



**SECRETARIA DE SEGURANÇA PÚBLICA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS – UEG
COORDENADORIA DE ENSINO
COORDENAÇÃO DE ENSINO PRESENCIAL E DE PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA PÚBLICA**

Renato Martins Costa

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE FLUXO DE
TRABALHO EM PIPELINE PARA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS NO
LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA FORENSE DA SPTC/GO**

GOIÂNIA-GO

2025



RENATO MARTINS COSTA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE FLUXO DE TRABALHO EM
PIPELINE PARA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS NO LABORATÓRIO DE
INFORMÁTICA FORENSE DA SPTC/GO**

Artigo científico apresentado como exigência para conclusão do Curso Especialização em Gerenciamento de Segurança Pública (CEGESP) pela Secretaria de Segurança Pública de Goiás e a Universidade do Estado de Goiás, sob a orientação do Prof. Me. Rogério Fernandes Rocha.

GOIÂNIA-GO
2025



ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE FLUXO DE TRABALHO EM PIPELINE PARA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS NO LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA FORENSE DA SPTC/GO

FEASIBILITY ANALYSIS OF IMPLEMENTING A WORKFLOW PIPELINE FOR PROCESS OPTIMIZATION IN THE FORENSIC IT LABORATORY OF SPTC/GO

Renato Martins Costa
Rogério Fernandes Rocha

Resumo: O presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade de implantação de um fluxo de trabalho em pipeline no Laboratório de Informática Forense da Superintendência de Polícia Técnico Científica de Goiás (SPTC/GO), visando otimizar os processos e aumentar a eficiência na produção de laudos periciais. A proposta de trabalho em pipeline divide o processo pericial em etapas especializadas, como preparação dos objetos, extração de dados, processamento e gravação de mídias, permitindo a execução concorrente de múltiplas perícias e a redução do tempo ocioso de equipamentos e peritos. A metodologia adotada tratou-se da criação de uma simulação computacional que comparou a produtividade alcançada caso a metodologia de trabalho proposta seja adotada do laboratório vs a metodologia de trabalho atual. Os resultados apontam para um aumento significativo na capacidade de atendimento do laboratório, sem a necessidade de investimentos adicionais em infraestrutura ou pessoal. A relevância deste estudo reside na possibilidade de modernizar os processos de informática forense, contribuindo para a eficiência do sistema de justiça e a segurança pública.

PALAVRAS-CHAVE: Informática Forense; Pipeline; Otimização de Processos; Produtividade; Laboratório de Informática Forense.

Abstract: This study aimed to analyze the feasibility of implementing a workflow pipeline in the Forensic IT Laboratory of the Polícia Técnico Científica de Goiás (SPTC/GO), with the goal of optimizing processes and increasing efficiency in the production of forensic reports. The proposed pipeline workflow divides the forensic process into specialized stages—such as object preparation, data extraction, processing, and media recording—allowing concurrent execution of multiple analyses and reducing idle time of equipment and experts. The adopted methodology involved the creation of a computer simulation comparing the productivity achieved using the proposed workflow against the current methodology employed in the laboratory. The results indicate a significant increase in the laboratory's service capacity without the need for additional investments in infrastructure or personnel. The relevance of this study lies in its potential to modernize forensic IT processes, contributing to the efficiency of the justice system and public safety.

KEYWORDS: Forensic Computing; Pipeline; Process Optimization; Productivity; Forensic IT Laboratory.



1. INTRODUÇÃO

O trabalho pericial é de suma importância para o processo criminal e indispensável segundo consta no capítulo II do Código de Processo Penal em seus artigos 158 e 184 o qual diz que sempre que um crime deixar vestígios, é obrigatória a realização do exame de corpo de delito não podendo ser substituído pela confissão do réu. Além disso, o art. 159 diz que o exame de corpo de delito e outras perícias devem ser conduzidos por peritos oficiais com diploma de nível superior.

A perícia criminal no Brasil é exercida por peritos concursados que compõem os institutos de criminalística nas polícias civis ou polícia científicas. Em Goiás, o órgão responsável pelas perícias criminais é a Superintendência de Polícia Técnico-Científica (SPTC-GO), subordinada à Secretaria de Estado da Segurança Pública (Goiás, 2024).

