

APLICAÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS PARA DETERMINAÇÃO DE ROTAS DE ABASTECIMENTO DE PEÇAS SEQUENCIADAS PARA A LINHA DE MONTAGEM FINAL DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Juliana Marion Moreira Alves
Dr. Paulo Sérgio de Arruda Ignácio
Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

Em um mercado cada vez mais regulado por preço em detrimento à qualidade, empresas buscam manterem-se competitivas através da redução de custos produtivos. Tal objetivo atinge-se pela melhoria constante dos processos diretos e indiretos e pela implantação de conceitos eficientes de gestão. Neste presente trabalho, o foco será a cadeia de suprimentos enxuta, com ênfase em premissas da logística *Lean* para redução dos desperdícios e padronização das operações logísticas. Identifica-se, através da aplicação do método de varredura combinado ao de inserção sequencial, a possibilidade de melhoria de produtividade para a atividade de reabastecimento interno de peças para a linha de montagem final de uma indústria automotiva e espera-se atingir benefícios quantitativos como resultado.

ABSTRACT

In a Market each time more driven by price, instead of quality, companies seek to maintain competitiveness through productive costs reduction. This objective may be achieved by constantly improving direct and indirect process and implementing management efficient concepts. In this paper, the focus is the Lean Supply Chain, with emphasis at the Lean Logistics premises for the waste reduction and standardization of the logistics operations. It is identified, through the Sweep Method application combined with the sequential insertion, the possibility to improve productivity of the internal line supply process of an automotive industry and hopes to achieve quantitative benefits as a result.

1. INTRODUÇÃO

Em um mercado cada vez mais regulado por preço em detrimento à qualidade, empresas buscam manterem-se competitivas através da redução de custos produtivos. Tal objetivo atinge-se pela melhoria constante dos processos diretos e indiretos e pela implantação de conceitos eficientes de gestão.

Em 1990, momento em que o cenário econômico era de crescente competitividade entre as mais importantes zonas industriais do mundo, um livro publicado por Womack, Jones & Roos, intitulado “A Máquina que Mudou o Mundo”, ou popularmente chamado de o “Estudo do MIT”, chamou a atenção dos gestores da época. Repleto de benchmarks que mostram como gerir uma empresa, cuidando do relacionamento com os clientes e fornecedores, desenvolvendo produtos vendáveis e operações produtivas, este livro baseia-se no caso de sucesso da indústria automotiva Toyota após a Segunda Guerra Mundial e traz pela primeira vez a aplicação do termo *Lean*, ou Enxuto, como uma nova forma de produção, contrapondo-se à filosofia de produção em massa (Taj, 2008).

Primeiramente aplicado na seara industrial, a chamada Produção Enxuta é definida por Shah & Ward (2003) como uma perspectiva multidimensional que envolve uma gama de praticas de gestão, incluindo o *Just-in-time*, sistemas de qualidade, grupos de trabalho, produção em células e gestão do fornecimento. Warnecke & Hüser (1993) ressaltam que a Produção Enxuta ultrapassa o

âmbito da manufatura e acaba por permear o desenvolvimento do produto, a cadeia de suprimentos, a gestão do chão de fábrica e o serviço de pós-vendas.

Neste presente trabalho, o foco será a cadeia de suprimentos enxuta, com ênfase em duas premissas da logística *Lean* para redução dos desperdícios e padronização das operações logísticas. São estas, a garantia de entregas rápidas e fiáveis e a racionalização da infraestrutura utilizada. Para que estas premissas sejam atendidas, propõem-se a aplicação de dois métodos heurísticos para roteirização interna do abastecimento de peças sequenciadas na linha de montagem da empresa estudada.

1.1 Objetivo

A proposta deste artigo é comparar as rotas planejadas de abastecimento interno de peças de uma linha de montagem de uma indústria automotiva, com uma nova proposta de rotas que serão definidas aplicando-se uma combinação de dois métodos de roteirização, varredura e inserção sequencial, de forma a se analisar a produtividade no que tange quantidades de rotas, distâncias percorridas, uso dos recursos, humano e de equipamentos, e ocupação média dos recursos.

1.2 Oportunidade a ser desenvolvida

Atualmente, as rotas internas de abastecimento da linha de montagem final de uma grande indústria automotiva são feitas com rotas definidas, mas com ocupação variável do comboio a cada ciclo de abastecimento, uma vez que o gatilho para reabastecimento é uma embalagem vazia na linha, a qual atingirá esta condição quando a última peça desta for consumida, variando de um carrinho de sequenciamento para outro. Assim, para uma rota, tem-se frequência alta com ocupação baixa do comboio na maioria das vezes.

Em alguns meses, um terceiro modelo de veículo será introduzido na mesma linha de montagem, o que tornará o fluxo de abastecimento de linha ainda mais complexo. O planejamento deste fluxo foi realizado, seguindo-se o padrão de alocação aleatória de novos sequenciamentos nas rotas próximas ao ponto de consumo.

Identifica-se, através da aplicação do método de varredura combinado ao de inserção sequencial, a possibilidade de melhoria de produtividade para a atividade de reabastecimento interno de peças para a linha de montagem final e espera-se atingir benefícios quantitativos como a melhor ocupação da capacidade produtiva dos colaboradores, culminando até na redução do quadro de funcionários destinados a estas atividades; renegociação de valores de contrato com os prestadores de alguns serviços logísticos; e melhores indicadores de disponibilidade de peças para a produção dos veículos.

1.3 Justificativa

A incapacidade de disponibilizar peças nos pontos de uso, no momento correto e na quantidade correta, pode levar a sérias discontinuidades no processo produtivo, à ociosidade de equipamentos e de pessoas, e elevação no estoque de processo (Caccalano & Cunha, 2013).

