

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO EM INDÚSTRIA GRÁFICA POR MEIO DE FERRAMENTAS DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARTINS NETO, LUIZ ALBERTO BARROS. VITTOY, RICARDO. MORAIS, ELÓDIA
TEODORO VALADÃO DE. RODRIGUES, PRISCILLA BORGES DE FREITAS.

Escola Politécnica e de Artes

Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Goiânia-GO-Brasil

RESUMO: Este trabalho analisa o fluxo produtivo de uma indústria gráfica, identificando o gargalo operacional e propondo um modelo de melhoria baseado em PCP (Planejamento de Controle da Produção), Teoria das Restrições e *Kanban*. O estudo foi conduzido por meio de observação direta, entrevistas e modelagem em *BPMN*. O diagnóstico revelou a impressão *offset* como recurso restritivo, responsável por acúmulo de *WIP*, atrasos e instabilidade no sequenciamento. A partir disso, foi elaborada uma proposta técnica envolvendo priorização *EDD*, zonas de programação (*Frozen*, *Slushy* e *Free*) e controle visual por *Kanban*. Os resultados indicam potencial para reduzir *lead time*, organizar o fluxo e aumentar a previsibilidade operacional. Embora não haja implantação prática, o modelo apresenta diretrizes aplicáveis para gráficas com alta variabilidade.

Palavras-chave: PCP. TOC. *Kanban*. Gargalos.

ABSTRACT: This study analyzes the production flow of a printing company, identifying the operational bottleneck and proposing an improvement model based on Production Planning and Control (PPC), Theory of Constraints (TOC), and *Kanban*. The research was conducted through direct observation, interviews, and *BPMN* process modeling. The diagnosis revealed the offset printing stage as the system's restrictive resource, responsible for *WIP* accumulation, delays, and sequencing instability. Based on these findings, a technical proposal was developed involving *EDD* prioritization, planning zones (*Frozen*, *Slushy*, and *Free*), and visual management through *Kanban*. The results indicate potential to reduce lead time, organize workflow, and increase operational predictability. Although not practically implemented, the model provides applicable guidelines for printing companies operating under high variability.

Keywords: PPC. TOC. *Kanban*. Bottlenecks.

1. Introdução

A indústria gráfica brasileira caracteriza-se por elevada complexidade operacional, marcada por processos encadeados, forte variabilidade de demanda e necessidade crescente de flexibilidade. Segundo levantamento da ABIGRAF NACIONAL (2010), o setor engloba desde impressos editoriais e promocionais até embalagens e soluções personalizadas, exigindo maior coordenação entre etapas produtivas e melhor aproveitamento da capacidade instalada.

Diante desse cenário, métodos de gestão da produção tornam-se essenciais para garantir previsibilidade, reduzir desperdícios e aumentar a eficiência. O Planejamento e Controle da

Produção (PCP) é responsável por integrar recursos, prioridades, demanda e capacidade, definindo o que, quando e como produzir. Em ambientes industriais sensíveis à variabilidade, como gráficas, farmacêuticas e confecções, falhas no PCP resultam em atrasos, estoques elevados, gargalos acentuados e perda de eficiência global (MORAIS; OLIVEIRA, 2015; CRUZ; MESQUITA, 2018).

A literatura aponta que, embora o PCP seja fundamental, sua eficácia depende de metodologias complementares orientadas ao fluxo. A Teoria das Restrições (*TOC*) destaca-se por oferecer uma abordagem sistemática de identificação e gestão dos gargalos que limitam o desempenho global do sistema. Estudos brasileiros mostram que a *TOC* permite reorganizar o fluxo produtivo, melhorar o *throughput* e reduzir filas ao concentrar esforços nos recursos críticos (CSILLAG; NETO, 2005; SABBADINI; GONÇALVES; OLIVEIRA, 2006; TORRES; COSTA, 2013). Em operações gráficas, evidências indicam que o principal gargalo geralmente está na impressão *offset*, etapa que determina o ritmo de produção e apresenta grande impacto no tempo de atravessamento (AZEVEDO, 2004; ZATTAR; RUDEK; TURQUINO, 2010).

Além disso, práticas de gestão visual e sistemas puxados, como o *Kanban*, têm sido aplicadas com resultados positivos na melhoria da comunicação entre setores, na estabilização do fluxo e na redução de tarefas em progresso (PEDROSA, 2010; MONTEIRO; ALMEIDA, 2021; FREIRES; SILVA, 2025). Tais ferramentas ampliam a visibilidade do processo, reduzem erros de priorização e favorecem o alinhamento entre PCP, produção e expedição.

Considerando esse contexto, este trabalho analisa o processo produtivo de uma indústria gráfica composta por pré-impressão, impressão *offset*, impressão digital e acabamento, diagnosticando gargalos, tempos de setup, acúmulo de *WIP* e fontes de variabilidade. A partir do mapeamento *AS-IS* e da modelagem em *BPMN*, a pesquisa propõe uma solução integrada baseada em PCP, *TOC* e *Kanban*, fundamentada nas abordagens reconhecidas pela literatura nacional. Este estudo se limita ao diagnóstico e à proposta técnica, não abrangendo implementação ou monitoramento pós-implantação. O objetivo é estruturar um sistema produtivo mais previsível, sincronizado e coerente com as práticas consolidadas pela engenharia de produção.

