Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

Dimensionamento de um pátio intermediário de madeira para reduzir custos de logística florestal: modelagem aplicada

Sizing an intermediate wood yard to reduce forest logistics costs: applied modeling

Dimensionamiento de un patio intermedio de madera para reducir los costos de logística forestal: modelización aplicada

Vitória Bianca Lima Dantas – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), vitoria_bianca@ufms.br
Fernando Jose Gomez Paredes – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), fernando.gomez@ufms.br

Resumo: No transporte de madeira para fábricas de celulose, os períodos chuvosos comprometem a trafegabilidade das estradas internas das fazendas e obrigam as empresas a cascalhar extensas malhas viárias para garantir o abastecimento. Este trabalho desenvolveu um modelo para dimensionar um pátio intermediário de madeira capaz de reduzir a necessidade de estoque nas fazendas durante a chuva e, com isso, os custos de cascalhamento. Trata-se de um estudo de caso em uma empresa do setor florestal de celulose da região leste de Mato Grosso do Sul, com modelagem em planilha a partir do planejamento de 2027. Foram calculados cenários de 30.000, 40.000, 50.000 e 60.000 m³ de capacidade, considerando estoque seguro, precipitação e custos de implantação e operação. O problema foi formulado com a economia líquida anual como função objetivo e o número de giros mensais fixado em dois como restrição. O pátio recomendado, de 60.000 m³, com cerca de 24.100 m² e três gruas, absorve 70% do estoque seguro anual de 1,7 milhão de m³ e reduz o custo anual de envio direto de R$ 32,8 milhões para R$ 25,4 milhões, ao evitar brita em parte das estradas internas. Com investimento de R$ 5,2 milhões, a economia líquida é de R$ 7,3 milhões por ano, com retorno em cerca de 8,5 meses. O número de gruas define o custo de cada porte de pátio. A análise de sensibilidade confirmou a viabilidade diante de variações de 20% nas principais variáveis e com a estimativa mais conservadora de produtividade das gruas.

Palavras-chave: Logística florestal. Pátio intermediário. Gestão de estoques. Estradas florestais. Modelagem de cenários.

Abstract: In wood transport to pulp mills, rainy periods impair the trafficability of internal farm roads and force companies to gravel extensive road networks to secure supply. This study aimed to develop a model for sizing an intermediate wood yard able to reduce the stock kept on farms during the rainy season and, consequently, graveling costs. It is a case study in a pulp forestry company in eastern Mato Grosso do Sul, Brazil, using spreadsheet modeling based on the 2027 supply plan. Scenarios of 30,000, 40,000, 50,000 and 60,000 m³ of capacity were evaluated, considering safety stock, rainfall, transport, and investment and operating costs. The problem was formulated with annual net savings as the objective function and the number of monthly turnovers fixed at two as a constraint. The recommended yard, with 60,000 m³, an area of about 24,100 m² and three log loaders, absorbs 70% of the annual safety stock of 1.7 million m³ and reduces the annual cost of direct shipment from BRL 32.8 million to BRL 25.4 million by avoiding the placement of crushed stone on part of the internal roads. With an investment of BRL 5.2 million, net savings reach BRL 7.3 million per year, with a payback of about 8.5 months. The study showed that the number of log loaders determines the cost of each yard size. The sensitivity analysis confirmed feasibility under 20% variations in the main variables and with the more conservative loader productivity estimate.

Keywords: Forest logistics. Intermediate wood yard. Inventory management. Forest roads. Scenario modeling.

Resumen: En el transporte de madera a las fábricas de celulosa, los períodos lluviosos comprometen la transitabilidad de los caminos internos de las fincas y obligan a las empresas a revestir con grava extensas redes viales para garantizar el suministro. Este trabajo desarrolló un modelo para dimensionar un patio intermedio de madera capaz de reducir la necesidad de

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

mantener existencias en las fincas durante las lluvias y, con ello, los costos de revestimiento con grava. Se trata de un estudio de caso en una empresa forestal de celulosa del este de Mato Grosso do Sul, con modelización en una hoja de cálculo a partir de la planificación de 2027. Se calcularon escenarios de capacidad de 30.000, 40.000, 50.000 y 60.000 m³, considerando las existencias de seguridad, la precipitación y los costos de implantación y operación. El problema se formuló con el ahorro neto anual como función objetivo y dos rotaciones mensuales como restricción. El patio recomendado, de 60.000 m³, con aproximadamente 24.100 m² y tres grúas, absorbe el 70% de las existencias de seguridad anuales de 1,7 millones de m³ y reduce el costo anual de envío directo de R$ 32,8 millones a R$ 25,4 millones, al evitar la colocación de piedra triturada en parte de los caminos internos. Con una inversión de R$ 5,2 millones, el ahorro neto es de R$ 7,3 millones anuales, con retorno en aproximadamente 8,5 meses. El número de grúas determina el costo de cada tamaño de patio. El análisis de sensibilidad confirmó la viabilidad ante variaciones del 20% en las principales variables y con la estimación más conservadora de productividad de las grúas.

Palabras clave: Logística forestal. Patio intermedio. Gestión de inventarios. Caminos forestales. Modelización de escenarios.

1. Introdução

O setor de florestas plantadas ocupa posição estratégica na economia brasileira, e Mato Grosso do Sul tornou-se o principal eixo de sua expansão. Segundo a Pesquisa da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) do IBGE, a área de silvicultura do estado passou de 1.459.944 ha em 2024 para 1.902.957 ha em 2025, um crescimento de 30,3%, dos quais 99,7% são cultivados com eucalipto (IBGE, 2026). Esse avanço está associado à instalação de grandes fábricas de celulose na região conhecida como Vale da Celulose, que demandam um fluxo contínuo e elevado de madeira.

Nesse contexto, a logística de abastecimento é decisiva para a competitividade das empresas. O transporte rodoviário predomina no setor e responde por parcela expressiva do custo da madeira posta na fábrica, que pode variar entre 38% e 66% do custo final de aquisição, conforme a distância percorrida (SEIXAS; WIDMER, 1993). Além do transporte em si, as empresas precisam garantir que a rede de estradas florestais suporte o tráfego de composições pesadas, como bitrens e tritrens, durante todo o ano.

As condições das estradas são um gargalo conhecido no estado. Já em 2017, quando a área de eucalipto de Mato Grosso do Sul ultrapassou um milhão de hectares, representantes do setor apontavam as estradas vicinais, ao lado da logística de transporte e da infraestrutura, como um dos principais fatores de aumento do custo de produção (HADDAD, 2017). O tema segue atual: em 2026, a Secretaria Nacional de Trânsito autorizou, em caráter de teste por um ano, a circulação de 41 hexatrens, composições de até 60 m de comprimento e 250 t de peso bruto, em trechos de rodovias estaduais não pavimentadas da região, o que evidencia a importância das estradas de terra para o escoamento da madeira (OLIVEIRA, 2026).

No setor florestal, a madeira percorre dois tipos de via até a fábrica: primeiro, os acessos externos e internos das fazendas, em geral estradas não pavimentadas; depois, as rodovias pavimentadas. As estradas de terra precisam de adequação e manutenção constantes,

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

com argilamento e aplicação de brita, para suportar o tráfego das composições pesadas, o que representa um custo elevado de infraestrutura para as empresas (LOPES; MACHADO; SOUZA, 2002; MACHADO, 2013). Nos períodos de chuva intensa, a trafegabilidade dessas estradas é comprometida, o que aumenta o risco de atolamento, dificulta a retirada da madeira e coloca em risco o reabastecimento das fábricas. Em Ribas do Rio Pardo, um dos municípios do Vale da Celulose, as chuvas do início de 2023 deixaram trechos de estradas vicinais intransitáveis, e a prefeitura relatou que o problema se repete a cada verão (MATOS, 2023). Como consequência, as empresas precisam preparar e manter uma extensão maior de estradas revestidas, o que eleva os custos de infraestrutura e de operação.