A SPTC-GO é estruturada em núcleos regionais e o Instituto de Criminalística Leonardo Rodrigues que fica na capital do estado de Goiás (Goiás, 2023). Este por sua vez tem dentro de sua estrutura o Departamento de Perícias em Locais de Crime – DPLC e o Departamento de Perícias Criminais Laboratoriais - DPCL. O DPCL é dividido em laboratórios especializados que tem dentre eles o Laboratório de Informática Forense – LINF o qual é responsável por perícias em dispositivos digitais tais como computadores, notebooks, celulares e *tablets*. Cada laboratório tem seu fluxo de trabalho e um escopo diferente. No caso da informática forense existe um tipo de perícia na qual o que é requisitado é apenas extração e processamento de dados o que demanda pouca análise por parte do perito criminal (BRASIL, 2024). Esse tipo de trabalho pela sua natureza pode ser dividido em etapas que podem ser executadas de forma independente e paralela na medida da disponibilidade dos recursos e ferramentas do laboratório. Em relação a este tipo de perícia em específico torna-se interessante o estudo de métodos de trabalho mais ágeis que possam vir a melhorar a produtividade do laboratório.

A informática forense tem se consolidado como uma área essencial para a investigação de crimes digitais, desempenhando um papel crucial na coleta, preservação, análise e apresentação de evidências digitais. O número de dispositivos eletrônicos utilizados pelos brasileiros tem crescido enormemente nos últimos tempos. Segundo pesquisa do FGVcia, são 464 milhões de dispositivos digitais em uso no Brasil (MEIRELLES 2024). Em consequência a demanda por perícias em informática forense no Laboratório de Informática Forense (LINF) tem crescido na mesma proporção. Esses dispositivos, cada vez mais



presentes no cotidiano, têm se tornado fontes essenciais de evidências em investigações criminais, o que amplia a necessidade de análises forenses especializadas.

Com o aumento exponencial do volume de dados e da complexidade dos casos, os laboratórios de informática forense enfrentam desafios significativos para manter a eficiência e a qualidade dos processos. Atualmente, a perícia de informática forense no Laboratório de Informática Forense (LINF) do estado de Goiás é realizada de forma individual, onde cada perito é responsável por todo o processo de uma perícia, desde o início até a conclusão. Esse modelo, embora funcional, pode resultar em gargalos operacionais, especialmente quando há um grande volume de demandas ou a necessidade de especialização em etapas específicas do processo.

Nesse contexto, propõe-se a adoção de um modelo de trabalho em pipeline, no qual a perícia é dividida em etapas bem definidas, cada uma com início e fim próprios. Dessa forma, os peritos poderiam atuar em qualquer etapa do pipeline, permitindo que múltiplas perícias sejam processadas de forma concorrente, em vez de sequencial. Essa abordagem possibilitaria que um perito participe de várias perícias simultaneamente, contribuindo para diferentes etapas conforme sua expertise e disponibilidade. Além disso, o trabalho em pipeline pode fazer uso da especialização das equipes em fases específicas do processo, como aquisição de dados, análise forense, geração de relatórios e revisão técnica, o que pode aumentar a eficiência e a qualidade dos resultados, considerando eficiência como o menor consumo de recursos para maior produção de resultados. No caso deste estudo, maior resultado é maior número de laudos produzidos pelo laboratório.

Este trabalho tem como objetivo principal estudar a viabilidade da implantação do trabalho em pipeline no LINF, analisando os benefícios, os desafios e os impactos operacionais dessa abordagem. A depender dos resultados, poderá ser utilizado como parâmetro para criação de POPs (Procedimento Operacional Padrão) e outros documentos relacionados a padronização do serviço prestado pelo laboratório.

A relevância deste estudo reside na possibilidade de contribuir para a modernização dos processos forenses, oferecendo direcionamentos sobre como a estruturação em pipeline pode aumentar a eficiência sem comprometer a integridade das evidências. Além disso, a implementação desse modelo poderia trazer benefícios significativos, como a redução de tempo de processamento das perícias, a otimização do uso dos recursos humanos e técnicos disponíveis, e a melhoria na qualidade dos laudos produzidos. A análise detalhada dos impactos operacionais e dos desafios enfrentados na transição para o modelo de pipeline será



fundamental para garantir que a adoção dessa abordagem seja feita de forma eficaz e sustentável, contribuindo para a melhoria contínua dos serviços prestados pelo LINF.