2. Referencial teórico

2.1 Planejamento e Controle da Produção (PCP) e Programação da Produção

O Planejamento e Controle da Produção é responsável por coordenar recursos produtivos, definir prioridades, planejar capacidades e garantir que a produção ocorra no ritmo adequado às necessidades da demanda (BUETTGEN, 2011). Seu papel é integrar níveis estratégico, tático e operacional, conectando informações entre vendas, estoque, suprimentos e chão de fábrica.

Em empresas de médio e grande porte, o PCP atua como mecanismo de sincronização entre setores, evitando sobrecarga, ociosidade, estoques excessivos e conflitos de prioridade. MORAIS E OLIVEIRA (2015) demonstram que falhas na comunicação entre áreas e ausência de padronização elevam retrabalhos e aumentam o tempo de atravessamento.

2.2 Teoria das Restrições (TOC) e Gestão de Gargalos

A Teoria das Restrições, desenvolvida por GOLDRATT (1991), é amplamente aplicada em sistemas produtivos para identificar e gerenciar o recurso que limita o desempenho global. CSILLAG E NETO (2005) mostram que a *TOC* melhora *throughput*, reduz perdas de capacidade e orienta decisões operacionais ao focar no gargalo real do sistema.

SABBADINI, GONÇALVES E OLIVEIRA (2006) reforçam que a *TOC* é eficaz mesmo em ambientes de alta complexidade e grande variabilidade, pois torna o fluxo mais estável ao eliminar sobrecarga em recursos não restritivos. TORRES E COSTA (2013), em estudo de caso na indústria de confecção, evidenciam que a subordinação do sistema ao gargalo reduz filas, melhora o nível de serviço e estabiliza o cronograma.

No setor gráfico, AZEVEDO (2004) identifica a impressão *offset* como o principal gargalo, devido ao alto tempo de acerto e ao impacto das trocas de chapas no ritmo operacional. ZATTAR, RUDEK E TURQUINO (2010) reforçam que analisar indicadores como OEE é essencial para monitorar disponibilidade, velocidade e qualidade no recurso restritivo, permitindo intervenções mais precisas. Dessa forma, a *TOC* atua como complemento estratégico ao PCP, fornecendo foco e clareza para estabilizar o fluxo e aumentar a eficiência global.

2.3 Quadro Kanban como Ferramenta de Visualização de Processos, Comunicação entre Setores e Indicadores

O *Kanban* é um sistema visual de coordenação criado para organizar o fluxo produtivo e reduzir falhas de comunicação entre etapas. Ele opera pela lógica puxada, garantindo que cada atividade só avance quando há demanda real, evitando sobrecarga e excesso de *WIP*. PEDROSA (2010) destaca sua eficácia na ordenação de processos e sincronização das operações, seja por cartões físicos ou digitais.

A evolução recente da ferramenta ampliou seu uso para ambientes administrativos e digitais. FREIRES e SILVA (2025) apontam que o *Kanban* moderno reforça transparência, previsibilidade e priorização, reduzindo tempos mortos e elevando a eficiência. Resultados práticos também foram observados por MONTEIRO e ALMEIDA (2021), que aplicaram o método em uma microempresa e registraram melhor comunicação, organização e menos retrabalho.

Na indústria gráfica, caracterizada por múltiplos setores interdependentes, pré-impressão, impressão, acabamento e expedição, o *Kanban* torna-se particularmente relevante. A gestão visual possibilita que operadores, supervisores e PCP tenham visão clara do status das ordens, identificando gargalos e priorizando corretamente os trabalhos críticos. AZEVEDO (2004) e ZATTAR, RUDEK E TURQUINO (2010) reforçam que, em operações onde o sincronismo entre setores é fundamental e a capacidade da impressão *offset* tende a ser o recurso limitante, ferramentas visuais são essenciais para reduzir esperas, equilibrar o fluxo e melhorar a tomada de decisão. Assim, o *Kanban* funciona como dispositivo prático de alinhamento entre setores, fortalecendo a previsibilidade e a estabilidade operacional, fatores decisivos para gráficas que lidam com demandas urgentes, setups frequentes e prazos rígidos.

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de pesquisa e unidade de análise

Este estudo caracteriza-se como um estudo de caso aplicado, de abordagem qualitativa e quantitativa, conduzido em ambiente real de produção gráfica. A unidade de análise corresponde ao fluxo produtivo de cartelas A5, em uma gráfica de médio porte localizada em Goiânia (GO), cujo processo envolve pré-impressão, impressão *offset*, impressão laser e acabamento. O foco metodológico recai sobre o gargalo produtivo (impressora *offset*), por sua influência direta na capacidade e na formação de filas.

3.2 Escopo e Delimitações

O escopo da pesquisa compreende:

1. O diagnóstico do fluxo produtivo atual (*AS-IS*);
2. A coleta da linha de base dos principais indicadores;
3. A modelagem do processo em *BPMN*;
4. A identificação da restrição;

5. A proposição estruturada de uma solução de melhoria, fundamentada em PCP, *TOC* e *Kanban*.

O estudo foi conduzido ao longo de três semanas, com uma semana dedicada exclusivamente à coleta de dados no ambiente industrial. Considerando o tempo reduzido disponível para a execução da pesquisa, o escopo foi delimitado às etapas de diagnóstico, modelagem do processo, identificação da restrição produtiva e elaboração da proposta de melhoria. Assim, a implantação prática da solução e a medição de indicadores pós-intervenção não fazem parte desta fase metodológica, mantendo-se o foco na análise técnica e na construção de um modelo de melhoria aderente ao contexto produtivo estudado.