Uma alternativa para reduzir essa dependência é o uso de um pátio intermediário de madeira, que funciona como um centro de distribuição entre as áreas de colheita e a fábrica. Na logística empresarial, instalações intermediárias desse tipo são usadas para reduzir o custo total do sistema, ainda que acrescentem custos de armazenagem e manuseio (BALLOU, 2006). Nas janelas de boa trafegabilidade, a madeira seria retirada antecipadamente das fazendas e armazenada no pátio; no período chuvoso, a fábrica passaria a ser abastecida a partir desse estoque, por vias em melhores condições. Com isso, reduz-se o volume de madeira que precisa ser retirado das fazendas durante a chuva e, por consequência, a extensão de estradas internas que demandam cascalhamento. Este estudo trata apenas dos acessos internos, já que a redução do cascalhamento nos acessos externos poderia comprometer a passagem dos caminhões.

A literatura trata de forma separada os temas envolvidos nessa decisão: o dimensionamento e os custos de pátios e terminais intermediários (KONS; LA HERA; BERGSTRÖM, 2020; VÄÄTÄINEN et al., 2021), a logística de transporte e abastecimento de madeira (SEIXAS; WIDMER, 1993) e os efeitos da chuva sobre a trafegabilidade e os custos das estradas florestais (LOPES; MACHADO; SOUZA, 2002; ARRIVABENI, 2021). No entanto, são escassos os estudos que integram essas dimensões para avaliar o pátio intermediário como estratégia de redução da necessidade de cascalhamento dos acessos internos em períodos chuvosos, especialmente no contexto das florestas de eucalipto do Cerrado sulmato-grossense. Diante disso, este trabalho busca responder à seguinte questão de pesquisa: qual capacidade de armazenamento de um pátio intermediário permite reduzir a necessidade de estoque de madeira nas fazendas durante os períodos de maior precipitação, mantendo o abastecimento da indústria e reduzindo os custos associados ao cascalhamento das estradas internas?

O objetivo geral é desenvolver um modelo para avaliar diferentes alternativas de dimensionamento de um pátio intermediário de madeira, considerando estoque de segurança, precipitação, transporte, capacidade operacional e custos de implantação e operação. Os objetivos específicos são:

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

a) caracterizar o fluxo atual de abastecimento de madeira e a sazonalidade da precipitação na região estudada;
b) definir os parâmetros operacionais e de custo do transporte e do pátio intermediário;
c) calcular cenários de capacidade do pátio de 30.000, 40.000, 50.000 e 60.000 m³;
d) estimar, para cada cenário, a área necessária, a frota, os custos de implantação (CAPEX) e de operação (OPEX) e a redução potencial dos custos de cascalhamento;
e) identificar a alternativa com melhor relação entre custo, capacidade e atendimento à fábrica.

Do ponto de vista prático, o estudo oferece às empresas do setor uma ferramenta de apoio à decisão para planejar o abastecimento no período chuvoso. Do ponto de vista acadêmico, contribui para a área de Logística e Pesquisa Operacional da Engenharia de Produção ao aplicar a modelagem de cenários a um problema real da cadeia de suprimentos florestal.

2. Referencial teórico

Este capítulo reúne os conceitos que sustentam o dimensionamento do pátio intermediário. Inicialmente, descreve-se a logística florestal e suas etapas, para situar onde o pátio se insere no fluxo da madeira (seção 2.1). Em seguida, apresenta-se o pátio como um centro de distribuição, com base na logística empresarial e em experiências de terminais intermediários (seção 2.2). Por fim, discute-se a relação entre a chuva, as estradas florestais e o estoque de segurança, que define o problema tratado neste trabalho (seção 2.3).

2.1 Logística florestal

A logística florestal compreende o planejamento e a execução dos fluxos de madeira desde a colheita até a unidade consumidora. Em empresas de celulose, essa cadeia precisa entregar grandes volumes de forma contínua, pois a fábrica opera ininterruptamente e qualquer falta de matéria-prima compromete a produção. De forma genérica, o fluxo da madeira segue as seguintes etapas:

a) colheita: corte das árvores e processamento em toras no talhão;
b) baldeio: retirada das toras do interior do talhão até a margem das estradas;
c) estocagem no campo: formação de pilhas à beira das estradas, que aguardam o transporte;
d) carregamento: colocação das toras nos caminhões por gruas florestais;
e) transporte principal: deslocamento da madeira pelas estradas internas, acessos externos e rodovias até a fábrica;
f) recebimento: pesagem, descarregamento e estocagem no pátio da fábrica.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

No Brasil, o transporte principal de madeira é feito quase inteiramente por caminhões. Seixas e Widmer (1993) apontam que o custo desse transporte, em empresas de celulose e chapas do estado de São Paulo, variava entre 38% e 66% do custo final da madeira posta na fábrica, para distâncias médias de 45 a 240 km. Os autores destacam ainda que as restrições das estradas, como rampas e trechos intransitáveis na chuva, alteram a escolha dos veículos e o custo total da operação. O pátio intermediário proposto neste trabalho se insere entre a estocagem no campo e o transporte até a fábrica.

2.2 Centros de distribuição e pátios intermediários de madeira

Na logística empresarial, a armazenagem permite equilibrar oferta e demanda quando ambas não ocorrem no mesmo ritmo. Ballou (2006) trata o custo logístico total como resultado de compensações (trade-offs) entre transporte, estoque e nível de serviço: uma instalação intermediária aumenta os custos de armazenagem e manuseio, mas pode reduzir custos de transporte ou riscos de falta. Por isso, a decisão de criar um ponto de armazenagem exige avaliar o custo total do sistema, e não apenas o custo isolado de cada atividade. No caso da madeira, esse centro de distribuição assume a forma de um pátio: uma área preparada para receber, empilhar e expedir toras, com acessos adequados ao tráfego pesado e equipamentos de carregamento.

Pátios ou terminais intermediários são pontos de estocagem localizados entre as áreas de colheita e a fábrica. Na Finlândia e na Suécia, eles são usados justamente para lidar com períodos de baixa trafegabilidade: durante o degelo e as chuvas, quando estradas e solos perdem capacidade de suporte, a madeira precisa ficar estocada por mais tempo e é levada antecipadamente para terminais, de modo a garantir o abastecimento contínuo da indústria (VÄÄTÄINEN et al., 2021).

O dimensionamento desses estoques envolve compensações. Kons, La Hera e Bergström (2020), ao simular um pátio de madeira de uma fábrica de celulose sueca, mostraram que ampliar a área de estoque auxiliar para cerca de 89.000 a 99.000 m³ permitiria limitar a idade das toras armazenadas e reduzir o tempo de trabalho das máquinas. Por outro lado, Seixas e Widmer (1993) observaram que, em seu estudo, o baldeio por pátios intermediários não foi econômico, porque os custos e tempos de carga e descarga adicionais superaram os ganhos. Esses resultados indicam que a viabilidade do pátio depende das condições específicas de cada operação, o que justifica a análise por cenários.

Outro aspecto relevante é o tempo de permanência da madeira em estoque. Eufrade-Junior et al. (2021) verificaram que toras de eucalipto estocadas ao ar livre no período chuvoso apresentaram umidade final maior (36,4%) do que as estocadas no período seco (31,1%), o que afeta o peso transportado e a qualidade da matéria-prima.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

2.3 Estradas florestais, período chuvoso e estoque de segurança

As estradas florestais são, em sua maioria, não pavimentadas e sem camada selante, o que as torna mais vulneráveis à degradação pela água e ao tráfego pesado (ARRIVABENI, 2021). Para manter a trafegabilidade, aplica-se uma camada de revestimento primário, como brita, cuja principal vantagem é reduzir a frequência e o custo das manutenções (MACHADO, 2013).

