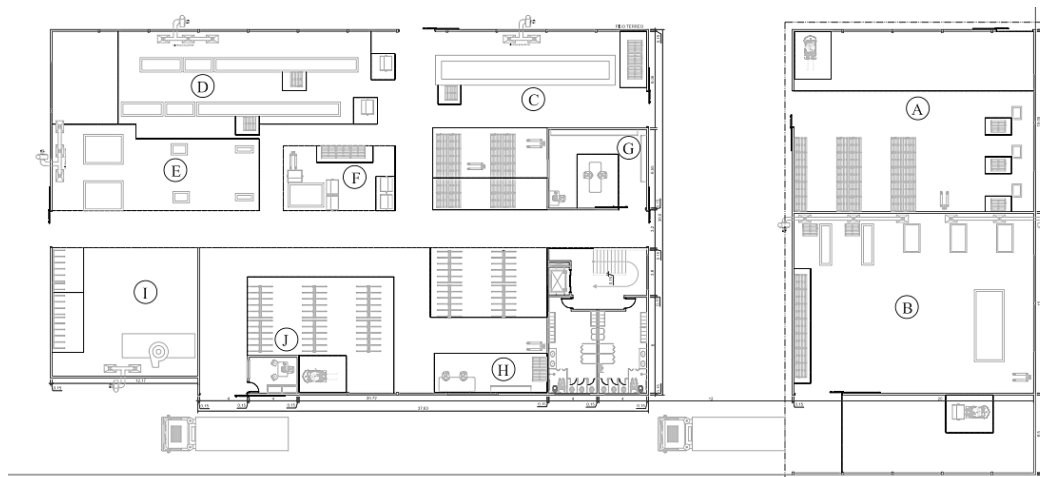
⁽²⁾ Empilhadeira para subprocesso 'processamento de fibras vegetais'.

⁽³⁾ Empilhadeira para subprocessos 'formul./homogeneiz. das blendas poliméricas' e 'extrusão de compósitos, conformação e corte de perfilados'.

⁽⁴⁾ Empilhadeira usada nos subprocessos 'preparação dos perfilados extrudados (medições, cortes/encaixes e furações)', 'pintura de perfilados cortados preparados' e 'embalagem de produtos acabados'.

Com a finalização do delineamento do processo produtivo, procedeu-se à Etapa 3 e elaboraram-se a planta fabril inicial e o correspondente arranjo físico com o aplicativo AutoCAD[®] da Autodesk Inc. Posteriormente, foram realizadas a localização/readequação dos espaços físicos necessários aos centros de trabalho (subprocessos e respectivas operações produtivas), almoxarifado, depósito de produtos acabados e expedição. Já na Etapa 4 foram delimitados pontos intermediários de armazenagem e corredores internos para movimentação de matérias-primas, materiais em processo e produtos acabados, bem como o dimensionamento dos sistemas de movimentação e armazenagem de materiais, tendo como referência a utilização de empilhadeiras, transpaleteiras, contenedores e caçambas basculantes metálicas, bombonas plásticas, estantes porta-pallets e cantilevers.

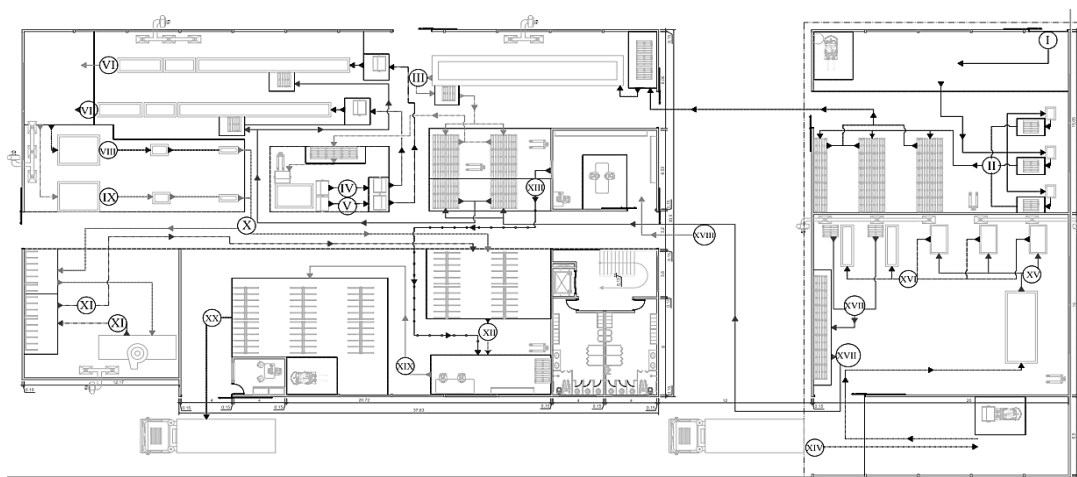
Com a finalização das melhorias nos projetos iniciais da planta fabril e no arranjo físico funcional, na Etapa 5 obteve-se a planta fabril e o arranjo físico funcional (*plant layout* do sistema de produção), revisados e definitivamente aprovados, como mostrado na Figura 15.