3.3 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos adotados foram organizados em quatro etapas principais, alinhadas aos objetivos específicos do estudo:

A. Diagnóstico

Foi realizada observação direta no chão de fábrica (*gemba*¹), entrevistas semiestruturadas com operadores e gerente de produção, e análise de relatórios internos do PCP. Essas ações permitiram mapear o estado atual do processo (*AS-IS*), identificando gargalos, tempos de ciclo, pontos de acúmulo (*WIP*), retrabalhos e falhas de comunicação entre setores.

B. Registro da linha de base dos indicadores

Com base nos dados coletados, registraram-se os principais indicadores operacionais relacionados ao desempenho do fluxo produtivo: *Lead Time*, *Throughput*, Setup médio, *WIP*, *OTIF* e *Tardiness*. Esse conjunto de métricas constitui a linha de base que caracteriza a situação inicial da operação e fundamenta a elaboração dos resultados esperados.

C. Modelagem do processo e identificação da restrição

O fluxo produtivo foi modelado em *BPMN*, conforme Apêndice 01, representando as interações entre pré-impressão, gravação de chapas, impressão *offset*, impressão laser e acabamento. Essa modelagem evidenciou as dependências entre as etapas e permitiu visualizar com precisão como o comportamento da *offset* influencia toda a dinâmica do sistema. A comparação entre o cenário real e o cenário ideal reforçou essa conclusão: quando a *offset* opera sem interrupções, o fluxo avança de forma contínua e todas as etapas subsequentes mantêm

¹ Gemba: termo japonês que significa "o local real", onde o trabalho que cria valor, onde realmente acontece, como o chão de fábrica.

ritmo estável, porém, diante da quebra registrada no cenário real, observou-se um deslocamento de quase 24 horas no processamento e no despacho das ordens de serviço, demonstrando que qualquer parada no gargalo provoca acúmulo imediato e repercussão em toda a cadeia produtiva.

A partir dessa modelagem e da análise dos tempos coletados, identificou-se a impressora *offset* como o recurso restritivo, condicionando o ritmo de toda a linha produtiva.

D. Proposição da solução de melhoria

Com base no diagnóstico e na restrição identificada, foi desenvolvida uma proposta de solução integrada, fundamentada em três pilares metodológicos:

1. PCP – definição de regras de priorização, com destaque para o uso da regra EDD (*Earliest Due Date*);
2. TOC – estruturação das zonas *Frozen*, *Slushy* e *Free*, orientando a tomada de decisão e a reprogramação em situações de variabilidade;
3. *Kanban* – desenvolvimento de um modelo de controle visual, com a organização das ordens de serviço por status e sincronização entre os setores.

Essa solução é apresentada na forma de modelo conceitual, estruturado para orientar uma futura implantação, e acompanhada dos resultados esperados sobre os indicadores da linha de base.

E. Análise dos resultados

Os dados foram consolidados em planilhas. Compararam-se médias e variações percentuais antes e depois da implantação, buscando evidenciar reduções de tempo e aumento de produtividade no gargalo. A validação dos resultados ocorreu em conjunto com o gerente de produção, por meio de reuniões de feedback.

3.4 Variáveis de mensuração

Para avaliar o comportamento do fluxo produtivo e embasar a proposição de melhoria, foram definidas variáveis quantitativas relacionadas ao tempo, capacidade e eficiência operacional. As variáveis e suas descrições encontram-se organizadas na Tabela 1, contemplando os indicadores de desempenho utilizados no diagnóstico.

Tabela 1 - Variáveis de mensuração do estudo

Indicador	Definição operacional	Unidade	Fonte	Frequência
Lead Time	Pedido → entrega	h	Registros PCP	Diário
Throughput	Cartelas A5/h na offset	un/h	Cronometragem	Diário
Setup médio	Tempo entre ordens	min	Observação direta	Diário
WIP	Ordens em fila e processo	un	Kanban/PCP	Diário
OTIF	Entregas no prazo e completas	%	PCP	Semanal
Tardiness	Atraso médio das ordens	h	PCP	Diário

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

3.5 Instrumentos de coleta

Os instrumentos de coleta utilizados no estudo compreenderam observação direta no ambiente produtivo, entrevistas semiestruturadas com operadores e gestores, análise de planilhas de tempos e formação de filas provenientes do sistema de PCP, além da modelagem do processo em *BPMN* nos cenários *AS-IS* e *TO-BE*. A análise dos dados foi conduzida de forma integrada, articulando evidências obtidas em campo, percepções dos colaboradores e registros operacionais, de modo a garantir consistência, triangulação das informações e maior robustez na interpretação dos resultados.

3.6 Síntese metodológica

A metodologia adotada combina diagnóstico empírico, análise operacional e modelagem de processos, permitindo compreender o comportamento da restrição e fundamentar a solução proposta. O enfoque em diagnóstico, modelagem e proposição garante aderência ao escopo e alinhamento com os objetivos do estudo.

3.7 Elementos visuais

Com base no mapeamento do fluxo produtivo apresentado no Apêndice 01, desenvolveu-se o quadro *Kanban* da empresa como ferramenta de gestão visual para organizar a sequência das ordens de serviço e fortalecer a comunicação entre os setores. O Apêndice 02 apresenta o *Kanban* físico utilizado no *gemba*, enquanto o Apêndice 03 mostra a configuração do *Kanban* digital, adotado nos dispositivos móveis dos gerentes, com colunas padronizadas que permitem acompanhar o andamento das atividades em tempo real e identificar rapidamente pontos de acúmulo no processo.