O padrão das estradas influencia diretamente os custos. Lopes, Machado e Souza (2002) mostraram que, em estradas de pista dupla com revestimento primário, o revestimento representa entre 35% e 55% do custo de construção, e que a velocidade média dos veículos cai de cerca de 41 km/h nas estradas principais para 24 km/h nas terciárias, o que tende a aumentar o custo de transporte. Arrivabeni (2021) verificou ainda que o tipo de manutenção adotado, com ou sem reposição de cascalho, tem impacto direto na frota necessária para atender à demanda. Esses resultados reforçam que reduzir a extensão de estradas que precisam ser cascalhadas para o período chuvoso pode gerar economia relevante.

A forma usual de contornar temporariamente essa restrição é o estoque de segurança. A gestão de estoques busca manter o nível de material suficiente para atender à demanda com o menor custo possível: o estoque de segurança é a parcela mantida para absorver incertezas de oferta e demanda, e o giro de estoque indica quantas vezes o estoque médio é renovado em determinado período (BALLOU, 2006). No abastecimento de fábricas de celulose, a principal incerteza da oferta está ligada ao clima. Durante a chuva, a retirada de madeira das fazendas fica restrita, e a fábrica depende do estoque acumulado no campo, em áreas atendidas por estradas cascalhadas que, mesmo assim, não garantem total segurança, no pátio da fábrica ou em pátios intermediários. O dimensionamento do estoque de segurança, portanto, deve considerar a duração e a intensidade do período chuvoso, o consumo diário da fábrica e a capacidade de transporte disponível.

3. Método

Quanto à classificação, esta pesquisa é aplicada, de abordagem quantitativa, e adota o estudo de caso como procedimento técnico, com uso de modelagem e análise de cenários, conforme as categorias de pesquisa em Engenharia de Produção descritas por Miguel (2012). O pátio intermediário foi modelado como um centro de distribuição, com base nos conceitos de compensação de custos logísticos de Ballou (2006). O caso foi escolhido a partir de uma empresa do setor florestal de celulose localizada na região leste de Mato Grosso do Sul, na qual foi realizado o estágio supervisionado, o que permitiu o acesso aos dados de planejamento e de custos. O modelo, porém, não depende das particularidades dessa empresa: como é construído a partir de parâmetros (volume mensal, dias de chuva, capacidade do pátio,

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

produtividade das gruas e custos unitários), sua aplicação a outra empresa ou região exige apenas a substituição desses parâmetros. Por questões de confidencialidade, o nome da empresa e das fazendas foi omitido, e parte dos valores de volume e de custo foi ajustada por fatores de proporcionalidade. Esse procedimento não altera as relações entre as variáveis nem as conclusões do estudo.

O trabalho seguiu as etapas da modelagem em pesquisa operacional descritas por Hillier e Lieberman (2013): definição do problema, coleta de dados, definição dos parâmetros, construção do modelo, cálculo dos cenários, análise dos resultados e análise de sensibilidade. A pesquisa operacional aplica métodos quantitativos para apoiar decisões em sistemas complexos, e, entre suas técnicas, a análise de cenários permite comparar alternativas sob as mesmas premissas, enquanto a análise de sensibilidade verifica como o resultado muda quando parâmetros incertos variam.

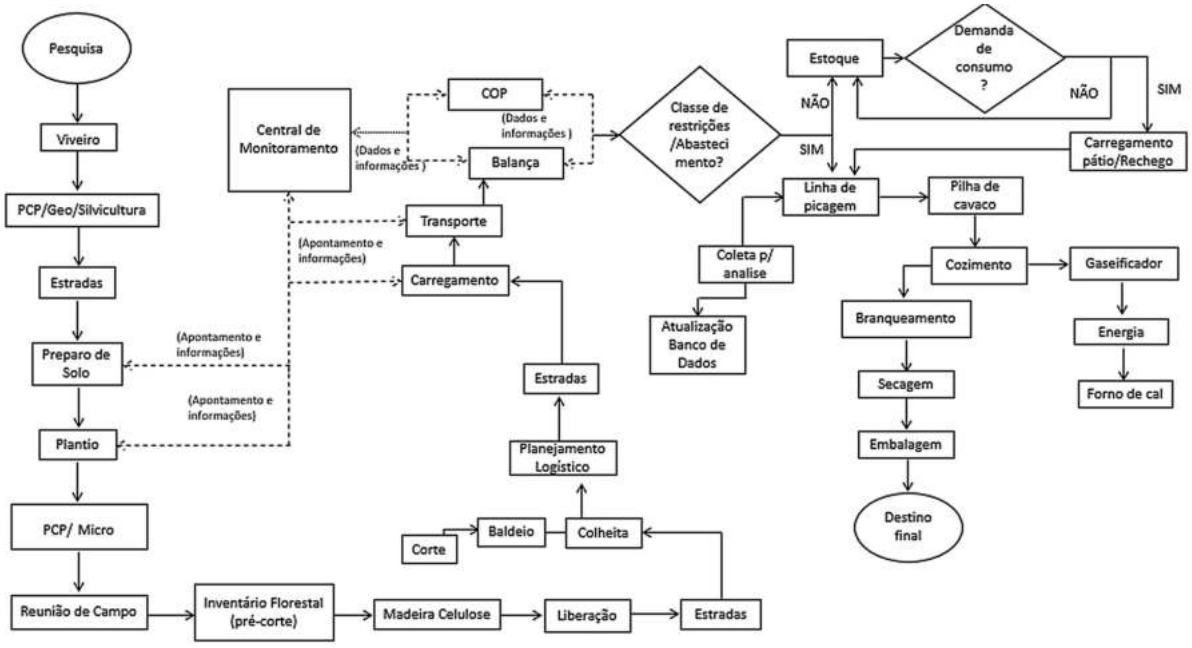
3.1 Caracterização do problema

O fluxo de madeira das fazendas estudadas para a fábrica é contínuo, entre 14.400 e 18.600 m³ por dia, conforme o mês. Como a empresa ainda não possui unidade industrial no estado, a madeira é transportada por longas distâncias até a fábrica, e o volume analisado corresponde à parcela do abastecimento originada nas fazendas da região. Nos dias de chuva, a retirada de madeira dos talhões depende de estradas internas revestidas com brita, chamadas neste trabalho de estradas cascalhadas. No modelo atual, todo o volume necessário para abastecer a fábrica nos dias chuvosos, denominado estoque seguro, fica armazenado nas fazendas, e a empresa precisa cascalhar as estradas que dão acesso a esse estoque. A Figura 1 apresenta a cadeia de abastecimento de madeira da empresa estudada, desde a produção de mudas no viveiro até a chegada da madeira à fábrica e seu processamento.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

Figura 1 – Fluxograma da cadeia de abastecimento de madeira da empresa estudada



Fonte: elaborado pela autora (2026).