A taxa de ocupação de mão de obra é em torno de 25% para a realização da movimentação de materiais em uma indústria (Tompkins *et al*, 2003). Entre 30% e 75% dos custos operacionais são gastos com estas atividades (Sules, 2009). Desta forma, desenvolver mecanismos para redução

destes custos, podem trazer ganhos significativos para a empresa, além de agregar valor ao processo logístico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Filosofia *Lean* aplicada à logística

A Produção *Lean* diferencia-se da Logística *Lean* na forma de valorizar o tempo. Pela produção, o tempo é desperdício, quando se trata da movimentação de materiais; enquanto que pela logística, este fator agrega valor. Além disso, enquanto desperdício para aquela, para a logística, parte dos estoques gera valor (Bañolas, 2007).

Quando comparada, a cadeia de suprimento *Lean* ao contrário da tradicional, cujo estoque e ineficiências são elevados, busca a maximização do fluxo de valor e a redução de desperdícios. Antunes (2012) adaptou de Morrill (1995), um quadro resumo das diferenças entre as duas logísticas como pode ser observado na Tabela 2.1.1, com destaque para dois pontos da Logística *Lean*, os quais são premissas para os abastecimentos internos de uma linha de produção. São eles as entregas rápidas e fiáveis e a infraestrutura racionalizada e inovadora.

Tabela 2.1.1: Logística tradicional versus Logística Lean (Adaptado de Antunes, 2012, pág. 12)

Logística Tradicional	Logística Lean
<ul style="list-style-type: none">• Grandes inventários• Transporte lento e/ou incerto• Processos estáticos• Custos e investimentos elevados• Grandes infraestruturas para estoque	<ul style="list-style-type: none">• Pequenos níveis de inventário• Entregas rápidas e fiáveis• Melhoria contínua• Redução de investimentos• Uso racionalizado de embalagens• Infraestrutura racionalizada e inovadora

Logística Enxuta é apresentada por alguns autores como a habilidade extra de desenhar e gerir o movimento e o posicionamento geográfico de matéria prima, material em processo e produto acabado, ao menor custo possível. Ou seja, é a capacidade de gerar valor tempo, valor lugar e valor produto/quantidade certa (Wu, 2003; Bowersox et al, 2002).

Antunes (2012) posiciona a Logística Lean sobre três pontos-chave: a redução do tamanho do lote entre áreas ao longo da cadeia de suprimento, o nivelamento do fluxo de entrega e o aumento da frequência das mesmas.

2.2 Desperdícios

Womack & Jones (2004) salientam em seu livro, "A mentalidade enxuta nas empresas – *Lean Thinking*", a importância da palavra "desperdício", do japonês, *muda*, a qual abrange qualquer atividade que absorva recursos, mas não crie valor.

Estes mesmos autores dividem os processo dentro de uma organização em três categorias: aqueles que acrescentam valor real ao cliente (5%), os que são necessários, mas que não

acrescentam valor (35%) e aqueles que não acrescentam valor nenhum (60%), devendo ser nesta última categoria, o foco quando se busca uma melhora de desempenho nas empresas.

Em 2007, Bañolas definiu sete tipos de desperdícios encontrados na cadeia de abastecimento tradicional, sendo a superoferta por quantidade, quando se tem excesso de produto em relação à demanda; espera, ou seja, tempo sem realização de atividade pela espera de recurso; e movimentação desnecessária no processo os três tipos de desperdício a serem combatidos neste projeto.

2.3 Métodos de Abastecimento

O abastecimento da linha de produção pode ser feito de duas formas, com entreposto, no caso do *Kanban* e do *Junjo* e direto à linha, como é o caso do *Just-in-time* e *Just-in-sequence*. A seguir, são definidas estas quatro formas de abastecimento.

Com entreposto:

- *Kanban*: tradicionalmente, um *Kanban* (“*Kan*” de cartão e “*ban*” de sinal) é um cartão que comunica a necessidade de reposição de um componente, produto ou material a um processo anterior. Esse cartão funciona como um sistema de fornecimento contínuo e tem por objetivo a redução do estoque ao mínimo, mantendo o fluxo de materiais à linha ordenado e eficiente, transmitindo informação a toda a cadeia de fornecimento. Além do cartão físico, há o *Kanban* eletrônico e o *Kanban* visual na restrição de fluxo (Neves, 2009).
- *Junjo* – palavra em japonês que significa sequência, diz respeito ao sequenciamento da matéria-prima para um determinado processo. Para cada elemento da sequência de produção/montagem, é gerada uma ordem de sequenciamento (cartão físico, impresso ou digital) cujo gatilho é a passagem por um determinado ponto da linha. É imprescindível que haja um defasamento temporal que garanta que o material esteja na borda da linha no momento da sua necessidade.

Direto à linha:

- *Just-in-Time* (JIT): é a produção e/ou entrega apenas do que foi solicitado, na quantidade ideal, no local exato e nas condições desejadas;
- *Just-in-Sequence* (JIT): trata-se do conceito JIT, acrescido da necessidade de entrega do produto na sequência de consumo.

2.4 Takt Time

Alvarez & Antunes Jr. (2001) afirmam que para o sistema de produção *lean*, o tempo é uma variável sistêmica e está associada ao fluxo de materiais, e não apenas ao tempo de execução de uma atividade específica na fábrica.

Os mesmos autores fazem referência a Shook (1998) ao conceituarem a palavra *takt*, de origem alemã e que designa o compasso de uma composição musical. E propõem uma definição para *takt time*, como sendo o ritmo de produção necessário para atender a um determinado nível de

demanda, dadas as restrições de capacidade da linha ou célula, ou ainda, o tempo que rege o fluxo de materiais em uma linha ou célula.

Diferentemente do que é apresentado por alguns autores, tempo de ciclo não pode ser interpretado como sinônimo para *takt time*. Tempo de ciclo é o período transcorrido entre a repetição de um mesmo evento que caracteriza o início ou fim desse ciclo. Em uma célula ou linha de produção, este tempo é função dos tempos unitários das máquinas/postos de trabalho (tempo-padrão) e do número de trabalhadores na célula ou linha.