4. Resultados e discussões

4.1 Identificação e comportamento da restrição

O diagnóstico permitiu caracterizar o estado atual do fluxo produtivo da gráfica analisada, evidenciando gargalos, variabilidade operacional e falhas de sincronização entre as etapas de pré-impressão, impressão e acabamento. Observou-se que a impressora *offset* concentra o maior tempo de processamento e determina o ritmo das operações subsequentes, formando filas de espera (*WIP*) e contribuindo significativamente para atrasos e acúmulo de ordens urgentes (*hot lists*). A análise dos tempos de ciclo coletados revelou grande discrepância entre capacidades teóricas e desempenho real, especialmente em situações de alta demanda ou interrupções não planejadas. Além disso, verificaram-se falhas de comunicação entre setores, retrabalhos frequentes e ausência de padronização no fluxo, reforçando a necessidade de uma proposta estruturada de controle visual e priorização.

Nesse contexto, verificou-se que, em semanas de demanda regular, o processo naturalmente se organiza pelo sequenciamento *FIFO*, já que não há necessidade de antecipação ou tratamento prioritário das ordens. Nesses períodos, a lógica “primeiro que entra, primeiro que sai” funciona de forma estável e coerente com o fluxo planejado. Entretanto, quando o PCP recebe ordens classificadas como urgentes, como ocorreu com duas OS inseridas de última hora durante o período analisado, a dinâmica muda completamente. Essas ordens, por apresentarem prazos mais curtos e impacto comercial imediato, precisam obrigatoriamente ultrapassar as demais na fila do gargalo, rompendo a lógica do *FIFO*. Nesse momento, o sistema passa a operar sob a lógica *EDD*, em que o prazo de entrega se torna o critério principal para definir a sequência das ordens de serviço. Esse comportamento evidencia que, embora o *FIFO* funcione em condições normais, o ambiente real da gráfica exige um método de priorização capaz de absorver urgências sem desorganizar o fluxo, reforçando a necessidade de um sequenciamento estruturado e sensível aos prazos. A Tabela 2 apresenta a linha de base dos principais indicadores operacionais, obtida diretamente do processo antes de qualquer intervenção.

Tabela 2 - Linha de Base dos Indicadores (Cenário Atual)

Indicador	Valor Observado	Interpretação
Lead Time médio	~ 2 horas (alta variabilidade)	O fluxo oscila devido ao gargalo e paradas
Throughput offset	36.363 un/h	Capacidade estável, porém sensível a interrupções
Setup médio	31 min	Influenciado por trocas frequentes de chapas e ajustes
WIP médio	0,74 ordens	Formação de filas pré-offset
OTIF	95,24%	Queda causada por duas ordens críticas atrasadas
Tardiness	23h35min (para 2 ordens)	Atraso decorrente de manutenção corretiva no gargalo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Esses indicadores mostram que, embora o sistema opere com relativa eficiência em condições normais, apresenta alta sensibilidade a paralisações, desorganização de prioridades e falta de sincronização entre etapas, problemas típicos quando a restrição não é protegida adequadamente.

4.2 Modelagem do processo e evidências da restrição

A modelagem do fluxo produtivo por meio de *BPMN* possibilitou uma visualização estruturada das etapas que compõem o processo, desde a entrada do pedido até o despacho, permitindo identificar dependências funcionais, pontos de espera e acúmulos intermediários. O diagrama *AS-IS* evidenciou ocorrências recorrentes de filas antes da impressão *offset*, acúmulo de ordens na guilhotina e no acabamento, além de retrabalhos decorrentes de inconsistências de arte, falhas de registro e erros em dados variáveis. A análise confirmou que a impressora *offset* configura-se como o recurso restritivo do sistema, em razão de seus maiores tempos de ciclo, elevada demanda por setups, incidência de paradas corretivas e ajustes operacionais frequentes, fatores que influenciam diretamente a formação de filas e o desempenho do *OTIF*. Dessa forma, o gargalo limita o *throughput* global e intensifica a variabilidade do *lead time*, tornando-o um elemento determinante para a estabilidade e previsibilidade do processo produtivo.

4.3 Cenário Real – Indicadores calculados

Durante o período analisado, a ocorrência de uma manutenção corretiva inesperada na *offset* provocou a paralisação das ordens OS-59069 e OS-59070, gerando um atraso acumulado de 38h45min e repercutindo em toda a cadeia produtiva. Conforme demonstrado no Apêndice 04, que apresenta o PCP detalhado dessas ordens, é possível visualizar de forma explícita como a interrupção deslocou todo o sequenciamento planejado, empurrou etapas subsequentes para o dia seguinte e comprometeu indicadores-chave de desempenho. A análise desse apêndice evidencia, de maneira incontornável, que a simples indisponibilidade do gargalo não apenas altera horários, ela redesenha o fluxo inteiro. O impacto desse evento fica explícito nos indicadores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Indicadores do Cenário Real com Interrupção

Indicador	Valor Real	Impacto Observado
Lead Time das ordens afetadas	23h35min acima do previsto	Atraso expressivo devido à parada do gargalo
Throughput real offset	Reduzido em >10%	Perda de ritmo durante e após a manutenção
OTIF	92,86%	Queda causada por 2 ordens atrasadas
WIP	Acima de 1 ordem	Formação de fila pré-offset
Tardiness	23h35min	Atraso direto no despacho das duas ordens

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Esse cenário demonstra que qualquer evento não planejado na *offset* afeta de forma imediata toda a operação, confirmando a necessidade de reestruturação do sequenciamento e de uma política clara de priorização.

