

Sistema para gerenciamento de produção e estoque de produtos

Leonardo M Reigoto¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (UFF)
Niterói– RJ – Brasil

Abstract. *This article presents the development and analysis of an inventory and production management system implemented in C++. It implements various data structures to handle different aspects of management, including product inventory in branches, creation of manufacturing orders, and allocation of workstations. The system is structured with high scalability in mind for adding new branches or products.*

Keywords *Inventory Management, Production Optimization, Factory Planning, Dynamic Scoring Systems, Production Strategies*

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento e análise de um sistema de gestão de estoque e produção implementado em C++. Ele implemente várias estruturas de dados para lidar com diferentes aspectos de gestão, incluindo estoque de produtos em filiais, criação de ordens de fabricação e alocação de postos de trabalhos. O sistema tem uma estrutura pensando em alta escalabilidade para inserção de novas filiais ou produtos.*

Palavras chaves *Gestão de Estoque, Otimização de Produção, Planejamento fabril, Sistemas de Pontuação Dinâmica, Estratégias de Produção.*

1. Introdução

1.1. Contextualização

Ser eficiente na produção e gestão de estoques é um fator crítico para o sucesso empresarial. Muitas empresas enfrentam problemas para lidar com o abastecimento de estoques (sejam de filiais, pontos de distribuições ou pontos de vendas) conforme se expandem e a complexidade do negócio aumenta.

No mundo empresarial moderno cada vez mais se faz necessário ser ágil e responder as mudanças do momento. Hoje já existe o conceito de produção *just-in-time*[Vollmann et al. 1997] – uma produção planejada em tempo real.

1.2. Motivação

Para lidar com os problemas de planejamento de recursos empresariais muitas empresas aderem a ERPs como o SAP que é o sistema mais comum em empresas de grande porte.

Para acompanhar movimentação de estoques e outras operações relacionadas a logística ferramentas com a tecnologia de RFID tem se popularizado cada vez mais pelos seus ganhos operacionais[Pedroso et al. 2009, Nassar and Horn Vieira 2014].

Personalizações em ERPs como SAP tem um custo muito alto e adaptá-los para RFID requer mudanças muito drásticas somada a aquisição de novos módulos que tem um escopo muito maior. Por isso, o que as empresas acabam adquirindo middlewares de fornecedores de RFID, que acabam gerado cobranças mensais muito elevadas quando o negócio envolve muitos estoques ou leitores.

Essas empresas também ficam dependentes de um planejamento de produção manual em que funcionários da área de planejamento e controle de produção checam os níveis de estoques e vão sugerindo mudanças na produção.

1.3. Objetivo e relevância do sistema

Neste artigo é proposto fazer a estrutura de um sistema open-source de uso interno para empresas que poderia futuramente receber leituras de RFID e trabalhar com várias funcionalidades relacionadas a gestão de estoque e controle de produção de forma externa ao ERP. A vantagem é trazer essas novas funcionalidades para uma ferramenta única, modular, adaptável e expansível com desenvolvimento interno.

Esse sistema ainda necessitaria ser integrado com o ERP de forma a gerar movimentações de estoque, transmitir pedidos e afins. Mas pela sua característica open source e modular seria muito mais ágil e barato para adaptá-lo ou adicionar novas funcionalidades. Ele também reduziria a quantidade de ferramentas externas ao ERP com funcionalidades separadas, volume de personalizações em múltiplas ferramentas e contratações de serviços de múltiplos fornecedores.

No momento inicial é proposto que o sistema faça o acompanhamento e reabastecimento de estoques de forma automática e a organização das ordens de produção do dia em filas em postos de produção.