É importante ressaltar que a coordenação do fluxo de materiais com base no *takt time* influencia na flexibilidade do sistema de produção, à medida que alterações no mix de produção ou no volume de saída de uma linha, podem demandar o completo rebalanceamento das cargas de trabalho.

A partir dos conceitos apresentados nesta seção, observa-se que a baixa flexibilidade do *takt time*, em resposta às variações de demanda, pode acarretar em acúmulo de estoque pela manutenção dos níveis de produção, o que vai de encontro com a filosofia *lean*. Cabe, assim, às empresas desenvolverem planos de produção mensais e semanais, que absorvam essas flutuações de demanda e *mix*.

2.5 Programação e Controle de Produção

Uma vez sabido o que se deseja produzir, seja um carro ou uma parte do carro no ambiente automotivo, por exemplo, existe uma ferramenta que nos permite determinar o que, quanto e quando produzir e comprar. Esta se chama *Manufacturing Resources Planning*, sendo conhecida por sua sigla, MRP, tem por objetivo ajudar a produzir e comprar apenas o necessário, visando manter baixos os níveis de inventário (Corrêa, Gianesi & Caon, 2011).

Partindo-se do produto final desejado, há inúmeros componentes que necessitam estar disponíveis para o processo produtivo, este conjunto de insumos necessários é chamado de estrutura do produto e pode dividir-se em componentes e subcomponentes, também chamados de itens pais e filhos. Estes itens têm demanda dependente, ou seja, uma vez solicitados dez componentes pais, serão necessários dez filhos para construí-los, no caso do consumo ter fator um para um, por exemplo.

O MRP segue a lógica de programação inversa, “explodindo” a necessidade de componentes nível a nível da estrutura, dentro de uma programação temporal de demanda. Essas necessidades de insumos podem ser recebidas no local de produção de forma programada, ou seja, com um defasamento temporal. Um insumo de um subcomponente pode ser requisitado para entrega imediata, mas o subcomponente pode ter sua demanda gerada apenas a algumas horas da sua utilização para a montagem do produto final, apesar de serem itens de demanda dependente.

A determinação do momento correto para o envio de necessidade de um insumo chama-se ponto de reposição e está atrelado ao estoque disponível deste material. O ponto de reposição é fator do tamanho do lote de resuprimento, ou seja, a quantidade fixa manuseada a cada ciclo de reposição. Assim, após a constatação do consumo de um determinado material, que pode ocorrer de forma imediata à utilização, ou em algum ponto fixo posterior na cadeia produtiva, sendo assim defasado, checka-se a quantidade disponível em estoque. Para demandas aproximadamente constantes e tempos de reposição definidos, o ponto de reposição deverá ocorrer quando o estoque disponível for idealmente igual ao lote e ao tempo de resuprimento.

2.6 Intralogística – rotas no abastecimento

A definição das rotas de abastecimento de materiais à linha de produção é um problema bastante comum nas indústrias. As peças a serem abastecidas devem ser transferidas de um estoque ou supermercado até os respectivos pontos de uso, ou PDUs, localizados nas áreas produtivas (Cacalano & Cunha, 2013).

Habitualmente, a roteirização das entregas de peças nas empresas é feita de forma manual, baseado na experiência dos responsáveis pela logística operativa.

Cacalano & Cunha (2013) listam quais os principais fatores para a determinação do sistema de abastecimento:

- Número de peças necessárias à produção;
- Variação do mix de produção;
- Leiaute da área produtiva, sequência de montagem e pontos de uso;
- Capacidade e dimensões das embalagens;
- Estratégia de ressuprimento e comando para abastecimento: *kanban*, sequenciamento, programação de entregas.

O problema de roteirização de forma geral, pela grande complexidade de resolução, devido à natureza combinatória, enquadra-se na classe de problemas *NP-Hard*, o que representa a grande complexidade para a resolução computacional. Assim, os métodos e algoritmos heurísticos surgem como uma solução para a resolução destes problemas, garantindo soluções próximas à ótima em um tempo reduzido para a resolução computacional.

Tais métodos incorporam uma grande dose de raciocínio tanto para a exploração de um leque de soluções, como para a concentração em um espaço delimitado de soluções factíveis, onde pode estar a solução ótima (Morillo et al., 2014).

Dentre os métodos heurísticos, o Método de Clarke-Wright apresenta grande proximidade da solução ótima, divergindo apenas 2%. Além disso, este método permite que sejam manuseadas muitas restrições, ao formar rotas e sequências de paradas simultaneamente. Seus principais objetivos são minimizar a distância percorrida e, indiretamente, minimizar os recursos necessários. Apesar destes objetivos atraentes, o processo de aplicação do método é bastante trabalhoso. É necessário analisar todas as combinações possíveis entre dois pontos quaisquer, para que se obtenha a menor distância entre eles, formando rotas.

Outro método heurístico de aplicação bastante simples e rápido para grandes quantidades de pontos de parada é o Método de Varredura, sendo primeiramente introduzido por Gillett e Miller, em 1974.

Apesar de apresentar precisão menor que o método anterior, em torno de 10% da solução ótima, os resultados são aceitáveis para problemas em que as características mudam frequentemente, como em entregas de cargas, e a necessidade de resultados ágeis, porém acurados e flexíveis, é mandatória. Além disso, a facilidade de aplicação torna-o mais atrativo para os planejadores de fábrica, devido a esta dinâmica de alterações.

Um ponto importante é o fato de que o algoritmo de varredura soluciona os problemas propostos em duas etapas. Primeiramente, agrupam-se pontos e em uma segunda etapa, definem-se as rotas individuais de abastecimento de cada grupo de paradas, cuja abordagem é conhecida como

agrupa-roteiriza. Esta subdivisão dos pontos em grupos transforma o problema inicial em uma série de subproblemas, reduzindo o tempo de processamento.

O método de varredura não especifica os quesitos a serem atendidos na segunda etapa de aplicação do algoritmo. Contudo, o presente problema avaliado busca minimizar o uso de recursos através da redução das distâncias percorridas e por consequência, o tempo de entregas.