4.4 Modelo Conceitual de Solução Proposta (*TO-BE*)

A partir do diagnóstico realizado e da identificação da impressora *offset* como recurso restritivo, estruturou-se um modelo conceitual integrado de melhoria fundamentado em três pilares: Planejamento e Controle da Produção (PCP), Teoria das Restrições (*TOC*) e *Kanban*. Esse modelo busca reduzir a variabilidade, estabilizar o fluxo e sincronizar as etapas produtivas, criando um sistema de programação mais robusto, previsível e aderente à capacidade real do processo. O modelo proposto é composto por quatro elementos principais, apresentados a seguir.

4.4.1 Regras de priorização baseadas em EDD (Earliest Due Date)

Foi definida a utilização da regra *EDD*, priorizando as ordens com prazos mais próximos, porque ela aumenta o *OTIF* ao garantir que os pedidos críticos sejam executados primeiro, reduz o *Tardiness* ao evitar atrasos acumulados e minimiza interferências improvisadas, as *hot lists*, que normalmente são responsáveis por reprogramações caóticas no PCP.

No contexto da gráfica estudada, onde as datas dos sorteios são fixas e inadiáveis, o *EDD* se mostra a regra mais adequada para reduzir riscos operacionais e atrasos.

4.4.2 Estruturação das Zonas *Slushy*, *Frozen* e *Free* (*TOC*)

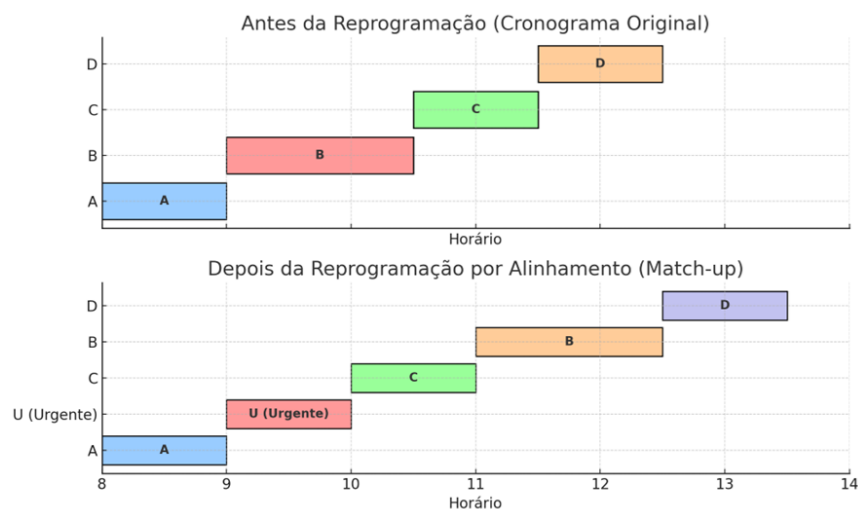
Com base nos princípios da *TOC*, o horizonte de programação foi dividido em três zonas:

- Zona *Frozen* (2–3 horas): período de execução que não pode ser alterado.
- Zona *Slushy* (4–8 horas): janela parcialmente flexível, permitindo ajustes limitados.
- Zona *Free* (demais horas do turno): período de planejamento livre, onde novas ordens podem ser reorganizadas.

Essa estrutura fornece flexibilidade controlada, assegurando que eventos inesperados não comprometam toda a programação diária. A zona *Slushy*, em especial, permite encaixar pedidos urgentes sem romper o fluxo geral.

As ordens de serviço envolvidas no sequenciamento foram: Amazonas Cap (já em produção), Proeste Cap, Amapá Cap, Mega Cap e o pedido urgente Aracaju Cap, inserido de última hora devido à proximidade do sorteio. A aplicação prática das zonas de decisão da *TOC* ficou evidente nesse contexto. Amazonas Cap, que já estava em processamento e necessitava de aproximadamente três horas para ser concluído, encontrava-se na *Zona Frozen*, onde nenhuma alteração é permitida e o recurso restritivo não pode ser interrompido para um novo setup. Em seguida, Proeste Cap situava-se na *Zona Slushy*, uma janela parcialmente flexível que permite ajustes controlados; foi exatamente nessa lacuna que o pedido urgente Aracaju Cap pôde ser inserido sem comprometer a estabilidade do fluxo. Já Amapá Cap e Mega Cap estavam na *Zona Free*, onde o planejamento é totalmente livre e as ordens podem ser reorganizadas conforme necessário, como demonstrado na Figura 1. O resultado foi exemplar: a urgência foi absorvida dentro da capacidade de ajuste do sistema, o gargalo manteve ritmo contínuo e todas as ordens foram concluídas dentro dos prazos estabelecidos. A prática demonstrou, de forma incontestável, a eficácia da *TOC* quando suas zonas de decisão são aplicadas corretamente, o sistema acomoda variabilidade sem perder produtividade nem gerar atrasos em cadeia.

Figura 1 - Reprogramação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

4.4.3 Proteção do gargalo (Impressão Offset)

A solução proposta inclui ações específicas de proteção ao gargalo, como a liberação de ordens apenas quando houver capacidade disponível na *offset*, a formação de *buffers* de tempo e material antes da restrição, o agrupamento de ordens com características semelhantes, como tipo de papel e cor, e a realização de manutenção preventiva programada entre lotes para evitar paradas inesperadas. Essas ações têm como objetivo garantir que a *offset* funcione continuamente, reduzindo o risco de paradas inesperadas e elevando o *throughput* real.