2. Revisão da literatura

2.1. Avanço de sistemas computadorizados na gestão empresarial

Com o avanço da informática, sistemas de computação foram incluídos na gestão empresarial e se tornam cada vez mais sofisticados. Exemplos importantes são os sistemas de Planejamento de Recursos empresariais (ERP) e os sistemas de Planejamento de Necessidades de Materiais (MRP) [Vollmann et al. 1997, H. Zijm 2018]. Hoje os sistemas fazem parte de diferentes áreas de negócio e processos manuais. [Vollmann et al. 1997, H. Zijm 2018]

2.2. Estruturas de dados aplicadas a sistema de gestão

Pesquisas e avanços nas áreas de estruturas de dados e complexidade algorítmicas tem um grande impacto no avanço de sistemas de gestão empresarial eficientes. É necessário a escolha de estruturas de dados adequadas e otimização da complexidade algorítmica para garantir a eficiência desses sistemas. No caso desse artigo foram escolhidas estruturas como *heaps* e *deque*s decorrentes desses estudos anteriores. Estruturas de dados e complexidade algorítmicas são discutidas com detalhes em [Cormen et al. 2009]

3. Metodologia

3.1. Problema proposto

3.1.1. Estrutura geral do problema

O sistema em estudo consiste em uma fábrica central com nove filiais. Cada filial opera com um nível de estoque de referência (estimativa de quinze dias de consumo) e gera ordens de fabricação (OFs) com base na demanda e no estoque disponível em cada filial. A produção é orientada por ordens de fabricação (OF), com cada OF consistindo em 75 unidades de um único tipo de produto. Uma OF é sempre destinada a uma filial específica. Existem três tipos de produtos, cada um com uma pontuação base diferente.

Tabela 1. Pontuação base dos produtos

Produto	Pontuação Base
Produto 1	13p
Produto 2	10p
Produto 3	11p

3.1.2. Estratégia de Pontuação e Priorização de Produção

A pontuação de cada OF é dinâmica e depende do nível de estoque da filial. A pontuação é calculada com base na porcentagem do estoque em relação ao nível base e varia de 0.1 a 16 vezes a pontuação base do produto. Diariamente, as OFs são priorizadas com base em suas pontuações. As 120 OFs com maiores pontuações são selecionadas para produção.

Tabela 2. Pontuação dinâmica dos produtos

% do estoque de referência	Pontuação	% do estoque de referência)	Pontuação
$\geq 300\%$	base*0.1	[85,90[%	base*1.4
[200,300[%	base*0.3	[80,85[%	base*1.7
[150,200[%	base*0.5	[75,80[%	base*2
[125,150[%	base*0.8	[60,75[%	base*3
[115,125[%	base*1	[50,60[%	base*4
[95,115[%	base*1.1	[20,50[%	base*8
[90,95[%	base*1.2	<20%	base*16

3.1.3. Gestão de Filas e Capacidade de Produção

A fábrica tem um limite de produção diário de 120 OFs. As OFs são geradas automaticamente no início de cada dia com base no estoque das filiais. Cada filial gera 18 OFs novas por dia, que maximizariam a pontuação de produção. As OFs não produzidas continuam na fila de produção. OFs na fila por mais de 5 dias são descartadas.

3.1.4. Dinâmica de Consumo e Estoque

Cada filial tem um consumo base variável (diferente para cada OF e um estoque de referência para 15 dias. O consumo real varia diariamente entre 70% a 130% do consumo base.

3.1.5. Análise de Produtividade dos Postos de Produção

A fábrica possui cinco postos de produção semi-automatizados, cada um com capacidades de produção distintas, variando de 12 a 48 OFs por dia. Cada posto de produção possui uma fila com capacidade para cinco OFs, gerenciada de acordo com a disponibilidade e a capacidade de produção. Um mecanismo de balanceamento distribui as OFs entre os postos para otimizar a utilização e reduzir tempos ociosos. Assim que uma vaga da fila é liberada ela é preenchida com alguma OF na fila de produção do dia. Após não haver mais ordens na fila, um posto pode roubar uma ordem da fila de outro posto desde que:

- o posto a roubar esteja totalmente ocioso sem nenhum item na fila;
- ao roubar a ordem, o posto que a tomar irá termina-la primeiro que o posto;
- a OF a ser transferida deve ser a na última posição do posto alvo (pois ela está menos preparada nos processos de produção).