Assim, o processo de roteirização de cada grupo de abastecimento é um caso especial do problema do Caixeiro Viajante, onde a partir de um ponto inicial, deve-se visitar uma única vez cada ponto e retornar ao ponto de partida. As distâncias entre cada ponto são conhecidas e assim, busca-se a combinação que resultar na menor distância total (Koster et al., 2007).

Uma das formas heurísticas mais simples de solucionar o problema de roteirização de entregas em áreas produtivas com configuração linear é o método *S-shape* ou transversal. Este método significa que, uma vez que haja pelo menos um ponto de entrega em um dos corredores, este corredor terá que ser percorrido completamente, sem realizar retorno em U. A partir do último ponto de entrega, retorna-se ao armazém.

Dois outros métodos heurísticos de roteirização de comboios bastante utilizados são a Inserção Sequencial e a Inserção Paralela. O primeiro consiste em construir uma rota por vez, selecionando pontos ainda não alocados em uma rota. Quando não for mais possível inserir pontos novos, pela limitação do comboio ou de tempo da viagem, inicia-se a formação de uma nova rota. O segundo método assume que o número de rotas é conhecido e os pontos não pertencentes a uma rota, são alocados seguindo-se um critério de ordenação, como a menor distância entre uma rota atual e um novo ponto.

3. MÉTODO

Com base nos procedimentos de roteirização descritos na seção anterior, propõe-se o seguinte método para atingir-se o objetivo proposto:

- a. Definir zonas de abastecimento das peças sequenciadas através da aplicação do Método de Varredura;
- b. Aplicar o método heurístico de inserção sequencial, com a restrição de abastecimento *S-shape* quando o próximo ponto da varredura de uma mesma rota pular pontos subsequentes de um mesmo corredor de abastecimento;
- c. Traçar rotas de abastecimento heurísticamente, buscando a menor distância percorrida e, conseqüentemente, o menor tempo.

Assim, inicia-se a resolução do problema, reproduzindo o leiaute da área produtiva, mantendo-se apenas informações referentes aos tactos, vias de circulação, localização espacial e proporções, para que a visualização seja favorecida.

A seguir, identificam-se os tactos de uso de cada peça sequenciada e o ponto médio da área de sequenciamento.

Desta forma, pode-se iniciar a aplicação do método de varredura, posicionando uma linha reta com ponto de apoio no centro da área de sequenciamento, estendendo-a em qualquer direção. Em seguida, gira-se a linha em sentido horário até cruzar com o primeiro ponto de abastecimento e continua-se a varredura até que se atinja a capacidade máxima do comboio, quatro carrinhos de sequenciamento. Continua-se rotacionando a linha até que todos os pontos sejam incluídos em

um comboio. Repete-se o mesmo procedimento para o sentido anti-horário de rotação, finalizando a primeira etapa de definição das rotas de abastecimento.

Apesar dos pontos de abastecimento estarem linearmente posicionados ao longo das vias, alguns pontos podem ter sido agrupados em comboios distintos, o que distancia do ótimo a solução encontrada pelo método de Varredura. Uma alternativa para a limitação deste método é posteriormente aplicar o método de Inserção Sequencial, mais especificamente o S-Shape, pois o cenário analisado tem a limitação dos comboios não fazerem retornos em uma via, o que significa percorrer um corredor inteiro de abastecimento, mesmo que haja apenas um ponto de entrega. Assim, novamente de maneira heurística, realocam-se alguns pontos de abastecimento de um comboio para o outro, de modo a minimizar a limitação apresentada acima.

Com todos os comboios formados, inicia-se o traçado de cada rota heurísticamente. Assim, busca-se, por tentativa e erro, a menor distância possível. O tempo de cada percurso é calculado pela soma dos tempos padronizados com o tempo variável de acordo com a distância, quantidade de curvas e interseções.

Assim, as atividades padronizadas são: acoplar, desacoplar, empurrar carrinho cheio, empurrar carrinho vazio, acelerar carrinho, desacelerar carrinho, e totalizam 5,75 min para comboios de 3 carrinhos e 8,96 min para os com 4 carrinhos. Um esquema dos tempos considerados no cálculo do percurso pode ser visto na Figura 3.1

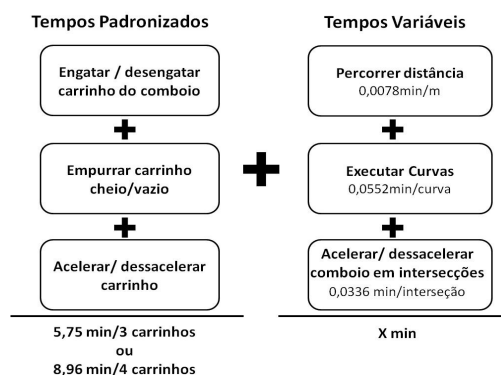


Figura 3.1: Esquema de tempos para cálculo de percurso (Fonte: autoria própria)

4. RESULTADOS

Nesta seção são apresentadas a empresa e as características de processo da unidade foco deste projeto. Esta apresentação será feita de forma genérica, com o intuito de preservar a identidade da empresa.

4.1 A empresa

Presente há mais de 60 anos no mercado brasileiro, esta multinacional do segmento automotivo conta atualmente com quatro unidades fabris no país, sendo uma para motores e transmissões e três para montagem de veículos, e duas na Argentina, para motores e transmissões e outra para montagem de veículos. Além de um centro de distribuição para partes e acessórios de pós-vendas.

As unidades montadoras são responsáveis por fabricar 14 modelos diferentes, além dos sete importados.

Esta empresa busca a adaptação à competitividade do mercado brasileiro através da redução de custos e desperdícios, e pela inovação em seus produtos e processos.

Com capacidade produtiva para 1090 carros por dia, a unidade montadora foco deste projeto é responsável hoje pela montagem de dois modelos de veículos, com aproximadamente dez configurações de série.