4.4.4 Sistema de controle visual por Kanban

Foi desenvolvido um *Kanban* híbrido, combinando quadro físico e plataforma digital, para sincronizar as etapas produtivas. O *Kanban* físico foi implantado diretamente nos setores de pré-impressão, *offset*, laser e acabamento, enquanto o *Kanban* digital permite que a gerência acompanhe e ajuste a produção em tempo real, facilitando a definição de prioridades e garantindo organização do fluxo. O sistema utiliza colunas de Aguardando, Em Produção e Finalizado, além de cores indicativas (verde, amarelo, vermelho e azul) para sinalizar status, criticidade e necessidades de intervenção.

O *Kanban* foi incluído porque torna visível o acúmulo de trabalho e permite intervenções rápidas, sincroniza setores que antes operavam com baixa comunicação, reduz retrabalhos decorrentes de ordens que avançavam sem capacidade disponível e facilita a realização de reuniões rápidas diárias para alinhamento operacional.

4.4.5 Integração dos elementos do modelo

A Tabela 4 mostra como se deve organizar a solução:

Tabela 4 - Elementos do modelo

Componente	Papel no modelo	Problema resolvido
Regra EDD	Priorização racional	Hot lists, atrasos, OTIF baixo
Zonas Frozen/Slushy/Free	Flexibilidade controlada	Reprogramações caóticas
Proteção do gargalo	Estabilizar throughput	Variabilidade e interrupções
Kanban híbrido	Sincronizar etapas	Falhas de comunicação e WIP alto

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Esse modelo conceitual representa o *TO-BE* do fluxo produtivo, servindo como base para a simulação apresentada na próxima seção.

4.5 Cenário simulado com a solução proposta

Para avaliar o potencial de melhoria da proposta metodológica, baseada em PCP, *TOC* e *Kanban*, elaborou-se uma simulação dos indicadores esperados após a aplicação do modelo. Essa simulação não consiste em implantação prática, mas em projeção fundamentada nos dados reais do processo e nos princípios da literatura. As melhorias esperadas decorrem da reorganização das prioridades pela regra *EDD*, da adoção das zonas *Frozen*, *Slushy* e *Free* para reduzir reprogramações caóticas, da proteção ativa do gargalo, da diminuição da variabilidade dos setups por meio do agrupamento de trabalhos, da sincronização entre setores via *Kanban* e da consequente redução de *WIP* e eliminação das *hot lists*. A Tabela 5 apresenta a comparação entre a situação atual e a situação proposta.

Tabela 5 - Comparativo entre Cenário Atual e Cenário Proposto (Simulação)

Indicador	Situação Atual	Situação Proposta (Simulação)	Variação Esperada	Justificativa
Lead Time médio	~2h (alta variabilidade)	~1h30	↓ 20%–30%	Redução de filas e sincronização entre etapas
Throughput offset	36.363 un/h	40.000 un/h	↑ 10%	Menos interrupções e setups mais agrupados
Setup médio	31 min	25–27 min	↓ 15%–20%	Agrupamento de trabalhos semelhantes
WIP médio	0,74 ordens	0,5	↓ 30%	Controle visual limita acúmulo pré-offset
OTIF	95,24%	100%	↑ 5 p.p.	Priorização EDD e eliminação de atrasos
Tardiness	23h35min	0h	Eliminado	Estabilidade do cronograma e proteção da restrição

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

A simulação indica que a proposta metodológica tem potencial de reduzir variabilidade, aumentar previsibilidade, eliminar atrasos e melhorar substancialmente os indicadores operacionais.

4.6 Resultados esperados da aplicação da solução

Com base na análise realizada e na simulação comparativa, os principais resultados esperados são:

1. Redução de atrasos e eliminação de *hot lists*: A estruturação das zonas *Frozen/Slushy/Free* possibilita flexibilidade controlada, evitando reprogramações que desestabilizam o fluxo.

2. Maior previsibilidade do gargalo: A proteção da *offset* reduz variações no *throughput* e evita interrupções sequenciais.

3. Melhoria do *OTIF* e do atendimento ao cliente: A priorização por EDD garante que ordens críticas sejam executadas dentro do prazo.

4. Redução do *Lead Time*: O controle visual *Kanban* diminui acúmulos, esperas e retrabalhos.

5. Redução do *WIP*: O fluxo puxado evita que ordens avancem sem capacidade disponível.

6. Aumento da estabilidade operacional: A reorganização do sequenciamento e a padronização entre setores reduzem retrabalhos e diminuem as intervenções emergenciais.

Esses resultados consolidam um modelo de operação mais estável, previsível e alinhado à capacidade real do sistema.

5. Conclusão

Este estudo analisou o fluxo produtivo de uma indústria gráfica especializada em cartelas A5, com o objetivo de identificar sua restrição operacional e propor uma solução de melhoria baseada em técnicas de Planejamento e Controle da Produção (PCP), Teoria das Restrições (TOC) e *Kanban*. O diagnóstico realizado por meio de observação direta, levantamento de indicadores e modelagem do processo em *BPMN* permitiu compreender o comportamento do sistema em diferentes cenários e confirmou que a impressora *offset* atua como o gargalo da operação.