O presente trabalho tem como objetivo geral propor um método de trabalho em pipeline para otimizar o uso dos recursos humanos e tecnológicos no Laboratório de Informática Forense (LINF) da SPTC/GO, visando aumentar a eficiência no atendimento às requisições de perícias. E como objetivos específicos analisar o modelo de trabalho atual do LINF, identificando suas principais limitações e ineficiências, simular de forma computacional o laboratório em funcionamento já com a nova metodologia aplicada e analisar os resultados e, por fim, analisar os resultados obtidos e comparar com a produtividade estimada no novo método com a produtividade do método atual.

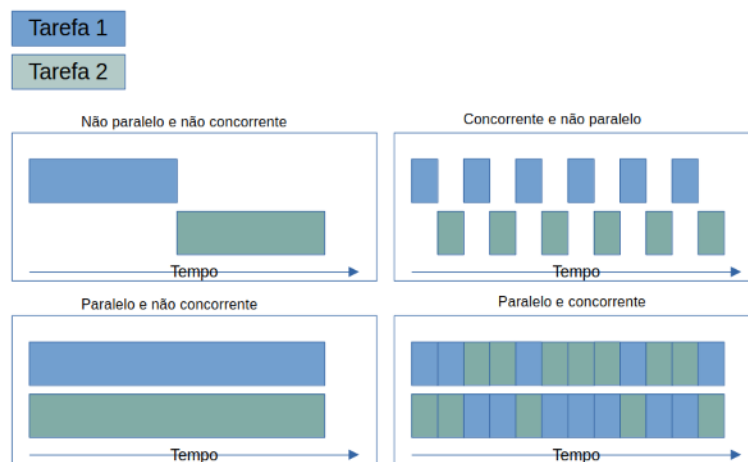
2. REVISÃO DA LITERATURA

Os referenciais teóricos deste projeto baseiam-se nas teorias da computação relacionadas à execução concorrente e paralela de tarefas, bem como nas abordagens clássicas de organização de processos produtivos, como o Fordismo e o Toyotismo. O projeto propõe a decomposição de tarefas complexas em etapas menores e especializadas, conforme discutido por Sharma et al. (2023), mas com uma adaptação: a transposição dos princípios de funcionamento de sistemas computacionais para a metodologia de trabalho de um laboratório de informática forense.

2.1. Paralelismo e Concorrência

Paralelismo refere-se a vários executores (*workers*) realizando tarefas simultaneamente, enquanto concorrência diz respeito a um ou mais executores (*workers*) lidando com múltiplas tarefas ao mesmo tempo, alternando entre elas. À primeira vista, esses conceitos podem parecer sinônimos, porém, na prática, são diferentes e podem ocorrer juntos ou separadamente. Um trabalho pode ser executado sem paralelismo nem concorrência; de forma concorrente, mas não paralela; de forma paralela, mas não concorrente; de maneira paralela e concorrente. A figura a seguir ilustra esses diferentes cenários, considerando a execução de um trabalho composto por duas tarefas realizadas por dois executores. Mais detalhes podem ser encontrados em Pike (2015).

Figura 1 – Trabalho paralelo vs concorrente



Fonte: Elaborado pelos autores

2.2. Pipeline

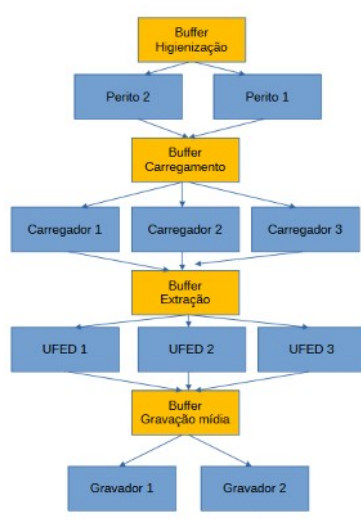
O conceito de pipeline refere-se à divisão do processo de produção em etapas sequenciais, criando uma linha de produção que permite a especialização e a eficiência. Esse conceito foi inicialmente discutido por Smith (1776) em sua obra sobre a divisão do trabalho e posteriormente expandido por autores como Antonio D'Agostini (2001), que explorou sua aplicação em contextos industriais modernos.

Um fator crucial no estudo de processos de produção em pipeline é a identificação e gestão de gargalos. Gargalos são etapas no pipeline que operam em um ritmo mais lento do que as demais, tornando-se o fator limitante para a eficiência do processo como um todo. Por exemplo, em uma linha de montagem de automóveis, se uma estação de pintura demora mais do que as outras, ela pode retardar toda a produção, independentemente da velocidade das estações subsequentes.