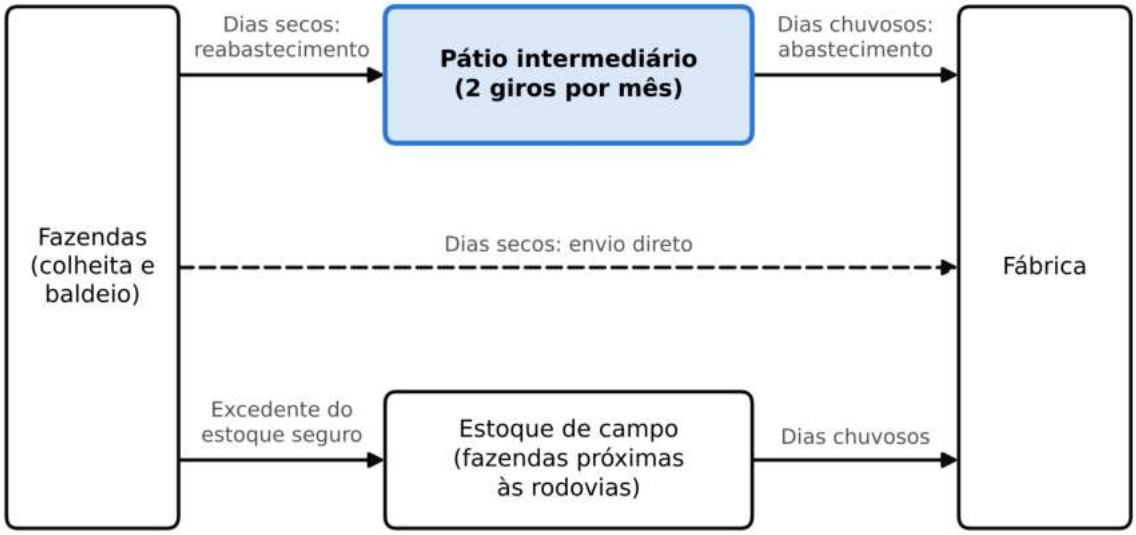
No planejamento do carregamento, cada área de colheita possui alternativas de operação para o período seco e para o chuvoso. Nos dias de chuva, são priorizadas as áreas com estradas totalmente cascalhadas, garantindo a trafegabilidade e a continuidade do abastecimento. Para manter essas estradas, a empresa utiliza técnicas como o agulhamento, o reforço do solo com argila, o reforço com brita e o solo-brita, cujo material é extraído de jazidas próximas às áreas de operação.

A alternativa proposta é transferir parte desse estoque para um pátio intermediário, abastecido nos dias secos e esvaziado nos dias chuvosos, reduzindo o volume que permanece no campo e, portanto, a extensão de estradas a cascalhar. A Figura 2 mostra como o pátio se insere no fluxo de abastecimento: nos dias secos, a madeira segue diretamente para a fábrica ou é levada ao pátio; nos dias chuvosos, a fábrica é abastecida pelo pátio e, quando a capacidade dele não é suficiente, pelo estoque que permanece no campo.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

Figura 2 – Fluxo de abastecimento proposto com o pátio intermediário



Fonte: elaborado pela autora (2026).

3.2 Coleta de dados

Os dados foram obtidos dos possíveis cenários do planejamento de abastecimento da empresa para o ano de 2027 e de levantamentos internos de custos. Foram coletados e adaptados: o volume mensal de madeira a ser entregue à fábrica, o número de dias chuvosos e secos por mês, a capacidade de carga dos veículos, o número de viagens, os custos por quilômetro de estrada e os custos de implantação e operação do pátio.

Complementarmente, foram utilizadas informações obtidas em visita técnica às operações florestais e à unidade industrial da empresa, realizada em abril de 2026, que incluiu as áreas de planejamento estratégico, microplanejamento, estradas, carregamento, central de monitoramento e pátio de madeira.

3.3 Parâmetros do modelo

O volume total considerado neste estudo para o ano de 2027 é de 6.045.788 m³, transportado em composições com caixa de carga de 65 m³, o que resulta em cerca de 93.000 viagens no ano, entre 221 e 287 por dia.

A proporção de chuva de cada mês corresponde à razão entre os dias chuvosos e o total de dias do mês, e varia de 8% em julho a 54% em janeiro. O estoque seguro mensal é o volume que precisa estar disponível para os dias chuvosos, conforme a Equação 1:

$$ES_m = V_m \times DC_m / D_m \quad (1)$$

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

em que ESm é o estoque seguro do mês m, em m³; Vm é o volume a ser entregue à fábrica, em m³; DCm é o número de dias chuvosos; e Dm é o número de dias do mês. Somando os doze meses, o estoque seguro anual é de 1.693.190 m³.

Os custos de estrada foram levantados por quilômetro de acesso interno, com largura de 4 m, e adaptados para este estudo. O custo de envio direto, isto é, de preparar a estrada para que os caminhões retirem a madeira das fazendas nos dias de chuva, é de R$ 87.105/km e tem duas parcelas. A primeira, de R$ 37.949/km, corresponde à estrada básica, sem brita, que é necessária em qualquer caso, com ou sem o pátio. A segunda, de R$ 49.156/km, corresponde à colocação da brita, que só é necessária quando o estoque de chuva permanece no campo. No modelo atual, o atendimento ao estoque seguro exige cerca de 376 km de estradas cascalhadas, o que equivale a aproximadamente 4.500 m³ de estoque seguro por quilômetro. Assim, os custos podem ser expressos por metro cúbico de estoque seguro: R$ 8,43 para a estrada básica, R$ 10,92 para a colocação da brita e R$ 19,36 para o custo de envio direto completo. Como a estrada básica continua necessária, a economia do pátio corresponde apenas à brita que deixa de ser colocada. Os acessos externos, de maior largura, não foram considerados, pois continuam necessários para a passagem dos caminhões.

O pátio é esvaziado nos dias chuvosos e reabastecido nos dias secos, chamados neste trabalho de janelas de abastecimento. Cada ciclo completo de esvaziamento e reabastecimento é chamado de giro, e a capacidade de movimentação mensal do pátio corresponde à capacidade física multiplicada pelo número de giros.

O número de giros foi fixado em dois por mês para todos os cenários. Após cada período de chuva, é preciso aguardar a secagem do solo para que os caminhões entrem nas fazendas sem risco de atolamento e sem necessidade de manutenção emergencial das estradas. Um terceiro reabastecimento mensal reduziria esse intervalo e exigiria mais horas de operação das máquinas e dos caminhões, além do uso de brita para garantir o acesso para reabastecer o pátio, o que não é a intenção do estudo, e aumentaria o consumo de combustível e reduziria a produtividade, comprometendo o fluxo de abastecimento da fábrica. Assim, nos meses em que o estoque seguro supera duas vezes a capacidade física do pátio, o volume excedente permanece como estoque de campo. Esse estoque deve ser planejado em fazendas próximas às rodovias pavimentadas, que a empresa já possui para atender a esse tipo de situação, de modo que os caminhões percorram trechos menores de estradas internas nos dias de chuva, o que reduz os riscos de atolamento e os problemas de trafegabilidade.

A movimentação de madeira no pátio é feita por carregadores florestais do tipo log loader, equipados com garra, chamados neste trabalho de gruas. Sua produtividade foi calculada a partir do tempo de ciclo operacional, com base em dados de estudo interno. Cada ciclo, que compreende a coleta na pilha, o giro carregado, a descarga e os movimentos auxiliares, leva 63,2 segundos, o que corresponde a cerca de 57 ciclos por hora. Considerando toras de 7 m de comprimento, com diâmetro médio de 102 mm, cada garrada movimenta cerca

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

de 3,64 m³. A eficiência global do equipamento (OEE) é de 81%, resultante da disponibilidade mecânica de 90% e da eficiência operacional de 90%.