A análise evidenciou que, embora a produção se mantenha estável quando a *offset* opera sem interrupções, o sistema apresenta forte sensibilidade a qualquer variação em sua disponibilidade. O episódio crítico registrado durante o acompanhamento demonstrou que uma única parada imprevista foi suficiente para deslocar a programação em quase um dia, aumentar o *WIP* e comprometer diretamente o *OTIF*. Esse comportamento reforça a importância de proteger a restrição para garantir previsibilidade e estabilidade no fluxo produtivo.

Conclui-se Com base nesses achados, foi desenvolvido um modelo conceitual composto por três elementos integrados: priorização por *EDD*, definição das zonas *Frozen*, *Slushy* e *Free* e adoção de um sistema híbrido de *Kanban*. A simulação comparativa indicou que a aplicação conjunta dessas práticas tem potencial para reduzir atrasos, diminuir a variabilidade dos tempos de produção, estabilizar o gargalo e melhorar o cumprimento dos prazos.

Embora o modelo não tenha sido implantado na prática nesta etapa, os resultados esperados demonstram coerência entre diagnóstico, proposta e efeitos projetados, indicando que a solução é viável e adequada ao contexto da empresa estudada. Assim, o trabalho contribui ao oferecer um caminho estruturado para tornar o fluxo mais previsível, sincronizado e alinhado à capacidade real do sistema.

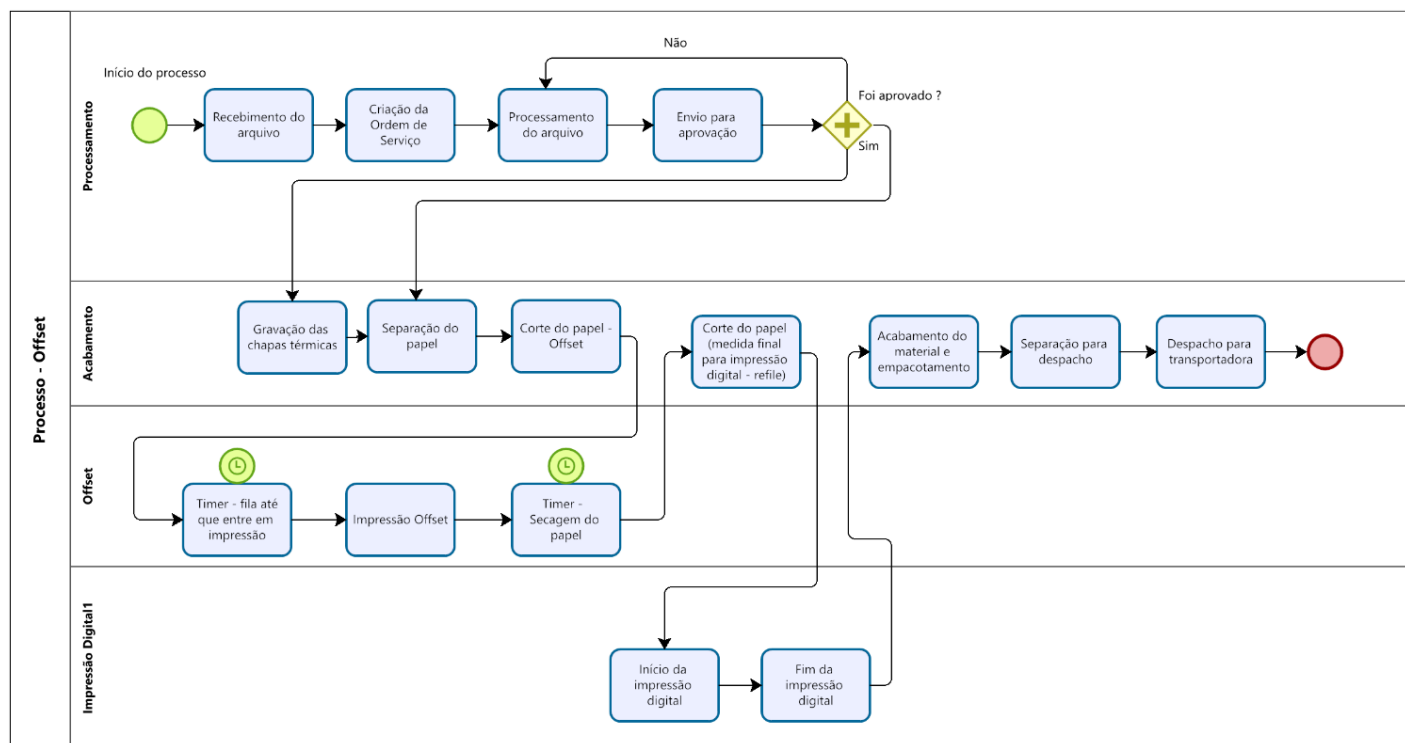
Recomenda-se que pesquisas futuras realizem a implementação completa do modelo proposto, com acompanhamento dos indicadores após a intervenção, além de aprofundar análises sobre custos, balanceamento de capacidade e impactos organizacionais da gestão visual. Dessa forma, será possível validar empiricamente os ganhos simulados e ampliar o entendimento sobre a aplicação integrada de PCP, TOC e *Kanban* no ambiente gráfico.