LEGENDA DOS SETORES DA FABRICA	
PONTOS	DESCRIÇÃO
(A)	SETOR DE ENFARDAMENTO DE APARAS PLÁSTICAS
(B)	SETOR DE PROCESSAMENTO DE FIBRAS VEGETAIS
(C)	SETOR DE GRANULAÇÃO DE APARAS PLÁSTICAS
(D)	SETOR DE EXTRUSÃO DOS COMPÓSITOS, CONFORMAÇÃO E CORTE DE PERFILADOS
(E)	SETOR DE PREPARAÇÃO DOS PERFILADOS
(F)	SETOR FORMULAÇÃO E HOMOGENEIZAÇÃO DAS BLENIDAS POLIMÉRICAS
(G)	SETOR DE PREPARAÇÃO DOS KITS DE MONTAGEM DOS PRODUTOS
(H)	SETOR DE EMBALAGEM DE PRODUTOS ACABADOS
(I)	SETOR DE PINTURA DE PERFILADOS CORTADOS
(J)	DEPÓSITO E EXPEDIÇÃO

Figura 15 – Projeto da planta fabril e arranjo físico funcional (*plant layout* do sistema de produção).

Como ilustrado na Figura 16, na Etapa 6 foi elaborado o mapofluxograma do processo para se avaliar os fluxos individualizados de materiais (matérias-primas, *work in process* e produtos) presentes no sistema fabril desde o recebimento de matérias-primas até a expedição final dos produtos acabados.



LEGENDA DOS FLUXOS DE MATERIAIS			
LINHA	DESCRIÇÃO	LINHA	DESCRIÇÃO
(I)	FLUXO DE APARAS PLÁSTICAS	(XI)	FLUXO DE PERFILADOS PINTADOS
(II)	FLUXO DE FARDOS DE APARAS	(XII)	FLUXO DE PERFILADOS PREP. E/OU PINTADOS
(III)	FLUXO DE GRÂNULOS PLÁSTICOS	(XIII)	FLUXO DE KITS DE MONTAGEM
(IV)	FLUXO DE BLENIDAS HOMOGENEIZADAS (PE)	(XIV)	FLUXO DE FIBRA VEGETAL
(V)	FLUXO DE BLENIDAS HOMOGENEIZADAS (PP)	(XV)	FLUXO DE FIBRA VEGETAL SECA
(VI)	FLUXO DE PERFILADOS CORTADOS (PE)	(XVI)	FLUXO DE FIBRA VEGETAL TRITURADA
(VII)	FLUXO DE PERFILADOS CORTADOS (PP)	(XVII)	FLUXO DE FIBRA VEGETAL PROCESSADA
(VIII)	FLUXO DE PERFILADOS (PE) EM PREPARAÇÃO	(XVIII)	FLUXO DE ELEMENTOS DE FIXAÇÃO
(IX)	FLUXO DE PERFILADOS (PP) EM PREPARAÇÃO	(XIX)	FLUXO DE PRODUTOS ACABADOS
(X)	FLUXO DE PERFILADOS PREPARADOS	(XX)	FLUXO DE EXPEDIÇÃO DOS PRODUTOS

Figura 16 – Mapofluxograma do processo produtivo completo.