O estudo interno aplica o OEE quatro vezes ao longo do cálculo, sobre o número de ciclos e sobre as horas de trabalho, o que resulta em 65.205 m³/mês por máquina, uma estimativa conservadora. No extremo oposto, aplicar o OEE uma única vez sobre a capacidade teórica resultaria em 122.695 m³/mês, uma estimativa otimista. Neste trabalho, adotou-se uma posição intermediária: o OEE foi aplicado uma vez sobre o número de ciclos, que passa a 46,1 ciclos por hora, e uma vez sobre as horas de trabalho, que passam a 19,44 horas efetivas por dia. Obteve-se produtividade de 168 m³/h, 3.265 m³/dia e 99.383 m³/mês por máquina. As estimativas conservadora e otimista foram avaliadas na análise de sensibilidade.

3.4 Construção do modelo

O modelo foi construído em planilha eletrônica. Para cada mês, o volume absorvido pelo pátio é o menor valor entre o estoque seguro e a capacidade de movimentação (Equação 2); o restante permanece no campo (Equação 3):

$$VP_m = \text{mín}(ES_m; g \times C) \quad (2)$$

$$VC_m = ES_m - VP_m \quad (3)$$

em que VPm é o volume absorvido pelo pátio no mês, em m³; C é a capacidade física do pátio, em m³; g é o número de giros por mês; e VCm é o volume que permanece como estoque no campo, em m³.

A área necessária para o pátio foi dimensionada a partir da capacidade física. A área ocupada pelas pilhas (Equação 4) considera o fator de empilhamento e o comprimento das toras; a área total (Equação 5) acrescenta 30% para a circulação e as manobras dos caminhões, de modo que as pilhas ocupem 70% do pátio:

$$A_p = C \times f / L \quad (4)$$

$$A_t = A_p / 0{,}7 \quad (5)$$

em que Ap é a área das pilhas, em m²; f é o fator de empilhamento da madeira, de 1,97; L é o comprimento das toras, de 7 m; e At é a área total do pátio, em m².

O número de gruas necessário em cada mês foi obtido pela divisão da movimentação mensal pela produtividade de uma máquina (Equação 6). A movimentação corresponde ao dobro do volume absorvido pelo pátio, pois cada metro cúbico é descarregado na entrada e carregado na saída. O resultado foi sempre arredondado para o número inteiro imediatamente superior. Como a necessidade calculada raramente é um número exato, esse critério garante

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

que a frota cubra a movimentação de todos os meses e cria uma folga de capacidade: quando uma máquina para para manutenção, as demais assumem a operação com menor sobrecarga e menor formação de filas de caminhões no pátio. A frota de gruas de cada cenário corresponde ao maior valor mensal.

$$G_m = \lceil 2 \times VP_m / Pg \rceil \quad (6)$$

em que Gm é o número de gruas no mês m, ⌈ ⌉ indica o arredondamento para o inteiro imediatamente superior e Pg é a produtividade mensal de uma grua, de 99.383 m³/mês.

O modelo foi verificado por meio de um cálculo diário do mês mais crítico, janeiro. Nos dias chuvosos, o abastecimento da fábrica, de cerca de 15 mil m³/dia, foi dividido entre o pátio e o estoque de campo; nos dias secos, a fábrica foi abastecida pelas áreas secas, e o pátio foi reabastecido. O cálculo confirmou que o saldo do pátio permanece entre zero e sua capacidade física ao longo do mês.

A decisão de dimensionamento foi formulada como um problema de otimização. A variável de decisão é a capacidade física do pátio, C, e a função objetivo é maximizar a economia líquida anual (Equação 7), que corresponde ao custo de colocação de brita evitado pelo volume absorvido no pátio, descontado o custo anual de operação:

$$\text{Máx. } E = (\Sigma VP_m) \times cc - OPEX, \text{ com } m = 1, \ldots, 12 \quad (7)$$

em que E é a economia líquida anual, em reais; cc é o custo de colocação de brita por metro cúbico de estoque seguro, de 10,92 reais/m³; e OPEX é o custo anual de operação do pátio, em reais, que depende da frota de gruas. A função objetivo está sujeita às seguintes restrições:

a) o volume absorvido pelo pátio em cada mês não pode superar o estoque seguro do mês: $VPm \leq ESm$;

b) o volume absorvido não pode superar a capacidade de movimentação do pátio: $VPm \leq g \times C$;

c) o número de giros é fixo em dois por mês: $g = 2$;

d) a frota de gruas deve atender à movimentação de todos os meses, conforme a Equação 6;

e) a capacidade física é escolhida entre as alternativas avaliadas: $C \in \{30.000; 40.000; 50.000; 60.000\}$ m³.

Como a capacidade assume poucos valores possíveis, o problema foi resolvido por enumeração, calculando-se a função objetivo para cada alternativa. O retorno do investimento foi medido pelo payback simples (Equação 8):

$$Payback = CAPEX / E \quad (8)$$

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

em que CAPEX é o investimento de implantação do pátio, em reais.

3.5 Cenários e análise de sensibilidade

Foram calculados quatro cenários de capacidade física do pátio: 30.000, 40.000, 50.000 e 60.000 m³. Os custos de cada cenário foram calculados a partir dos custos unitários de implantação e operação levantados na empresa para um pátio com três conjuntos de máquinas. Os itens que dependem do número de máquinas, como os equipamentos, a manutenção, o combustível e os operadores de grua, foram ajustados proporcionalmente à frota de cada cenário; os demais, como a balança, a infraestrutura, a tecnologia da informação, os operadores de logística e a locação do terreno, foram mantidos constantes. Na análise de sensibilidade, o custo da brita, o OPEX, o CAPEX e o estoque seguro foram variados em 20% para mais e para menos, e foram testadas as estimativas otimista e conservadora de produtividade das gruas.

4. Resultados

4.1 Comparação dos cenários de capacidade

O volume absorvido cresce com a capacidade do pátio, mas em ritmo decrescente (Tabela 1). Passar de 30.000 para 40.000 m³ acrescenta 180.667 m³/ano absorvidos; de 40.000 para 50.000 m³, 170.169 m³; e de 50.000 para 60.000 m³, 131.783 m³. Isso ocorre porque, nos meses secos, o estoque seguro já é menor que a capacidade de movimentação, e o espaço adicional fica ocioso.

Tabela 1 – Resultados por cenário de capacidade do pátio

Capacidade física (m³)	Movimentação máxima (m³/mês)	Volume absorvido (m³/ano)	Parcela do estoque seguro (%)	Estoque no campo (m³/ano)	Utilização do pátio (%)
30.000	60.000	704.265	41,6	988.925	97,8
40.000	80.000	884.932	52,3	808.258	92,2
50.000	100.000	1.055.101	62,3	638.089	87,9
60.000	120.000	1.186.884	70,1	506.306	82,4

Fonte: elaborado pela autora (2026).

A área e a frota de gruas de cada cenário são apresentadas na Tabela 2. Os pátios de 30.000 e 40.000 m³ operam com 2 gruas, e os de 50.000 e 60.000 m³, com 3. No pátio de

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

50.000 m³, a necessidade calculada no pico é de 2,01 gruas, o que deixa praticamente uma máquina inteira de folga; no de 60.000 m³, é de 2,41, o que ainda deixa uma folga de cerca de 0,6 máquina.

Tabela 2 – Dimensionamento físico do pátio por cenário

Capacidade física (m³)	Área das pilhas (m²)	Área total (m²)	Gruas calculadas no pico	Frota de gruas
30.000	8.443	12.061	1,21	2
40.000	11.257	16.082	1,61	2
50.000	14.071	20.102	2,01	3
60.000	16.886	24.122	2,41	3

Fonte: elaborado pela autora (2026).