Diversos estudos na área de engenharia de produção abordam a identificação e gestão de gargalos em linhas de produção. Um exemplo notável é o trabalho de Chiang, Kuo e Meerkov (2000), que propõe um método para identificar gargalos de tempo de inatividade (DT-BN) em linhas seriais, destacando a importância de minimizar paradas não planejadas. Outro estudo relevante é o de Li (2004), que explora a complexidade de analisar sistemas com múltiplas linhas de produção paralelas, onde cada linha pode conter várias máquinas e *buffers*.

Para que o processo de produção em pipeline funcione é necessário que cada etapa do processo seja possível de ser executada de forma independente. Apesar de cada etapa ser sequencia de outra etapa é preciso que as saídas de uma etapa fiquem disponíveis para alimentar a etapa seguinte. Para isso é preciso organizar o ambiente de trabalho alocando prateleiras, caixas, etc na finalidade de armazenar objetos aguardando início de processamento na etapa pendente. Tais locais são chamados de *buffers*. Um *buffer*, ou estoque intermediário, é um espaço de armazenamento temporário localizado entre duas máquinas ou estações de trabalho. Ele serve para armazenar peças ou produtos semiacabados que aguardam o próximo estágio do processo de produção. Além de garantir a continuidade do fluxo de trabalho. A Figura 2 mostra de forma visual um exemplo de pipeline que poderia ser utilizado no processo de extração de dados de celulares.

Figura 2 – Exemplo de fluxo do pipeline



Fonte: Elaborado pelos autores

Como se pode ver na figura cada etapa do pipeline possui um *buffer* associado a ela e quando a execução dos processos daquela etapa é finalizada o objeto é movido para o *buffer* da próxima etapa, desde que haja vaga naquele *buffer*, e lá fica aguardando liberação de um equipamento disponível. Assim que um equipamento é liberado um novo objeto que estava no *buffer* dele é puxado para o equipamento e assim cada objeto segue passando de etapa em etapa até chegar no final do processo.



2.3. Lean Manufacturing E Kanban

O Lean Manufacturing, desenvolvido pela Toyota, é uma abordagem de gestão que busca eliminar desperdícios e aumentar a eficiência dos processos produtivos. Uma das ferramentas-chave do Lean é o Kanban, um sistema visual de gestão de tarefas que permite monitorar o fluxo de trabalho em tempo real. Segundo Ohno (1988), o Kanban foi criado para garantir que cada etapa do processo receba apenas os recursos necessários, evitando excessos e gargalos.

No contexto do LINF, o Kanban pode ser integrado ao modelo de pipeline para criar um fluxo de trabalho mais eficiente. Por exemplo, um quadro Kanban pode ser utilizado para visualizar o status de cada perícia em tempo real, permitindo que os peritos identifiquem rapidamente quais tarefas estão pendentes e quais recursos estão disponíveis. Isso pode ajudar a reduzir o tempo de espera entre as etapas e garantir que os equipamentos estejam sempre em uso.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo consistiu na construção de um simulador, com o objetivo de analisar a viabilidade da implantação de um fluxo de trabalho em pipeline. A abordagem foi quantitativa e descritiva, baseada em simulação computacional para estimar a produtividade que seria alcançada com a implantação do método pipeline para comparar com a produtividade no método de trabalho atual.

Para facilitar a distinção entre os métodos de trabalho analisados, adotou-se a seguinte nomenclatura: Método Individual (para o modelo atual) e Método Pipeline (para a proposta em pipeline), conforme detalhado no quadro abaixo.

Quadro 1 – Métodos de trabalho

Método Individual	Trata-se do método de trabalho atual do LINF que é o trabalho individual no qual cada perito fica responsável por algumas perícias e atua em todas as etapas do trabalho pericial do começo ao fim.
Método Pipeline	Trata-se do método de trabalho em pipeline no qual o qual cada perícia é fragmentada em tarefas específicas e cada perito atua em mais de uma perícia de forma concorrente dando prosseguimento ao processamento de evidências. Sendo este método um trabalho de equipe em vez de individual.

Fonte: Elaborado pelos autores



3.1. Criação da planilha de dados

A primeira etapa consistiu na elaboração de uma planilha com os dados necessários para a simulação computacional. Tal planilha contém os seguintes dados:

- Estatística no número de objetos que chegam em cada perícia
- Estatística do tipo de objetos que chegam
- Estatística dos resultados que são normalmente obtidos em cada exame
- Lista de tarefas necessárias em cada tipo de exame do laboratório
- Número de recursos existentes no laboratório
- Lista de recursos necessários em cada etapa do exame

A escolha de uma planilha foi para permitir simular diferentes cenários de demandas, número de equipamentos para estimar a produtividade do laboratório naquele cenário.