Finalmente, na Etapa 7 foi delimitada a base de fornecedores de materiais plásticos reciclados e fibras vegetais provenientes de indústrias sucroenergéticas regionais. Assim, para suprimento adicional de materiais plásticos reciclados ao sistema de produção proposto, o corpo técnico do Instituto do Meio Ambiente de Dourados/MS (IMAM) forneceu informações sobre uma empresa recicladora estabelecida no município, denominada Associação dos Agentes Ecológicos de Dourados/MS (AGECOLD), que processa em torno de 300, 80 e 160 toneladas mensais de resíduos de pós-consumo compostos por Polietileno de Alta Baixa Densidade (PEAD e PEBD), Polietileno Tereftalato (PET) e Polipropileno (PP), respectivamente. O aplicativo Google Maps (disponível em <https://maps.google.com.br>) calculou a distância média entre INFLEX e AGECOLD é de 3,7 km.

Nesse contexto, para a construção da base de fornecimento do sistema de produção sustentável também foram realizados estudos em parceria com a Associação dos Produtores de Bioenergia de Mato Grosso do Sul (BIOSUL) para se identificar usinas sucroenergéticas instaladas em uma distância radial de até 150 km de Dourados/MS que poderiam suprir fibras vegetais para a planta fabril proposta. A Tabela 1 mostra dados/informações referentes a seis usinas que podem fornecer fibras vegetais para processamento dos compósitos végeto-poliméricos.

Tabela 1 – Relação de usinas sucroenergéticas para fornecimento de fibras vegetais processadas.

Usinas	Localização	Trajetos a partir da Inflex ⁽¹⁾	Distância (km) ⁽¹⁾	Custo por tonelada (R\$) ⁽²⁾	Relação distância-custo (km/R\$)
Fátima do Sul Agroenergética S.A.	Rod. Barreirinho – L. 2,3 e 4, Q. 43, Fátima do Sul/MS	Avenida Marcelino Pires, BR-163, BR-376.	35,80	101,40	0,35
Central Energética Vicentina Ltda.	Faz. Dois Córregos, Lote 43, Q.20, Vicentina/MS	Avenida Marcelino Pires, BR-163, BR-376.	48,98	116,46	0,42
Usina São Fernando (S. Fernando Açúcar e Álcool Ltda.)	Rod. MS-379, km 9, Dourados/MS	Av. Marcelino Pires, BR-163, BR-463, MS-379.	51,90	110,78	0,47
Raízen - Unidade Caarapó (Raízen Caarapó S.A.)	Rodovia MS-156, km 12, Caarapó/MS	Avenida Marcelino Pires, BR-163, MS-156.	52,30	103,45	0,51
Bunge – Monte Verde (Monte Verde Agroenergética S.A.)	Rodovia BR-463, km 3, Ponta Porã/MS	Avenida Marcelino Pires, BR-163, BR-463.	62,70	89,63	0,70
Odebrecht Agroindustrial (Usina Eldorado S.A.)	Rod. MS-145, Km 49, Faz. S. Pedro, Deodápolis/MS	Av. Marcelino Pires, BR-163, MS-276, MS-274.	68,70	95,32	0,72

⁽¹⁾ Com base no aplicativo Google Maps disponível em <https://maps.google.com.br>.

⁽²⁾ Preço médio da tonelada de bagaço de cana-de-açúcar no mês de março de 2014 (BIOSUL).

Para configurar o fluxo logístico referente ao suprimento de fibras vegetais processadas para a nova unidade fabril proposta (transporte em modal rodoviário), a Tabela 1 indica que a menor relação distância-custo está associada à Usina Fátima do Sul – Fátima do Sul Agroenergética S.A. (valor calculado de 0,35), seguida pela Central Energética Vicentina Ltda. (valor calculado de 0,42) e Usina São Fernando Açúcar e Álcool Ltda. (valor calculado de 0,47). Desse modo, a base de fornecedores de fibras vegetais processadas é formada pela Usina Fátima do Sul (fornecedor 1), Central Energética Vicentina (fornecedor 2) e Usina São Fernando (fornecedor 3). Inicialmente, como forma de garantir maior segurança no fornecimento das matérias-primas vegetais, sugeriu-se que a participação de suprimento fosse de 50%, 30% e 20% para os fornecedores 1, 2 e 3, respectivamente.