6. Referências bibliográficas

1. ABIGRAF NACIONAL - Indústria Gráfica Brasileira 2010. Disponível em: www.sigraf.org.br/files/arquivos/ABIGRAF.pdf
2. AZEVEDO, Tiago Sono Alves de. Planejamento da capacidade produtiva em uma indústria gráfica. 2004. Trabalho de Formatura (Graduação em Engenharia de Produção – Área Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
3. BUETTGEN, John Jackson. Planejamento e Controle da Produção. Indaial: Grupo UNIASSELVI, 2011.
4. CRUZ, Rogério Santos; MESQUITA, Marco Aurélio de. Um modelo de análise do planejamento e controle da produção para pequenas e médias empresas. Revista Produção Online, Florianópolis, 2018.
5. CSILLAG, J. M.; NETO, T. C. Utilização da teoria das restrições no ambiente de manufatura em empresas no Brasil. 2005. Relatório de pesquisa (Núcleo de Pesquisas e Publicações Relatório de Pesquisa) - EAESP/FGV/NPP, Rio de Janeiro, 2005.
6. FREIRES, Kevin Cristian Paulino; SILVA, Micael Campos da. A aplicação do Kanban na gestão de projetos de Engenharia de Produção: uma revisão bibliográfica sobre melhoria contínua e eficiência operacional. Revista Tópicos, 2025.
7. GOLDRATT, Eliyahu. A Meta: um processo de melhoria contínua. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1991.
8. MONTEIRO, João Pedro Braun; ALMEIDA, Laryssa da Silva. Aplicação de Kanban para gestão de tarefas em microempresa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, Foz do Iguaçu. 2021
9. MORAIS, T. T.; OLIVEIRA, S. Análise das atividades de PCP em uma indústria farmacêutica do Centro-Oeste mineiro. Conexão ci.: revista científica UNIFOR-MG, Formiga, 2015.
10. PEDROSA, Eduardo Weyne. Gestão da produção através da utilização do Kanban. Centro Universitário de Brasília (UnICEUB), Faculdade de Tecnologia e e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS, Brasília, 2010
11. SABBADINI, Francisco S.; GONÇALVES, Antônio A.; OLIVEIRA, Mário J. F. de. A aplicação da teoria das restrições (TOC) e da simulação na gestão da capacidade de atendimento em hospital de emergência. Revista Produção Online, Florianópolis, 2006.
12. TORRES, Fábio Gonçalves; COSTA, Helder Gomes. Teoria das restrições (TOC): caso de aplicação em uma empresa de confecção. Revista Gestão Industrial, Niterói, 2013.
13. ZATTAR, Izabel Cristina; RUDEK, Samuel; TURQUINO, Geizy Siélly. O uso do indicador OEE como ferramenta na tomada de decisões em uma indústria gráfica – um caso prático. International Journal of Industrial Engineering (IJIE), Florianópolis, 2010.

Apêndice 01

Figura 1 – BPMN



Apêndice 04

Figura 4 – Comparativo entre Cenário Real e Cenário Ideal

CENÁRIO REAL					Prazo Máximo de Entrega do material	Prazo Real de Entrega do material
	Ordem de Serviço	Cliente	Modelo	Quantidade		
	OS-59070	RORAI CAP	3 POR A4	30.000	05/11/2025	06/11/2025
	Chegada do arquivo	Separação do papel	Hora da aprovação	Gravação das chapas	Produção offset	Secagem do papel
Data	04/11/2025	04/11/2025	04/11/2025	04/11/2025	04/11/2025	05/11/2025
Início	19:00	19:05	-	19:30	22:12	15:20
Fim	-	19:15	-	19:50	15:20:00(+1) MÁQUINA QUEBROU	16:20
	Serrilha	Refile (Guilhotina)	Impressão Laser	Acabamento	Inspeção para despacho	Despacho
	05/11/2025	05/11/2025	05/11/2025	05/11/2025	06/11/2025	06/11/2025
	16:20	17:30	18:00	19:20	07:00	09:20
	17:00	18:00	19:20	20:00	07:20	09:45
CENÁRIO IDEAL					Prazo de Entrega Máximo do material	Prazo Real de Entrega do material
	Ordem de Serviço	Cliente	Modelo	Quantidade		
	OS-59070	RORAI CAP	3 POR A4	30.000	05/11/2025	05/11/2025
	Chegada do arquivo	Separação do papel	Hora da aprovação	Gravação das chapas	Produção offset	Secagem do papel
Data	04/11/2025	04/11/2025	04/11/2025	04/11/2025	04/11/2025	05/11/2025
Início	19:00	19:05	-	19:30	22:12	05:20
Fim	-	19:15	-	19:50	22:52	06:00
	Serrilha	Refile (Guilhotina)	Impressão Laser	Acabamento	Inspeção para despacho	Despacho
	05/11/2025	05/11/2025	05/11/2025	05/11/2025	06/11/2025	06/11/2025
	06:00	06:40	07:10	08:30	09:20	09:40
	06:40	07:10	08:30	09:20	09:40	10:05

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante Luiz Alberto Barros Martins Neto do Curso de Engenharia de Produção matrícula 2023.1.0037.0024-2, telefone: (62)98160-7355, e-mail luiz0701alberto@gmail.com na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO EM INDÚSTRIA GRÁFICA POR MEIO DE FERRAMENTAS DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 09 de dezembro de 2025.

Assinatura do autor:

Documento assinado digitalmente
gov.br LUIZ ALBERTO BARROS MARTINS NETO
Data: 09/12/2025 15:28:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nome completo do autor: LUIZ ALBERTO BARROS MARTINS NETO

Assinatura do professor-orientador:

Documento assinado digitalmente
gov.br PRISCILLA BORGES DE FREITAS RODRIGUES
Data: 09/12/2025 15:34:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nome completo do professor-orientador: PRISCILLA BORGES DE FREITAS RODRIGUES