3.2. Implementação do simulador

Foi escrito um programa na linguagem Python o qual foi utilizado para simular o laboratório em funcionamento trabalhando nos cenários hipotéticos de teste. A Figura 3 apresenta a interface gráfica do simulador, que mostra em tempo real diversos aspectos do processo. A tabela “Equipamentos” exibe a quantidade de objetos sendo processados em cada grupo de máquinas, enquanto indicadores numéricos atualizados dinamicamente informam: o número de perícias em execução no laboratório, a quantidade de objetos já finalizados e o total de casos concluídos. A interface também inclui um relógio que avança conforme o tempo simulado, permitindo acompanhar a progressão temporal do experimento, além de uma barra de progresso que visualmente representa o percentual já completado da simulação.

Figura 3 – Tela do simulador

The screenshot shows a window titled "Pipeline simulator" with a table of equipment and progress indicators.

Equipamento	Capacidade	Quantidade	Executando
1 Higienização	42	2	2
2 Carregamento	45	5	0
3 Extração	47	7	2
4 Processamento	45	5	2
5 Gravação de ...	43	3	3

Perícias em andamento: 24
Objetos finalizados: 28
Casos finalizados: 12
Tempo: 05/01/2024 06:30
Progress bar: 1%

Fonte: Elaborado pelos autores

O simulador foi executado considerando 6 cenários diferentes, conforme Quadro 2, para o período de um ano de trabalho do laboratório.

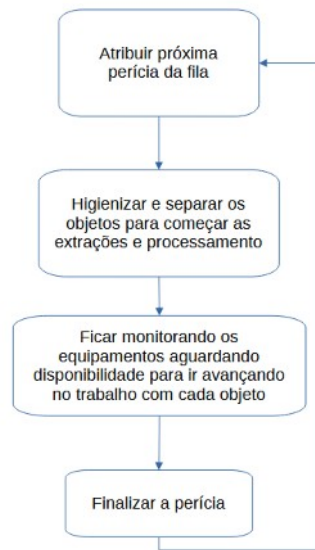
Quadro 2 – Cenários de simulação

	Método	Horário de trabalho	Perícias por perito
Cenário 1	Individual	Expediente	1
Cenário 2	Individual	Expediente	4
Cenário 3	Individual	Plantão	1
Cenário 4	Individual	Plantão	4
Cenário 5	Pipeline	Expediente	-
Cenário 6	Pipeline	Plantão	-

Fonte: Elaborado pelos autores

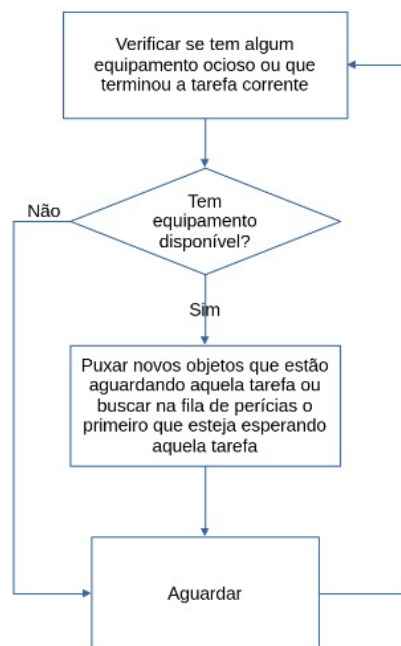
O simulador implementa o método de trabalho dos peritos sendo que quando do método individual o perito segue o fluxo exposto na Figura 4 e quando trabalhando no método pipeline o exposto na Figura 5.

Figura 4 – Procedimento do perito no método individual



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 5 – Procedimento do perito no método pipeline



Fonte: Elaborado pelos autores

O simulador utiliza como entrada um arquivo xlsx contendo várias planilhas cujo conteúdo está exemplificado nos quadros 3, 4, 5 e 6.