De modo geral, a planta fabril projetada é composta de duas áreas produtivas interligadas, sendo que a primeira engloba os setores de ‘enfardamento de aparas plásticas’ e ‘processamento de fibras vegetais’, que representam os subprocessos que processam resíduos plásticos e matérias-primas vegetais. Já a segunda área produtiva é formada por sete setores relacionados com a obtenção dos materiais compostos, produção/preparação de perfilados, embalagem dos produtos e expedição final.

O *plant layout* proposto para o sistema produtivo sustentável possui nove setores funcionais específicos (subprocessos) com agrupamento de máquinas e equipamentos padronizados/universais para executar variadas operações com base em fluxos/roteiros de produção bem definidos, permitindo, quando necessário, o ajustamento do ritmo das atividades de manufatura à demanda dos produtos acabados. Por fim, o arranjo físico funcional obtido pode ser caracterizado por centros de trabalho agrupados em setores específicos para facilitar a manufatura dos três produtos, possuindo corredores internos bem distribuídos e adequados à movimentação de materiais e produtos acabados.

4. Considerações finais

As parcerias/alianças colaborativas entre setores produtivos, universidades e centros de pesquisa são fundamentais para o aumento da competitividade industrial. Desse modo, as atividades inovativas em processos fabris devem ser realizadas pelas indústrias que necessitem, ágil e consistentemente, disponibilizar produtos novos ou significativamente melhorados aos mercados consumidores.

O trabalho em questão ilustrou parte das atividades de um projeto de cooperação tecnológica realizado em uma importante região agroindustrial do Centro-Oeste brasileiro, que visou o desenvolvimento de compósitos végeto-poliméricos destinados à manufatura de produtos (equipamentos) destinados à alimentação e suplementação vitamínico-mineral de bovinos, possuindo vantagens importantes em comparação aos produtos tradicionais feitos com madeira de reflorestamento (como *pinus* e eucalipto), destacando-se a resistência às intempéries/choques mecânicos, características melhoradas de ergonomia, *design* e manutenção, adequação às especificações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA e órgãos correlatos, padronização de dimensões e tolerâncias, reaproveitamento industrial de materiais reciclados (produção mais limpa) e contribuição ao desenvolvimento regional baseado no agronegócio.

Dessa forma, a pesquisa realizada dentro de um contexto de parceria empresa-universidades demonstrou ser um excelente instrumento para o desenvolvimento e aplicação de inovações tecnológicas em processos e produtos comercialmente viáveis, o que vem ao encontro das atuais políticas públicas de adensamento das cadeias produtivas regionalizadas. Atualmente, os materiais compostos possuem proteção industrial junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial/INPI, sob o título de “Processo de Fabricação de Compósitos Végeto-Poliméricos” (processo BR 10 2014 018724 3) – o conteúdo de inovação tecnológica do novo material é referente a um inédito processo industrial para processamento de compósitos de blendas poliméricas e fibras vegetais de reforço. As propriedades mecânicas dos compósitos sugerem aplicações técnicas distintas do setor agropecuário. Os pesquisadores avaliam novas formas de utilização do referido material composto em produtos dos setores da construção civil, automobilístico, aeronáutico, mobiliário e embalagens rígidas.

Nesse sentido, os resíduos industriais constituídos de aparas plásticas resultantes do refilamento das bobinas de filmes (perdas normais de processo) são novamente inseridos na cadeia de operações, permitindo a manufatura de novos produtos aplicados às atividades pecuárias regionais. A adaptação da metodologia de projeto de *plant layout* de Apple (1991) demonstrou ser coerente com o objetivo inicial do trabalho proposto, possibilitando a obtenção de um projeto conceitual de sistema produtivo para agregar valor em resíduos industriais e materiais da cadeia reversa de embalagens de pós-consumo. A flexibilidade do sistema fabril baseado no arranjo funcional e na tecnologia de extrusão de termoplásticos favorece o futuro desenvolvimento de novos equipamentos pecuários, permitindo maior diversificação do *mix* de produtos, o que se traduz em melhoria da competitividade.