4.2 Resultado econômico dos cenários

Todos os cenários são economicamente viáveis (Tabela 3 e Figura 3). Os pátios de 50.000 e 60.000 m³ têm o mesmo investimento e o mesmo custo de operação, pois usam a mesma frota de 3 gruas, mas o de 60.000 m³ absorve 131.783 m³ a mais por ano e, por isso, apresenta a maior economia líquida, de R$ 7,33 milhões por ano, contra R$ 5,89 milhões do pátio de 50.000 m³. O pátio de 40.000 m³ tem o mesmo payback do de 60.000 m³, de 0,71 ano, mas, por absorver menos volume, gera R$ 1,72 milhão a menos de economia por ano.

Tabela 3 – Resultado econômico por cenário

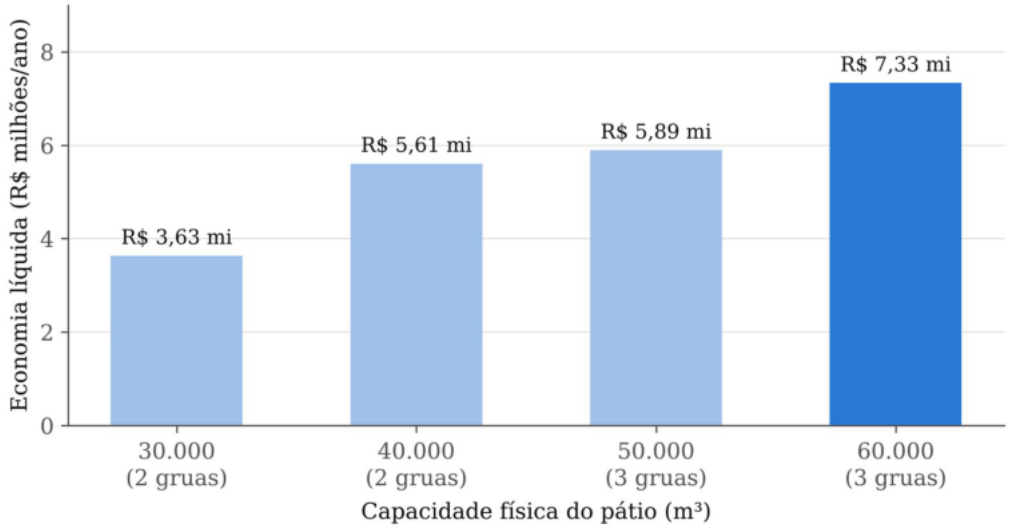
Capacidade física (m³)	Frota de gruas	CAPEX (R$ mil)	OPEX (R$ mil/ano)	Custo de brita evitado (R$ mil/ano)	Economia líquida (R$ mil/ano)	Payback (anos)
30.000	2	3.994	4.061	7.693	3.632	1,10
40.000	2	3.994	4.061	9.667	5.605	0,71
50.000	3	5.194	5.635	11.525	5.891	0,88
60.000	3	5.194	5.635	12.965	7.330	0,71

Fonte: elaborado pela autora a partir de dados adaptados da empresa (2026).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

Figura 3 – Economia líquida anual por capacidade física do pátio



Fonte: elaborado pela autora (2026).

Como a economia líquida é a função objetivo do modelo, o pátio de 60.000 m³ foi selecionado como a alternativa recomendada, e seus resultados são detalhados a seguir.

4.3 Distribuição mensal do estoque seguro no cenário recomendado

No pátio de 60.000 m³, o volume que permanece no campo cai de 1.693.190 m³ para 506.306 m³ por ano (Tabela 4). De abril a setembro, o pátio atende sozinho todo o estoque seguro. De outubro a março, o estoque seguro supera a capacidade de movimentação de 120.000 m³/mês, e o excedente continua nas fazendas, chegando a 121.817 m³ em janeiro.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

Tabela 4 – Distribuição mensal do estoque seguro no pátio de 60.000 m³

Mês	Volume entregue (m³)	Chuva (%)	Estoque seguro (m³)	Absorvido pelo pátio (m³)	Mantido no campo (m³)	Nº de gruas
Jan	451.948	54	241.817	120.000	121.817	3
Fev	411.143	49	203.110	120.000	83.110	3
Mar	445.245	36	161.383	120.000	41.383	3
Abr	505.206	22	110.108	110.108	0	3
Mai	546.152	17	90.169	90.169	0	2
Jun	552.293	11	60.667	60.667	0	2
Jul	569.579	8	45.719	45.719	0	1
Ago	577.652	10	58.546	58.546	0	2
Set	543.141	19	101.675	101.675	0	3
Out	489.306	38	185.269	120.000	65.269	3
Nov	472.127	41	194.695	120.000	74.695	3
Dez	481.996	50	240.032	120.000	120.032	3
Total	6.045.788	30	1.693.190	1.186.884	506.306	–

Fonte: elaborado pela autora a partir de dados adaptados da empresa (2026).

As 3 gruas são necessárias de setembro a abril. De maio a agosto bastam 2, e em julho, apenas 1. As máquinas que ficam livres nesse período podem ser usadas para programar as manutenções preventivas ou ser cedidas temporariamente a outras operações da empresa, como o carregamento no campo, o que aumenta o aproveitamento da frota ao longo do ano.

4.4 Investimento, custos e resultado econômico do pátio recomendado

O investimento para implantar o pátio de 60.000 m³ é de R$ 5,19 milhões, dos quais 69% correspondem aos equipamentos de movimentação (Tabela 5). O custo anual de operação é de R$ 5,63 milhões, com a manutenção dos equipamentos respondendo por 48% (Tabela 6).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

Tabela 5 – Investimento de implantação (CAPEX) do pátio de 60.000 m³

Categoria	Itens	Valor (R$ mil)	Participação (%)
Equipamentos	3 conjuntos de grua florestal (máquina base e grua com garra)	3.599	69
Infraestrutura	Balança rodoviária e semirreboque	1.243	24
Implantação da balança	Mão de obra, materiais e pintura	300	6
Tecnologia da informação	Computadores, impressora e estrutura de rede	52	1
Total		5.194	100

Fonte: elaborado pela autora a partir de dados adaptados da empresa (2026).

Tabela 6 – Custo anual de operação (OPEX) do pátio de 60.000 m³

Categoria	Itens	Valor (R$ mil/ano)	Participação (%)
Manutenção	Manutenção das gruas	2.685	48
Mão de obra	11 operadores de grua e 4 operadores de logística	1.528	27
Combustível	Gruas e veículo de apoio	1.017	18
Outros	Locação do terreno, alimentação, internet e transporte	405	7
Total		5.635	100

Fonte: elaborado pela autora a partir de dados adaptados da empresa (2026).

A Tabela 7 compara o custo anual do modelo atual, de envio direto das fazendas para a fábrica, com o do modelo com o pátio. No modelo atual, o custo de envio direto é de R$ 32,77 milhões por ano, dos quais R$ 14,28 milhões correspondem à estrada básica e R$ 18,50 milhões à colocação de brita. Com o pátio, a estrada básica continua necessária, mas a brita cai para R$ 5,53 milhões; somado o custo de operação do pátio, o custo total passa a R$ 25,44 milhões por ano. A economia líquida é de R$ 7,33 milhões por ano, e o investimento se paga em 0,71 ano, cerca de 8,5 meses.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

Tabela 7 – Comparação entre o modelo atual e o modelo com pátio de 60.000 m³

Indicador	Modelo atual (envio direto)	Modelo com pátio
Estoque seguro no campo (m³/ano)	1.693.190	506.306
Estoque seguro no pátio (m³/ano)	0	1.186.884
Estrada básica, sem brita (R$ mil/ano)	14.279	14.279
Colocação de brita (R$ mil/ano)	18.496	5.531
OPEX do pátio (R$ mil/ano)	–	5.635
Custo total anual (R$ mil/ano)	32.774	25.444
Economia líquida (R$ mil/ano)	–	7.330
CAPEX do pátio (R$ mil)	–	5.194
Payback simples (anos)	–	0,71

Fonte: elaborado pela autora a partir de dados adaptados da empresa (2026).