Quadro 3 – Estatística hipotética de quantidade de objetos por perícia

Quantidade de objetos	Quantidade
1	1500
2	800
3	500
4	250
5	150
6	80
7	40
8	20
9	10
10	2

Fonte: Elaborado pelos autores

Quadro 4 – Estatística hipotética dos tipos de objetos

Tipo de objeto	Quantidade
Computador	20
Celular	200

Fonte: Elaborado pelos autores

Quadro 5 – Estatística hipotética de subtipo de objetos

Objeto	Subtipo	Quantidade
Celular	Estragado	10
Celular	Bloqueado	12
Celular	Extração lógica	30
Celular	Extração de sistema de arquivos	20
Celular	Extração física	10
Computador	Até 500GB	200
Computador	Entre 500GB e 1TB	250
Computador	Entre 1TB e 2TB	100
Computador	Acima de 2TB	20

Fonte: Elaborado pelos autores

Quadro 6 – Tempos hipotéticos de execução de cada tarefa

Objeto	Subtipo	Etapa	Tempo (HH:MM)
Celular	Estragado	Higienização	00:30



Quadro 6 – Tempos hipotéticos de execução de cada tarefa

Objeto	Subtipo	Etapa	Tempo (HH:MM)
Celular	Estragado	Carregamento	02:00
Celular	Bloqueado	Higienização	00:30
Celular	Bloqueado	Carregamento	02:00
Celular	Bloqueado	Extração	02:00
Celular	Extração lógica	Higienização	00:30
Celular	Extração lógica	Carregamento	02:00
Celular	Extração lógica	Extração	02:00
Celular	Extração lógica	Processamento	03:00
Celular	Extração lógica	Gravação de mídia	04:00
Celular	Extração de sistema de arquivos	Higienização	04:00
Celular	Extração de sistema de arquivos	Carregamento	02:00
Celular	Extração de sistema de arquivos	Extração	03:00
Celular	Extração de sistema de arquivos	Processamento	03:00
Celular	Extração de sistema de arquivos	Gravação de mídia	03:00
Celular	Extração física	Higienização	00:30
Celular	Extração física	Carregamento	00:30
Celular	Extração física	Extração	04:00
Celular	Extração física	Processamento	03:00
Celular	Extração física	Gravação de mídia	04:00
Computador	Até 500GB	Higienização	00:30
Computador	Até 500GB	Extração	06:00
Computador	Até 500GB	Processamento	07:00
Computador	Até 500GB	Gravação de mídia	02:00
Computador	Entre 500GB e 1TB	Higienização	00:30
Computador	Entre 500GB e 1TB	Extração	04:00
Computador	Entre 500GB e 1TB	Processamento	08:00
Computador	Entre 500GB e 1TB	Gravação de mídia	02:00
Computador	Entre 1TB e 2TB	Higienização	00:30
Computador	Entre 1TB e 2TB	Extração	06:00
Computador	Entre 1TB e 2TB	Processamento	10:00
Computador	Entre 1TB e 2TB	Gravação de mídia	03:00
Computador	Acima de 2TB	Higienização	00:30
Computador	Acima de 2TB	Extração	06:00
Computador	Acima de 2TB	Processamento	12:00
Computador	Acima de 2TB	Gravação de mídia	03:00

Fonte: Elaborado pelos autores

O simulador utiliza um banco de dados PostgreSQL contendo uma lista de perícias geradas com base nas planilhas estatísticas. Esses dados são empregados para calcular a probabilidade de chegada de uma requisição de perícia ao laboratório, considerando a quantidade de objetos envolvidos. Em seguida, são determinadas as probabilidades de cada



objeto ser um computador ou celular, bem como a chance de o resultado do exame correspondente ser de um tipo específico. A geração da fila de perícias é realizada por meio de uma função aleatória que incorpora esses pesos probabilísticos durante a criação de cada item.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O quadro 7 e as figuras 4 e 5, apresentam os resultados obtidos nas simulações dos seis cenários avaliados. As perícias finalizadas representam o número total de perícias concluídas ao longo de um ano de operação do laboratório em cada cenário. Juntamente a esse dado, temos os objetos finalizados, que correspondem à quantidade total de objetos periciados no mesmo período. Vale ressaltar que esse número é sempre igual ou superior ao de perícias, uma vez que uma única perícia pode envolver múltiplos objetos, como ocorre em casos com diversas evidências interligadas.