Assim, o *plant layout* do sistema produtivo foi baseado no arranjo funcional (por processo) para processamento de lotes com quantidades-padrão e em fluxos produtivos periódicos e relativamente uniformes em termos de distâncias percorridas e ritmos de produção. O sistema de produção intermitente estruturado em nove setores individualizados possui flexibilidade para produzir quantidades e *mix* variados de produtos, facilitando o acompanhamento das operações e a supervisão funcional. A planta fabril proposta também possibilita maior agilidade na solução de problemas operacionais, como quebras e paradas de máquinas/equipamentos, permitindo uma redistribuição de operadores ociosos para os centros de trabalho mais sobrecarregados de forma a equilibrar a capacidade do processo produtivo. Desse modo, o sistema de manufatura sustentável desenvolvido também permite a adoção de programas de participação em resultados, como forma de incentivar a força de trabalho no aprimoramento da produtividade e da qualidade dos produtos acabados.

Como sugestão para futuros trabalhos, mencionam-se duas vertentes importantes que representariam a continuidade da presente pesquisa: (1) desenvolvimento/produção industrial de novos materiais compostos trifásicos a partir de biomassas vegetais residuais provenientes da cadeia agrícola regional da Grande Dourados/MS (que é baseada nas culturas intensivas de soja e milho), resíduos plásticos e metálicos recicláveis; (2) projeto de um sistema de produção integrado (INFLEX, poder público municipal, cadeia agrícola regional e estruturação de cooperativas de reciclagem), de modo a

promover o desenvolvimento regional sustentável, contribuindo para reduzir problemas ambientais e melhorar o bem-estar socioeconômico com a geração de trabalho e renda.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por ter possibilitado e financiado a presente pesquisa.

Referências

- APPLE, J. M. *Plant layout and material handling*. 3. ed. Malabar: Krieger, 1991. Reimpressão.
- BADURDEEN, F.; GOLDSBY, T. J.; IYENGAR, D.; METTA, H.; GUPTA, S.; JAWAHIR, I. S. *Extending total life-cycle thinking to sustainable supply chain design*. *International Journal of Product Life-Cycle Management*, n. 4, p. 49-67, 2010.
- BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. *Fundamentos da metodologia científica*. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice-Hall, 2007.
- BERTALANFFY, L. V. *Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações*. Petrópolis: Vozes, 2008.
- BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 03 abr. 2014.
- CAMAROTTO, J. A. **Projeto do trabalho: métodos, tempos, modelos e posto de trabalho**. São Carlos: Departamento da Universidade Federal de São Carlos (DEP-UFSCar), 2007. Disponível em: <http://www.simucad.dep.ufscar.br/proj_trabalho/Apostila-Tempos%20e%20Metodos-2007.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2013.
- CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS (CNTL). **Curso de formação de consultores em produção mais limpa para pequena e microempresa**. Porto Alegre: Publicações CNTL, 2008.
- CHASE, R. B.; JACOBS, R. **Administração da produção e de operações**. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- CHASE, R. B.; JACOBS, R.; AQUILANO, N. J. **Administração da produção para a vantagem competitiva**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- DILWORTH, J. B. *Operations management: providing value in goods and services*. 3. ed. Nashville: South-Western Educational Publishing, 1999.
- DRIRA, A.; PIERREVAL, H.; HAJRI-GABOUJ, S. *Facility layout problems: a survey*. *Annual Reviews In Control*, v. 31, n. 2, p. 255-267, 2007.
- DUES, C.M.; TAN, K.H.; LIM, M. *Green as the new Lean: how to use lean practices as a catalyst to greening your supply chain*. *Journal of Cleaner Production*, n. 40, p. 93-100, 2011.
- FAULKNER, W.; BADURDEEN, F. *Sustainable value stream mapping: methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance*. *Journal of Cleaner Production*, n. 85, p. 8-18, 2014.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira, 2001.

GALLARDO, D. V.; SANCHEZ, M. I. H. *Measuring corporate social responsibility for competitive success at a regional level. Journal of Cleaner Production*, n. 72, p. 14-22, 2014.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HEIZER, J.; RENDER, B. *Operations Management*. 11. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2013.

JAYAL, A. D.; BADURDEEN, F.; DILLON JR., O. W.; JAWAHIR, I. S. *Sustainable manufacturing: modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. Journal of Manufacturing Science and Technology*, n. 2, p. 144-152, 2010.

JIMENEZ, J. B. L.; LORENTE, J. J. C. *Environmental performance as an operations objective. International Journal of Operations & Production Management*, v. 21, n. 12, p. 1553-1572, 2001.