4.2 Estado Atual

Em alguns meses, será integrado um novo modelo ao portfólio atual da unidade, o que acarretará em mudanças nos processos e leiaute.

Neste estudo, o foco é apenas em parte das alterações efetuadas na montagem final do veículo, etapa essa que engloba as atividades após a pintura da carroçaria até a finalização da montagem das peças internas, vidros e portas.

Com a entrada do novo veículo, o espaço disponível na borda da linha para a acomodação das novas embalagens de peças com todas as suas variantes é insuficiente. Parte do abastecimento é feito através de *kanban* visual com chamada puxada. E outra parte das peças é sequenciada, internamente e externamente à unidade produtiva. Com isso, além da inclusão de mais peças aos sequenciamentos atuais, outros deverão ser criados para que a linha de montagem seja abastecida. As peças sequenciadas possuem o mesmo ponto de pedido, chamado M100, o qual se localiza no início da linha de montagem. A ordem para que as peças sejam sequenciadas ocorre de forma defasada e está atrelada à capacidade de cada embalagem de sequenciamento e o takt time desta linha, o qual é 1,25 min. As frequências de abastecimento de cada rota estão atreladas a estes mesmos fatores.

Em números, atualmente estão planejadas oito rotas internas de sequenciamento, cujo resumo da distribuição de peças e *workload*, ou taxa de ocupação de todas as rotas podem ser vistos na tabela 4.2.1.

A variação na quantidade de peças por carrinho e a limitação atual de abastecimento por braço ou corredor torna bastante intensa a circulação nas áreas produtivas e o *workload* variável a cada ciclo de abastecimento. Um exemplo de traçado de rota planejado atual pode ser visto na Figura 4.2.1, onde nota-se a aleatoriedade de agrupamento de pontos, onde os pontos visitados, neste exemplo, na cor rosa, estão em três corredores diferentes.

Tabela 4.2.1: Características das rotas planejadas de abastecimento sequenciado

Rota	Peças	Workload
1	4	38%
2	3	29%
3	3	29%
4	4	79%
5	4	40%
6	3	33%
7	3	33%
8	3	66%
Média		43%

Devido à capacidade distinta de cada embalagem, e à quantidade de peças usadas por veículo, não se pode abastecer os pontos de uso na linha de forma uniforme. Assim, as rotas possuem pontos de uso fixos para entrega, mas a cada ciclo, apenas alguns destes pontos são visitados para entrega de um carrinho cheio e coleta de um vazio, limitado a quatro unidades, permanecendo na linha sempre duas embalagens para cada peça ou sequência de peças.

Para a configuração atualmente planejada das rotas, os custos anuais atingirão aproximadamente R\$2.304.000,00, correspondente a 24 funcionários (oito a cada turno) e oito rebocadores. Outro ponto a ser observado é a taxa de ocupação destes funcionários, não ultrapassando 79 %, ainda distante da meta de 95%.

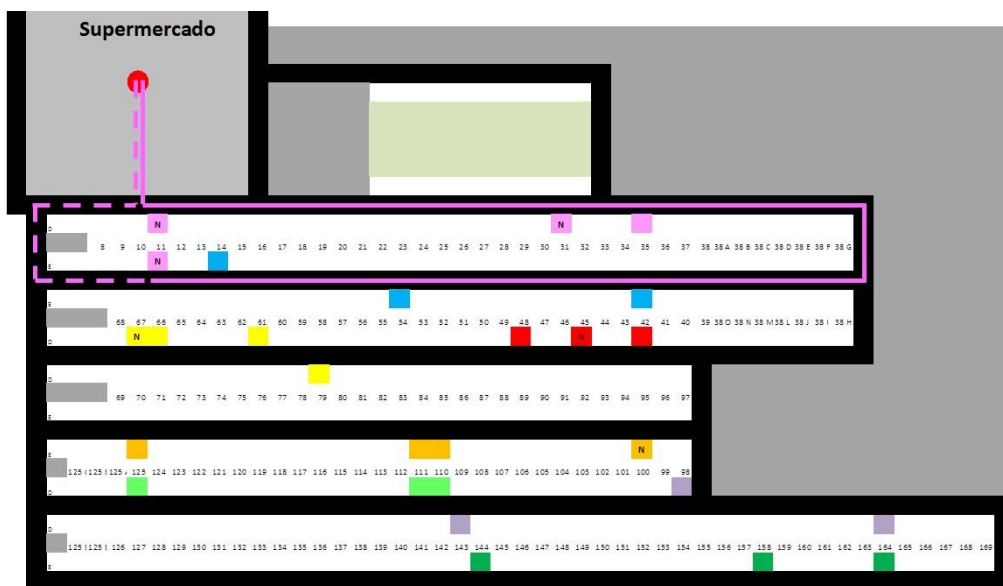


Figura 4.2.1: Esquema de traçado de rota atual

Outro fator importante para a configuração da operação planejada é a forma como a área de supermercado está organizada. Ao observar-se a Figura 4.2.2, pode-se observar que os sequenciamentos são realizados em células. Esta configuração prejudica o compartilhamento deste mesmo operador com o sequenciamento de outras famílias de peças, reduzindo sua taxa de ocupação máxima.