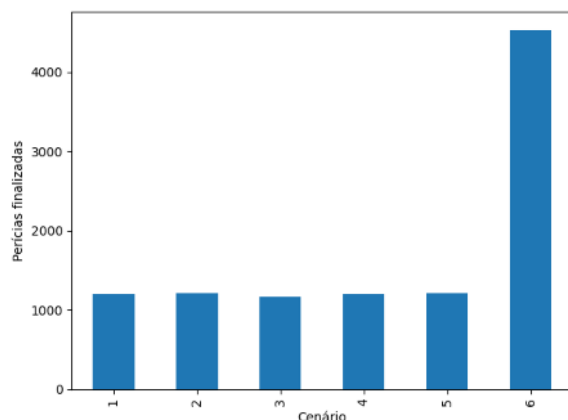
A execução do simulador nos seis cenários distintos gerou os dados quantitativos apresentados no Quadro 7, complementados pelas representações visuais da Figura 6 e da Figura 7. Esses recursos permitem uma análise comparativa do desempenho de cada configuração testada, destacando suas vantagens e limitações.

Quadro 7 – Resultados das simulações

	Perícias finalizadas	Objetos finalizados
Cenário 1	1206	2732
Cenário 2	1216	2776
Cenário 3	1160	2637
Cenário 4	1199	2739
Cenário 5	1212	2769
Cenário 6	4534	10018

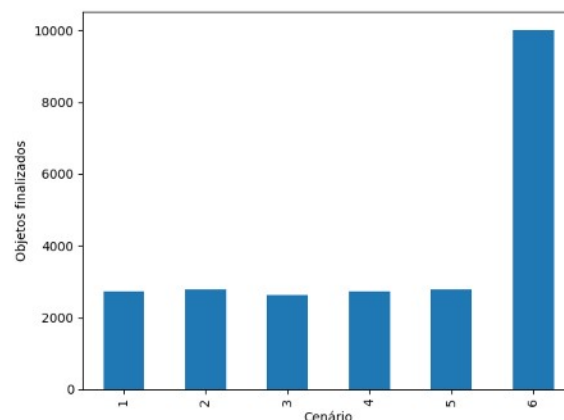
Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 6 – Perícias finalizadas no intervalo de um ano



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 7 – Objetos finalizados no intervalo de um ano



Fonte: Elaborado pelos autores

Como demonstrado pelos dados, os resultados do Cenário 6 superaram significativamente os dos demais cenários. Esse cenário considera o laboratório operando no método pipeline (fluxo contínuo de trabalho) e com peritos atuando em escalas de plantão, garantindo cobertura ininterrupta, 24 horas por dia, sete dias por semana. A superioridade desse modelo indica um potencial expressivo de ganho em produtividade, uma vez que a combinação entre o método pipeline e a disponibilidade permanente dos peritos otimiza o uso dos recursos e reduz tempos ociosos.

Embora a discrepância entre os cenários 5 e 6 possa sugerir, à primeira vista, que o fator determinante seja o horário estendido de trabalho (plantão), e não o método pipeline, essa interpretação é refutada ao analisar os cenários 3 e 4. Nesses cenários, o laboratório também funcionaria em regime de plantão, porém mantendo o método individual de trabalho onde cada perito conduz a perícia do início ao fim, sem divisão de etapas. Os resultados desses cenários não superaram sequer os obtidos nos modelos de expediente convencional (cenários 1 e 2), evidenciando que o horário ampliado por si só não é suficiente para elevar a produtividade.

A vantagem do método pipeline reside na distribuição eficiente das etapas do trabalho, onde as perícias são iniciadas conforme a disponibilidade dos equipamentos, e um perito assume a continuidade do trabalho do outro, evitando gargalos. Esse modelo reduz drasticamente os tempos de inatividade dos equipamentos e elimina esperas desnecessárias, já que uma tarefa não fica paralisada aguardando a conclusão de outra. Além disso, a



especialização por etapas permite maior fluidez, pois cada profissional atua em sua área de expertise, acelerando o processo como um todo.

Portanto, os resultados deste estudo indicam que a combinação do método pipeline com a escala de plantão pode ser a solução mais eficaz para maximizar a produtividade do laboratório. Enquanto o plantão garante a disponibilidade contínua de mão de obra, o pipeline assegura a otimização do fluxo de trabalho, resultando em um sistema mais dinâmico e com menor desperdício de tempo e recursos. A implementação desse modelo poderia trazer ganhos operacionais significativos, elevando a capacidade de produção sem necessariamente aumentar a estrutura física ou o número de peritos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nas simulações demonstraram que a implementação do método pipeline, particularmente em regime de plantão, pode aumentar significativamente a produtividade do Laboratório de Informática Forense, com um incremento superior a 270% no número de perícias finalizadas em comparação ao modelo atual. Esse resultado evidencia a viabilidade da adoção de um fluxo de trabalho em pipeline como alternativa mais eficiente ao método individual tradicional.