KELLER, G.; TEUFEL, T. *SAP R/3 process oriented implementation: iterative process prototyping*. Boston: Addison-Wesley, 1998.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão/matrizes e injeção/moldes**. São Paulo: Artliber, 2005.

MEYERS, F. E.; STEPHENS, M. P. *Manufacturing facilities: design & material handling*. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2013.

MENIPAZ, E. *Essentials of production and operations management*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1984.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação 2012 – 2015: balanço das atividades estruturantes**. Disponível em: <<http://livroa.berito.ibict.br/docs/218981.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2012.

MUTHER, R.; WHEELER, J. D. **Planejamento sistemático e simplificado de layout**. São Paulo: IMAM, 2000.

OLIVÉRIO, J. L. **Projeto de fábrica: produtos, processos e instalações industriais**. São Paulo: IBLC, 1985.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Manual de Oslo: proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica**. Traduzido pela Financiadora de Estudos e Projetos/FINEP. 3. ed. Paris: OCDE, 2005.

PAIXÃO, J. F.; ROMA, J. C.; MOURA, A. M. M. **Cadernos de diagnóstico: resíduos sólidos industriais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. 82p.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: Unicenp, 2007.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). (2011). **Caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza: síntese para tomadores de decisão**. Brasília: PNUMA. Disponível em: <http://www.pnuma.org.br/admin/publicacoes/texto/1101-GREENECONOMY-synthesis_PT_online.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2014.

ROBLES JUNIOR, A.; BONELI, V. V. **Gestão da qualidade e do meio ambiente: enfoque econômico, financeiro e patrimonial**. São Paulo: Atlas, 2006.

ROCHA, H. M. **Arranjo físico industrial**. Disponível em: <http://www.fat.uerj.br/intranet/disciplinas/Arranjo%20Fisico%20Industrial/Apostila_AFI_UERJ_Henrique.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2011.

ROSINI, A. M.; GUEVARA, A. J. H.; SILVA, J. U.; RODRIGUES, M. C. **Consciência e desenvolvimento sustentável nas organizações**. Rio de Janeiro: Campus, 2008.

SARKIS, J. *Supply chain management and environmentally conscious design and manufacturing*. **International Journal of Environmentally Conscious Design and Manufacturing**, v. 4, n. 2, p. 43–52.

SCHUMPETER, J.A.; MCDANIEL, B. *The nature and essence of economic theory*. Piscataway: Transaction Publications, 2009.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Novos produtos ecológicos**. Disponível em: <http://www.sebrae2014.com.br/Sebrae/Sebrae%202014/Boletins/2013_05_20_BO_Fevereiro_ConstrucaoCivil_NovosProdutos_pdf.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2014.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS (SBRT). **Dossiê técnico – madeira plástica**. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mjc2Nzg=>>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

SHAMBU, G.; SURESH, N. C. *Performance of hybrid cellular manufacturing systems: a computer simulation investigation*. **European Journal of Operational Research**, v. 120, n. 2, p. 436-458, 2000.

SILVA, C. R. N.; MORÁBITO, R. Análise de problemas de partição de instalações em sistemas job-shops por meio de modelos de redes de filas. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 333-356, 2007.

SLACK, N.; JOHNSTON, R.; CHAMBERS, S. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SMITH, L; BALL, P. *Steps towards sustainable manufacturing through modeling material, energy and waste flows*. **International Journal of Production Economics**, n. 140, p. 227-238, 2012.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TIBERTI, A. J. **Desenvolvimento de software de apoio ao projeto de arranjo físico de fábrica baseado em um framework orientado a objeto**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003, 195p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-25082004-165836/pt-br.php>>. Acesso em: 03 dez. 2012.

TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A.; BOZE, Y. A.; TANCHOCO, J. M. A. **Planejamento de instalações**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

YIN, R, K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZHANG, X.; LU, T.; SHUAIB, M.; ROTELLA, G.; HUANG, A.; FENG, S. C.; ROUCH, K.; BADURDEEN, F.; JAWAHIR, I. S.. *A metrics-based methodology for establishing product sustainability index (ProdSI) for manufactured products*. In: *XIX International Conference on Life Cycle Engineering (CIRP)*, Berkeley, p. 435-441, 2012.