A gestão eficiente das filas de produção é crucial, considerando a variação na demanda e a necessidade de minimizar mudanças no processo de preparação.

Tabela 3. Postos de trabalhos

Posto	Produção
Posto 1	1 OF / 30 mins
Posto 2	1 OF / 60 mins
Posto 3	1 OF / 60 mins
Posto 4	1 OF / 120 mins
Posto 5	1 OF / 120 mins

3.1.6. Simulações de Produção

Um modelo de simulação foi desenvolvido para replicar o processo produtivo da fábrica. Ele considera:

- a capacidade de produção de cada posto de trabalho;
- a sequência de produção baseada na priorização das OFs;
- variações diárias na demanda e nos níveis de estoque.

Um loop de simulação representa cada dia de operação, processando consumo, produção e atualizações de estoque. O sistema deve ser capaz de ajustar a produção diária às variações de consumo, mantendo um equilíbrio entre a oferta e a demanda.

Dados da simulação:

- fabricação 120 OFs/dia – 75 produtos/OF (9000 produtos/dia);

- consumo base diário : 3150 produto 1, 2250 produto 2, 3600 produto 3 (9000 produtos /dia);
- consumo de cada filial varia 80% a 120% do consumo base – filial 9 ajustada para soma manter 9000/dia;
- estoque de referência : 15 dias de consumo (da filial);
- consumo real: 70% a 130% do consumo base da filial;
- estoque inicial de cada filial: 85% a 130% do estoque de referência.

3.2. Arquitetura do Sistema

O sistema foi construído em C++ e é baseado em uma arquitetura orientada a objetos. A ideia foi desenvolver um sistema modular de modo que pode ser facilmente expansível para incluir novas filiais ou novos produtos com pouca modificação em seu código base.

3.2.1. Visão geral

A arquitetura do sistema é projetada para representar o funcionamento real da fábrica e suas filiais. Ela inclui três componentes principais:

- **Módulo de Gestão de Estoque:** Responsável por monitorar e gerenciar os níveis de estoque em cada filial, incluindo a atualização dinâmica baseada no consumo diário e no reabastecimento pela produção da fábrica.
- **Módulo de Planejamento de Produção:** Este módulo processa as ordens de fabricação (OFs), prioriza-as com base na pontuação de produção de forma dinâmica considerando estoques de referência e distribui as tarefas para diferentes postos de produção na fábrica.
- **Módulo de Simulação:** Simula o ambiente de produção diária, considerando as variações na demanda, a capacidade de produção e o gerenciamento das filas de OFs nos postos de produção.

3.2.2. Estrutura de Classes

- **Estoque_Produto:** Representa um produto individual no estoque, contendo informações como nome, quantidade atual, taxa de consumo, e métodos para consumo e pontuação.
- **Estoque:** Agrega vários objetos Estoque_Produto, representando o estoque total de uma filial.
- **Filial:** Encapsula informações de uma filial específica, incluindo seu estoque, identificação e métodos para manipulação de produtos.
- **FilaOF:** Uma estrutura de heap que gerencia ordens de fabricação com base em pontos, otimizando a priorização e alocação de tarefas.
- **Deque_OF e Derivações (Deque_Posto, Fila_PROD):** Implementações de deque para gerenciar as ordens de fabricação em diferentes contextos

Cada filial possui seu próprio estoque, e as operações de consumo e reposição são gerenciadas localmente. A FilaOF centraliza as ordens de fabricação de todas as filiais, permitindo uma visão global e estratégica. Os Deque_OF são utilizados para distribuir eficientemente as tarefas entre os postos de trabalho e separar as OFs de produção do dia.

3.2.3. Escalabilidade

As filiais são criadas dentro de uma função específica e ao serem criadas são adicionadas em um *unordered map* global. Todas operações nas filiais como consumo e geração de ordens de produção são feitas através de loops no *unordered map*, assim para se adicionar uma nova filial basta uma nova chamada na função. Para se adicionar um novo produto basta acrescentar um novo ponteiro de estoque_produto na classe estoque e cria-lo dentro da função criar filial.