A principal vantagem do método pipeline está na otimização do processo como um todo, permitindo que múltiplas perícias sejam processadas simultaneamente e reduzindo significativamente os tempos ociosos de equipamentos e profissionais. Ao dividir o trabalho em etapas bem definidas, o laboratório pode aproveitar melhor sua capacidade instalada, aumentando sua produtividade sem a necessidade de investimentos adicionais em infraestrutura ou contratação de novos peritos.

Vale ressaltar, porém, que este estudo utilizou dados hipotéticos em suas simulações, o que representa uma limitação importante. A implementação prática do método pipeline poderá enfrentar desafios não previstos no modelo, como questões operacionais na transição entre etapas ou variações na complexidade dos casos. Por isso, recomenda-se que a adoção deste método seja feita de forma gradual, com monitoramento constante para identificar e corrigir possíveis gargalos.

O simulador desenvolvido (disponível em https://github.com/renatormc/linf_pipeline) se mostra uma ferramenta valiosa para auxiliar os gestores na avaliação de diferentes cenários e na tomada de decisões. Seu uso pode ser expandido para testar diversas configurações de



recursos e demandas, proporcionando uma base mais sólida para a implementação do novo método.

Este trabalho deixa caminho aberto para novas pesquisas que possam validar os resultados aqui obtidos mediante a utilização de dados reais coletados experimentalmente no laboratório. Estudos futuros poderão avaliar com maior precisão os ganhos de produtividade em condições reais de operação, bem como investigar possíveis ajustes necessários para otimizar ainda mais o fluxo de trabalho. A metodologia desenvolvida neste estudo oferece um ponto de partida consistente para essas investigações, que poderão contribuir significativamente para o aprimoramento contínuo dos processos de informática forense.

6. REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. Secretaria Nacional de Segurança Pública. **Procedimentos operacionais padrão: perícia criminal: informática forense**. Brasília: SENASP, 2024.

CHIANG, S.-Y.; KUO, C.-T.; MEERKOV, S. M. **DT-Bottlenecks in Serial Production Lines: Theory and Application**. IEEE Transactions on Robotics and Automation, v. 16, n. 5, out. 2000.

D'AGOSTINI, Antonio. **Fordismo e Toyotismo na Indústria Moderna**. São Paulo: Editora XYZ, 2001.

GOIÁS. Secretaria de Estado da Segurança Pública. **Portaria nº 106**, de 15 de junho de 2023. Goiânia, 2023.

GOIÁS. Superintendência de Polícia Técnico Científica de Goiás. **Manual de Requisição de Perícias**. Goiânia, GO: Secretaria de Segurança Pública. 2024

LI, Jingshan. **Modeling and Analysis of Manufacturing Systems With Parallel Lines**. IEEE Transactions on Automatic Control, v. 49, n. 10, out. 2004.

LIKER, Jeffrey K. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**. New York: McGraw-Hill, 2004.

MEIRELLES, Fernando S. **Pesquisa do Uso da TI - Tecnologia de Informação nas Empresas: Cenário Atual, Evolução e Tendências**. 35. ed. São Paulo: FGV EAESP, Centro de Tecnologia de Informação Aplicada (FGVcia), 2024.

MONDEN, Yasuhiro. **Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.



OHNO, Taiichi. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. Tradução de Norman Bodek. Cambridge: Productivity Press, 1988.

PIKE, Rob. **Concurrency is not Parallelism by Rob Pike**. Publicado por: gnbitcom. YouTube, 10 nov. 2015. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=oV9rvDIIKEg&ab_channel=gnbitcom. Acesso em: 28 fev. 2025.

SHARMA, Anush; ANIKET; SHARMA, Rishav; KUMAR, Raman. **Parallel Computing**. HIET Shahpur, Kangra: Department of Computer Science and Engineering, 2023.

SHINGO, Shigeo. **A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint**. Tradução de Andrew P. Dillon. Cambridge: Productivity Press, 1989.

SMITH, Adam. **A Riqueza das Nações**. 1. ed. Londres: W. Strahan and T. Cadell, 1776.

SUGIYAMA, T.; FUJIMOTO, T. **The Evolution of the Toyota Production System**. *International Journal of Production Research*, v. 38, n. 15, p. 3691-3704, 2000.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production**. New York: Harper Perennial, 1990.