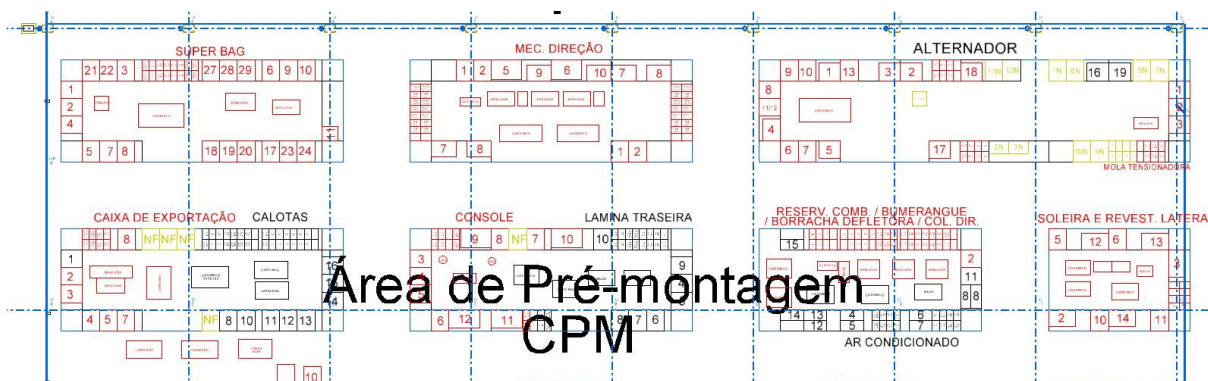


Figura 4.2.2: Área de sequenciamento em células

4.3 Propostas de melhoria do abastecimento de sequenciamentos internos

O objetivo desta seção é, a partir da identificação dos pontos de melhoria na seção anterior, propor alterações no processo atualmente planejado para que se atinja uma melhora significativa no abastecimento de peças sequenciadas internas.

Assim, foram propostas algumas melhorias complementares ao foco deste projeto, que é a roteirização de abastecimento de peças sequenciadas.

4.3.1 Padronização dos carrinhos de abastecimento

Considerando que os carrinhos de abastecimento sequenciado não seguem um padrão, logo cada peça tem seu carrinho, na maior dimensão e capacidade possível para atender o espaço na linha disponível na época de sua implantação.

Propõe-se, a aplicação da padronização da quantidade de peças por carrinho, para que se consiga um melhor aproveitamento dos recursos através da otimização das viagens. Os carrinhos devem comportar 6, 12, 24, 48, 96 sequências de carros e assim por diante, de forma a se ter viagens padronizadas a cada 6 ou 12 veículos produzidos.

Esta alteração reduz os desperdícios relacionados à superoferta de peças na linha dentro do turno de produção e a espera do operador do comboio para a coleta de embalagens vazias no ponto de uso, permitindo a redução no tempo ciclo, como será visto a seguir.

Como a proposta principal é a aplicação de um novo método de roteirização, para que se possa analisar o real efeito desta solução, foi adotado a mesma capacidade de embalagem para o estado planejado e o proposto.

4.3.2 Reorganização do leiaute da área de sequenciamento

Existe uma nova tendência proposta pela matriz da empresa para que todas as áreas de sequenciamentos sejam organizadas de forma linear, ou seja, que as famílias de peças sejam dispostas uma ao lado da outra, como nos corredores de alimentos em um supermercado.

O sequenciamento das peças pode ser feito de duas maneiras neste formato de supermercado. Uma forma otimiza o processo de sequenciamento, assim todo o caminho percorrido pelo operador agrega valor a sua atividade. Em contrapartida, o operador do rebocador precisa parar e reiniciar seu caminho mais vezes, além de percorrer um percurso maior. A outra forma inverte o privilégio. Cada esquema pode ser observado na Figura 4.3.2.1.

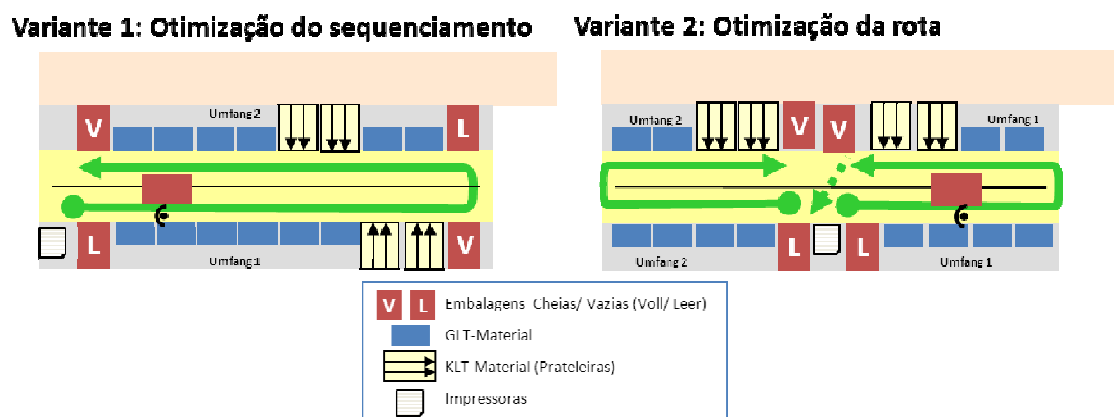


Figura 4.3.2.1: Variações na organização das áreas de sequenciamento

Foi escolhida a segunda variante, por entender-se que seja mais produtivo a otimização de tempo do operador do rebocador, pois além dos custos de mão-de-obra, ainda há custos de equipamento.

4.3.3 Roteirização

É importante pontuar as restrições presentes no processo atual e que serão mantidas na proposta futura, reunidas na Tabela 4.3.3.1 a seguir:

Tabela 4.3.3.1: Restrições à proposta futura

Restrição	Justificativa
No máximo quatro carrinhos de sequenciamento por rebocador	Restrição física para realização de curvas nos corredores da linha de montagem
Rebocadores não fazem manobras de retorno no corredor	Restrição física
As rotas têm percurso e duração média definidos	Manter o balanceamento da ocupação dos operadores e equipamentos
Agrupar pontos subsequentes em uma mesma rota	Reduzir distância percorrida
Corredores de circulação dos rebocadores têm mão dupla	Evitar percursos sem agregação de valor

Com o leiaute do processo e os pontos de uso identificados, inicia-se a aplicação do método de varredura em ambos os sentidos. Optou-se pela aplicação anti-horária por mostrar-se mais aderente à restrição de agrupamento de pontos subsequentes em uma mesma rota.