4. Discussões

4.1. Análise de Complexidade

A complexidade de tempo do programa varia principalmente com a quantidade de OFs na fila (n) e o número de dias da simulação (d). A complexidade para redistribuir a pontuação de todas OFs geradas na fila é $O(n)$ e o heap para reorganiza-las é $O(\log n)$. Assim, a complexidade dominante é encontrada no loop principal que recalcula pontos e gerencia OFs, com uma complexidade diária de $O(n \log n)$. Portanto, a complexidade total ao longo de todos os dias é $O(d * n \log n)$.

4.2. Considerações de Desempenho

- **Eficiência de Heap:** O uso de uma heap para gerenciar OFs é eficiente para operações de inserção e remoção, mas a necessidade de recalculação frequente de pontos pode afetar o desempenho. Como a quantidade de produção da fábrica tem um limite fixo, não faz sentido ter um tamanho de fila muito maior que o limite diário. Por isso as OFs expiram a cada 5 dias o que impede que o tamanho da fila seja impactante no desempenho do sistema.
- **Uso de Deques:** Os deque oferecem inserção e remoção eficientes nas extremidades, adequados para a lógica de fila de produção e postos de trabalho.

5. Conclusão e melhorias

5.1. Possíveis Melhorias

- **Inserção de um sistema de IA para aprender a maximizar os estoques:** Um sistema de IA pode aprender a ordenar as OFs, maximizando uma pontuação de forma semelhante a pontuação dinâmica. A pontuação base e valores de multiplicação da pontuação dinâmica foram definidas aleatoriamente, um sistema de IA pode gerar uma função otimizada para isso.
- **Recebimento de leituras de RFID:** O sistema pode ser adaptado para receber leituras de leitores e portais RFID.
- **Otimização da distribuição levando em conta trajetos diferentes e divisão de OFs para múltiplas filiais:** Pode ser levado em conta trajetórias para abastecer as filiais e evitar de percorrer todas as trajetórias diariamente. As OFs também podem ser desvinculadas das filiais específicas e o resultado da produção que iria ser alocado as filiais.

5.2. Conclusão

O código analisado apresenta uma solução robusta para a gestão de estoque e produção, com um enfoque em eficiência e escalabilidade. As escolhas de estruturas de dados são apropriadas para as necessidades do programa, embora haja espaço para otimizações adicionais e melhorias na estruturação do código. A análise de complexidade sugere um bom desempenho para cenários com quantidades moderadas de OFs, mas recomenda-se avaliação adicional para cenários de uso com volume muito alto de dados. Apesar disso não é esperada uma quantidade de OFs muito maior que a capacidade de produção da fábrica. Caso a capacidade cresça muito, o esperado é que a quantidade de produtos por OF também cresça.

A simulação mostrou que é viável fazer a automação da produção com objetivo de reabastecer os estoques com base em níveis de referências e pontuações pré-estipuladas.

Referências

- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., and Stein, C. (2009). *Introduction to Algorithms*. MIT Press, 3rd edition.
- H. Zijm, M. Klumpp, A. R. S. H. (2018). *Operations, Logistics And Supply Chain Management*. Springer Science+Business Media.
- Nassar, V. and Horn Vieira, M. (2014). A aplicação de rfid na logística: um estudo de caso do sistema de infraestrutura e monitoramento de cargas do estado de santa catarina. *Gestão Produção*, 21:520–531.
- Pedroso, M. C., Zwicker, R., and de Souza, C. A. (2009). Adoção de rfid no brasil: um estudo exploratório. *Revista de Administração Mackenzie*, 10(1):12–36.
- Vollmann, T. E., Berry, W. L., and Whybark, D. C. (1997). *Manufacturing Planning and Control Systems*. McGraw-Hill.