Por metro cúbico, o custo de operar o pátio é de R$ 4,75, menos da metade do custo de brita que ele evita, de R$ 10,92. A economia líquida equivale a R$ 6,18 por metro cúbico armazenado no pátio.

4.5 Análise de sensibilidade

O pátio continua viável em todas as variações testadas (Tabela 8 e Figura 4). O resultado é mais sensível ao custo da brita: uma redução de 20% nesse custo diminui a economia líquida para R$ 4,74 milhões por ano, e o projeto só deixaria de ser viável se esse custo caísse cerca de 57%, para menos de R$ 4,75 por metro cúbico. O OPEX e o estoque seguro, que reflete o número de dias de chuva, têm efeitos menores. O aumento do estoque seguro tem efeito limitado porque, nos meses mais chuvosos, o pátio já opera no limite da sua capacidade de movimentação, e o excedente permanece no campo. O CAPEX não altera a economia anual, apenas o payback, que permanece abaixo de um ano. Com a estimativa otimista de produtividade, a frota cai para 2 gruas, e a economia líquida sobe para R$ 8,90 milhões por ano; com a estimativa conservadora do estudo interno, a frota sobe para 4 gruas, e a economia líquida cai para R$ 5,76 milhões por ano, com retorno em pouco mais de um ano.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

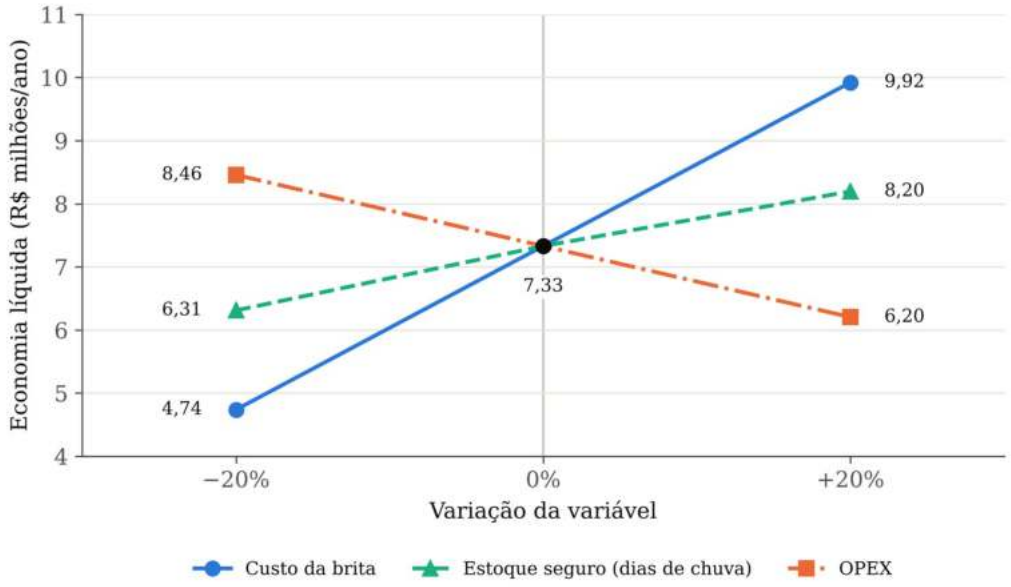
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

Tabela 8 – Sensibilidade da economia líquida e do payback (pátio de 60.000 m³)

Variação	Economia líquida (R$ mil/ano)	Payback (anos)
Cenário recomendado	7.330	0,71
Custo da brita −20%	4.737	1,10
Custo da brita +20%	9.923	0,52
Estoque seguro −20%	6.310	0,82
Estoque seguro +20%	8.196	0,63
OPEX −20%	8.457	0,61
OPEX +20%	6.203	0,84
CAPEX −20%	7.330	0,57
CAPEX +20%	7.330	0,85
Produtividade otimista das gruas (2 gruas)	8.904	0,45
Produtividade conservadora das gruas (4 gruas)	5.756	1,11

Fonte: elaborado pela autora (2026).

Figura 4 – Sensibilidade da economia líquida às principais variáveis (pátio de 60.000 m³)



Fonte: elaborado pela autora (2026).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

5. Discussão

Os resultados confirmam que o pátio intermediário é uma alternativa economicamente viável para reduzir a dependência de estradas cascalhadas no período chuvoso. Com capacidade de 60.000 m³ e dois giros mensais, o pátio concentra 70% do estoque seguro e gera economia líquida de R$ 7,33 milhões por ano, com retorno do investimento em cerca de oito meses e meio. Esse resultado está alinhado ao uso de terminais intermediários na Finlândia e na Suécia para garantir o abastecimento em períodos de baixa trafegabilidade (VÄÄTÄINEN et al., 2021).

O estudo de Seixas e Widmer (1993), por outro lado, encontrou pátios intermediários inviáveis por causa dos custos de carga e descarga adicionais. A diferença está no que cada estudo compara: lá, o pátio era avaliado apenas como ponto de baldeio no transporte; aqui, ele substitui um custo de infraestrutura, a colocação de brita nas estradas internas, que é mais que o dobro do custo de operar o pátio por metro cúbico. Isso reforça a visão de Ballou (2006) de que decisões logísticas devem considerar o custo total do sistema.

A lógica do pátio intermediário já é adotada na própria fábrica, cujo pátio principal comporta mais de 270 mil m³ de madeira e conta com pátios alternativos usados como apoio em paradas operacionais e períodos chuvosos. A proposta deste trabalho leva essa estratégia para mais perto das áreas de colheita.

A comparação entre cenários mostra que o custo do pátio depende da frota de gruas, que é definida pelo volume movimentado no pátio. Esse volume, por sua vez, resulta da capacidade física e do estoque seguro de cada mês, que depende dos dias de chuva considerados no planejamento. Assim, o custo cresce em degraus, e não de forma contínua com a capacidade. Como os pátios de 50.000 e 60.000 m³ usam a mesma frota de 3 gruas, o de 60.000 m³ aproveita melhor essa frota e absorve mais volume com o mesmo custo de operação. Os pátios de 30.000 e 40.000 m³ têm menor investimento, mas deixam mais estoque no campo e, portanto, mais estradas a cascalhar.

O critério de sempre arredondar o número de gruas para cima foi adotado porque a necessidade calculada raramente é um número exato e porque a operação do pátio não pode depender de máquinas trabalhando no limite. No pátio de 60.000 m³, a necessidade no pico é de 2,41 gruas; com 3 máquinas, se uma parar para manutenção, as outras duas ainda cobrem cerca de 83% da movimentação de pico, e nos demais meses cobrem toda a movimentação. Nos meses de menor número de dias chuvosos, essa folga também permite ceder máquinas a outras operações da empresa. Além disso, a folga reduz a sobrecarga das máquinas e as filas de caminhões, preocupação que também explica o cálculo conservador de produtividade adotado no estudo interno, que aplica o OEE mais de uma vez para considerar a possibilidade de paradas. Como a frota depende do volume movimentado, que varia com os dias de chuva previstos, o dimensionamento e os custos de cada cenário devem ser recalculados sempre que

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

o planejamento de chuvas for atualizado, e confirmados com orçamentos específicos antes de uma decisão final.