O resultado deste método pode ser observado na Figura 4.3.3.1. Sendo o ponto vermelho, o ponto médio da área de supermercado; cada grupo de ponto de uma mesma cor, uma zona de abastecimento diferente; e os pontos de uso com a letra “N” representam os sequenciamentos de peças novas.

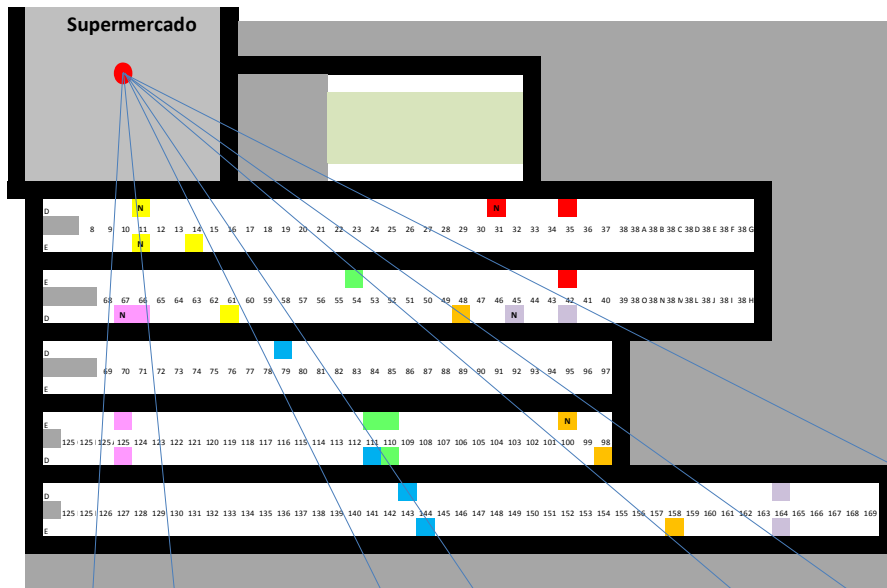


Figura 4.3.3.1: Esquema do Resultado do Método de Varredura

Nota-se pela figura que se faz necessário a aplicação do segundo método proposto, a inserção sequencial com a transferência entre as rotas de abastecimento, identificados na Figura 4.3.3.2, para que sejam obedecidas as restrições acima descritas.

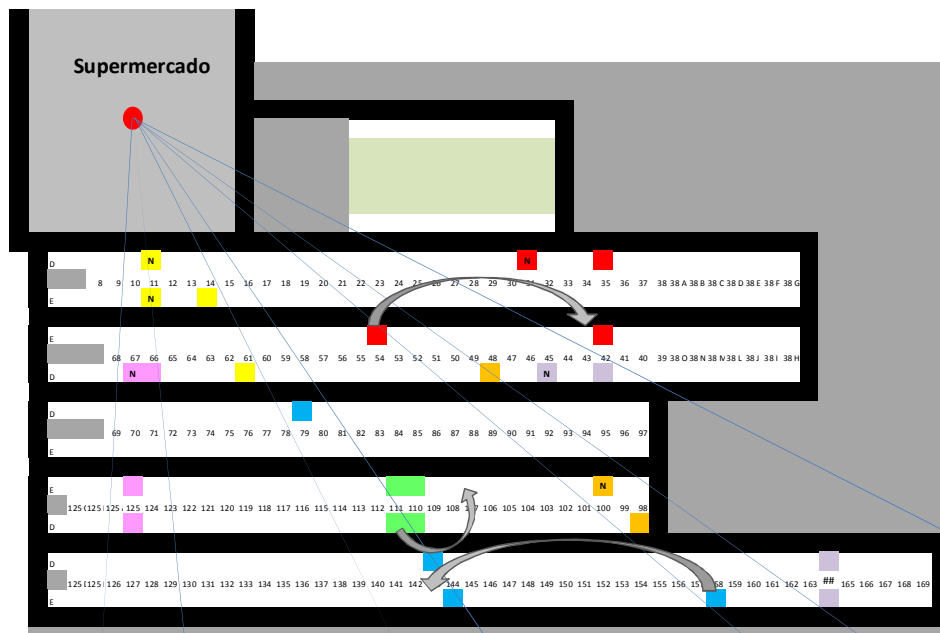


Figura 4.3.3.2 : Aplicação do Método de Inserção Sequencial

As rotas foram traçadas seguindo a restrição em S-Shape, buscando a menor distância entre os pontos de abastecimento. O tempo de cada ciclo foi calculado somando-se os tempos padronizados ao tempo para percorrer o percurso de ida e volta à área de supermercado, sendo

dividido em tempo proporcional à distância percorrida (0,0078min/m), tempo para confecção das curvas (0,0552min/curva) e tempo para desacelerações em interseções (0,0336 min/interseção). Assim como na situação planejada, pode-se observar na Tabela 4.3.3.2 um resumo da distribuição de peças e *workload* de todas as rotas após a aplicação dos métodos agrupamento e roteirização heurística.

Tabela 4.3.3.2: Características das rotas propostas de abastecimento sequenciado

Rota	Peças	<i>Workload</i>
1	4	99%
2	4	93%
3	4	38%
4	4	40%
5	3	35%
6	4	40%
7	4	44%
Média		56%

4.4 Análise dos resultados

Comparando-se as propostas atual e futura quanto ao número de pontos atendidos, e sua média, número de rotas, distância percorrida, necessidade de mão-de-obra e recursos, além da ocupação média das rotas de abastecimento, conforme se pode ver na Tabela 4.4.1.

Apesar de ambas as propostas atenderem ao mesmo número de pontos, a proposta futura conta com uma rota a menos, ainda que percorrendo uma distância maior, o que é necessário para cobrir o mesmo número de pontos.

Com a redução na quantidade de rotas, a necessidade de mão-de-obra e de equipamentos para transporte do comboio também reduziram em uma unidade cada. Em termos financeiros, a economia de R\$290.000,00/ano em salários e aluguel de equipamentos é bastante significativa. A ocupação média das rotas aumentou em 13%, em função desta redução, conforme Tabela 4.4.2.

Tabela 4.4.1: Comparação entre as propostas atual e futura

Indicadores	Atual	Futura
Quantidade de pontos atendidos	27	27
Quantidade média de pontos atendidos	3,375	3,857
Quantidade de rotas	8	7
Distância percorrida	959	1031
Mão-de-obra/turno	8	7
Equipamentos	8	7
Ocupação média da mão-de-obra	43%	56%

Tabela 4.4.2: Comparação entre as propostas atual e futura

Rota	Peças	Workload	Rota	Peças	Workload
1	4	38%	1	4	99%
2	3	29%	2	4	93%
3	3	29%	3	4	38%
4	4	79%	4	4	40%
5	4	40%	5	3	35%
6	3	33%	6	4	40%
7	3	33%	7	4	44%
8	3	66%			
Média		43%	Média		56%

+ 13% de ocupação média

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste artigo era analisar a produtividade no que tange quantidades de rotas, distâncias percorridas, uso dos recursos, humano e de equipamentos, e ocupação média da mão-de-obra, entre o planejado atual e a nova proposta de planejamento de rotas de abastecimento de peças sequenciadas na linha de montagem final de uma indústria automotiva.

A nova proposta foi obtida combinando-se dois métodos heurísticos, o Método de Varredura e o Método de Inserção Sequencial. Este consiste em agrupar em uma mesma rota, pontos de abastecimento próximos e aquele, em varrer toda a área a ser abastecida agrupando os pontos a cada, no máximo, quatro paradas. Esta varredura é feita a partir de uma reta com origem na área de supermercado, onde são feitos os sequenciamentos de peças em carrinhos especiais,

Para que fosse possível esta comparação, foi essencial trazer a situação planejada ao mesmo escopo da situação proposta, através da padronização dos carrinhos de sequenciamento em múltiplos de 12 peças.

Conforme o objetivo estabelecido, a comparação entre os modelos de planejamento mostrou que o método proposto traz ganhos mensuráveis em relação ao atual, como por exemplo, aumento de aproximadamente 13% na ocupação média das rotas de abastecimento, o que resultou na redução de uma rota e, conseqüentemente, uma pessoa por turno e um equipamento. Assim, os métodos de varredura e inserção sequencial combinados formam uma metodologia simples e de resultados positivos, podendo ser aplicada pelos planejadores da logística de fábrica, sem que seja necessário conhecimentos ou softwares específicos, o que seu uso mais atrativo, uma vez que a constante necessidade de replanejar as rotas para se adequar as alterações da produção demanda uma ferramenta de fácil utilização.

Como proposta para estudos futuros, sugere-se aplicar os algoritmos do método varredura e de Clarke-Wright sobre a mesma base de dados para análise comparativa entre os resultados.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez, R. R.; Antunes Jr., J. A. V. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do sistema Toyota de produção. *Gestão & Produção*, vol.8, no. 1, p. 1-18, 2001.

- Antunes, D. S. L. Análise de problemas e propostas de melhoria nos processos de abastecimento de materiais às linhas de produção: um caso de estudo na indústria automóvel. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Minho, Portugal. Out. 2012.
- Bañolas, R. S. Logística Enxuta – alguns conceitos básicos. Publicado em NewsLog. 2007. Disponível em: www.intellog.net. Data de acesso: 17 de set. 2014.
- Bowersox, D.; Closs, D.J. e Cooper, M.B. Supply Chain Logistics Management. Nova Iorque, Estados Unidos: MCGraw-Hill, 2002.
- Caccalano, L.; Cunha, C. B. Otimização no planeamento de rotas de abastecimento de materiais a linha de produção. Revista Tecnológica, p 88-92, set. 2013.
- Corrêa, H. L.; Gianesi, I. G. N.; Caon, M. Planejamento, Programação e Controle de Produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação: base para SAP, Oracle Applications e outros softwares integrados de gestão.- 5 ed.- 5. Reimpressão.- São Paulo: Atlas, 2011.
- Koster, R. et al. European Journal of Operational Research, vol.182 , p 481 -501, 2007
- Morillo, D.; Moreno, L.; Díaz, J. Metodologías Analíticas y Heurísticas para la Solución del Problema de Programación de Tareas con Recursos Restringidos (RCPS): una revisión. Ingeniería Ciencia, vol.10, no. 20, p. 203-227, 2014.
- Morrill, A. B. Lean Logistics: Its time has come! Journal of European Industrial Training, 1995.
- Neves, P. J. V. Abastecimento de peças a uma linha de montagem final. Tese (Mestrado) - Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. 2009.
- Shah, R.; Ward, P.T. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. Journal of Operations Management, vol. 21, no. 2, p 129–149, 2003
- Shook, Y. Bringing the Toyota production system to the United States: a personal perspective. Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers. Productivity, Portland - Estados Unidos, 1998.
- Sule, D. R. Manufacturing facilities – location, planning and design. 3. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009.
- Taj, S. Lean Manufacturing performance in China: Assessment of 65 manufacturing plants. Journal of manufacturing Technology Management, Emerald Group, vol.19, no.2, p 217-234, 2008.
- Tompkins, J. A.; White, J. A.; Bozer, Y. A.; Tanchoco, J. M. A. Facilities planning. 3. ed. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2003.
- Warnecke , H. J.; Hiiser, M. Lean production. International Journal of Production Economics, vol. 41, p 37-43, 1995.
- Womack, J.P.; Jones, D.T.; Roos, D. A Máquina que mudou o mundo. Ed. 7. Rio de Janeiro: Campus Ltda., 2004.
- Wood, S.J. et al. Revisiting the use and effectiveness of modern management practices. Human Factors and Ergonomics, vol.14, no. 4, p 413–430, 2004.
- Wu, Y. C. Lean manufacturing: a perspective of lean suppliers. International Journal of Operations & Production Management, vol.23, no 11, p 1349-1376, 2003.