A análise de sensibilidade também mostra que o resultado é robusto às premissas adotadas. Mesmo com o custo da brita 20% menor, o payback fica pouco acima de um ano, e com o OPEX 20% maior, abaixo de um ano. A produtividade das gruas foi estimada em posição intermediária entre o estudo interno que foi usado na empresa, que aplica o OEE quatro vezes, e o cálculo com o OEE aplicado uma única vez; mesmo na estimativa mais conservadora, que exige 4 gruas, o pátio se paga em pouco mais de um ano. O cálculo considera apenas a brita evitada nos acessos internos: a estrada básica continua necessária, assim como os acessos externos, para garantir a trafegabilidade e o atendimento à fábrica. Além disso, como o estoque excedente pode ser concentrado em fazendas próximas às rodovias pavimentadas, a extensão de estradas a cascalhar tende a ser ainda menor que a considerada no cálculo, o que indica que a economia estimada é conservadora.

Na empresa, o estoque seguro é definido no planejamento de longo prazo, com horizonte de até cerca de 21 anos, desdobrado em planos anuais repassados ao PCP. Um planejamento tático, com horizonte significativamente menor, está em desenvolvimento. O modelo proposto se encaixa nesse nível tático, pois apoia uma decisão de infraestrutura que afeta vários anos de abastecimento.

O estudo tem limitações. O modelo trabalha com médias mensais de dias chuvosos, sem considerar a variabilidade entre anos; não inclui o custo do transporte adicional entre fazenda, pátio e fábrica nem o custo de oportunidade do capital; e não avalia a perda de qualidade da madeira estocada por mais tempo, efeito observado por Eufrade-Junior et al. (2021) no período chuvoso.

6. Considerações finais

Este trabalho desenvolveu um modelo para dimensionar um pátio intermediário de madeira com o objetivo de reduzir os custos de cascalhamento das estradas internas em uma empresa do setor florestal de celulose. Respondendo à questão de pesquisa, um pátio com capacidade física de 60.000 m³ e dois giros mensais absorve 70% do estoque seguro anual, mantém o abastecimento da fábrica e reduz o estoque de campo de 1,69 milhão para 0,51 milhão de m³. Para isso, o pátio precisa de uma área total de cerca de 24.100 m² e de uma frota de 3 gruas.

O investimento de R$ 5,19 milhões reduz o custo anual de envio direto de R$ 32,77 milhões para R$ 25,44 milhões, uma economia líquida de R$ 7,33 milhões por ano, e se paga em cerca de 8,5 meses. A comparação entre cenários mostrou que o número de gruas define o custo de cada porte de pátio e que o de 60.000 m³ maximiza a economia líquida, por aproveitar melhor a frota de 3 gruas, que também oferece folga para manutenções. A análise de

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

sensibilidade indicou que o projeto continua viável mesmo com variações de 20% nas principais variáveis e com a estimativa mais conservadora de produtividade das gruas.

Para a empresa, o modelo serve como ferramenta de apoio à decisão, fácil de atualizar a cada novo planejamento anual. Para a Engenharia de Produção, o estudo mostra como a modelagem de cenários pode integrar logística, gestão de estoques e infraestrutura em uma única decisão.

Como trabalhos futuros, sugere-se: incluir a variabilidade da chuva por meio de modelos estocásticos; medir em campo a produtividade real das gruas no pátio; confirmar com orçamentos os custos estimados para cada porte de pátio; incorporar o custo do transporte adicional e o valor do dinheiro no tempo, com VPL e TIR; e otimizar a localização do pátio em relação às fazendas e à fábrica.

Declaração de uso de inteligência artificial

Em conformidade com a Política de Inteligência Artificial da UFMS (Resolução nº 455- COUN/UFMS, de 1º de dezembro de 2025), declara-se que este trabalho utilizou a ferramenta de inteligência artificial generativa Claude, modelo Opus 5.5, desenvolvida pela Anthropic, nas seguintes etapas:

a) pesquisa bibliográfica: apoio nas buscas de artigos referentes ao tema, posteriormente conferidas pela autora nas fontes originais;
b) redação: apoio na organização das seções e edição de seus textos preliminares, posteriormente revisadas e reescritas pela autora;
c) cálculos: apoio na organização, modificação dos seus dados para o cálculo dos cenários e análise de sensibilidade, conferidas pela autora.

O problema de pesquisa, o modelo do pátio intermediário, os dados e as premissas foram desenvolvidos pela autora durante seu estágio na empresa estudada. Todo o conteúdo foi revisado, validado e reescrito pela autora, que assume integral responsabilidade pelo texto, pelos dados e pelas conclusões. A ferramenta não é considerada coautora deste trabalho.

Referências

ARRIVABENI, B. S. Análise técnica, econômica e socioambiental da manutenção de estradas não pavimentadas utilizando o Digital Twin. 2021. 110 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. Disponível em: https://locus.ufv.br/bitstreams/4ddac648-03ba-4c52-ac5a-f11e2d304f23/download. Acesso em: 7 nov. 2026.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

EUFRADE-JUNIOR, H. J.; RODRIGUES, S. A.; SPADIM, E. R.; GUERRA, S. P. S.; BALLARIN, A. W. Predição do teor de umidade de toras longas de madeira de Eucalyptus

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/11/2026 | aceito: 16/11/2026 | publicação: 21/11/2026

urophylla estocadas em pilhas ao ar livre. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 49, n. 130, e3461, 2021. Disponível em: https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr130/2318-1222scifor-49-130-e3461.pdf. Acesso em: 7 nov. 2026.

HADDAD, R. V. Em 2017, plantações de eucaliptos em MS passam de 1 milhão de hectares. Campo Grande News, Campo Grande, 5 set. 2017. Disponível em: https://www.campograndenews.com.br/rural/ms-ultrapassa-um-milhao-de-hectares-deeucaliptos-plantados-este-ano. Acesso em: 16 nov. 2026.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. Introdução à pesquisa operacional. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

IBGE. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2025. Rio de Janeiro: IBGE, 2026. Dados para Mato Grosso do Sul divulgados em: https://correiodoestado.com.br/economia/area-de-florestas-plantadas-e-valor-da-producaobatem-novo-recorde-em/473264/. Acesso em: 7 nov. 2026.

KONS, K.; LA HERA, P.; BERGSTRÖM, D. Comparison of alternative pulpwood inventory strategies and machine systems at a log-yard using simulations. Forests, Basel, v. 11, n. 4, 373, 2020. DOI: 10.3390/f11040373.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. de. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região sudeste do Brasil. Revista Árvore, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 329-338, 2002.

MACHADO, C. C. Construção e conservação de estradas rurais e florestais. Viçosa: SIF, 2013.

MATOS, G. Com estradas intransitáveis, alunos ficam sem ir à escola em Ribas do Rio Pardo. Campo Grande News, Campo Grande, 16 mar. 2023. Disponível em: https://www.campograndenews.com.br/cidades/interior/com-estradas-intransitaveis-alunosficam-sem-ir-a-escola-em-ribas-do-rio-pardo. Acesso em: 17 nov. 2026.

MIGUEL, P. A. C. (org.). Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

OLIVEIRA, I. de. Hexatrens de até 250 toneladas são autorizados em rodovias de Mato Grosso do Sul. A Crítica de Campo Grande, Campo Grande, 30 jul. 2026. Disponível em: https://acritica.net/geral/hexatrens-250-toneladas-rodovias-mato-grosso-do-sul/. Acesso em: 16 nov. 2026.

SEIXAS, F.; WIDMER, J. A. Seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira utilizando-se de programação linear não inteira. IPEF, Piracicaba, n. 46, p. 107-118, 1993.

VÄÄTÄINEN, K. et al. Roundwood and biomass logistics in Finland and Sweden. Croatian Journal of Forest Engineering, Zagreb, v. 42, n. 1, p. 39-61, 2021.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.