

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

DÂMARIS FIGUEIREDO BILLO NOGUEIRA

PROPOSTA BÁSICA DE PLANEJAMENTO AGREGADO DA  
PRODUÇÃO PARA SERRARIAS DE PEQUENO PORTE

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO  
2016

DÂMARIS FIGUEIREDO BILLO NOGUEIRA

PROPOSTA BÁSICA DE PLANEJAMENTO AGREGADO DA  
PRODUÇÃO PARA SERRARIAS DE PEQUENO PORTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de bacharela em Engenharia Industrial Madeireira.  
Orientadora: Mayra Luiza Marques da Silva

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO  
2016

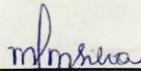
DÂMARIS FIGUEIREDO BILLO NOGUEIRA

PROPOSTA BÁSICA DE PLANEJAMENTO AGREGADO DA  
PRODUÇÃO PARA SERRARIAS DE PEQUENO PORTE

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Industrial Madeireira.

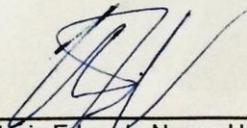
Aprovado em: 04 de novembro de 2016

COMISSÃO EXAMINADORA



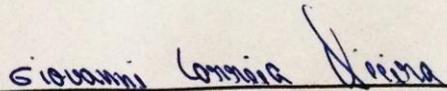
---

Profª. D. Sc. Mayra Luiza Marques da Silva  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientadora



---

Prof. D. Sc. Clóvis Eduardo Nunes Hegedus  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador



---

Doutorando Giovanni Correia Vieira  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador

"Tudo o que aprendi se resume  
nisto: Deus nos fez simples e  
direitos, mas nós complicamos tudo"  
(Eclesiastes 7:29).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me permitiu realizar este sonho, abençoando meus planos, guiando meus passos, me dando forças durante a caminhada, me ajudando a superar momentos que eu pensei que jamais suportaria, não me deixando perder a esperança e a fé. À Ele, dono de toda ciência, sabedoria e poder, sejam dados honra, glória e poder para todo o sempre, amém.

À minha família dedico toda gratidão e amor. Vocês, juntamente com Deus, são os pilares que me sustentam desde pequenina até agora, e serão até o dia em que não me for mais permitido viver. Vocês sempre acreditaram em mim, embarcaram em cada sonho meu junto comigo, abriram meus olhos quando foi preciso, e me carregaram no colo quando eu não tiver forças para caminhar sozinha. Sei que muitas vezes foi difícil me permitir voar, mas vocês o fizeram, e mais, fortaleceram minhas asas. Eu jamais serei capaz de expressar toda gratidão que eu sinto por tudo que fizeram e fazem por mim. Eu amo vocês.

Quero agradecer a todas as pessoas que me sustentaram em oração nesta minha caminhada, em especial aos meus irmãos da Segunda Igreja Batista em Jerônimo Monteiro e ao Ley. A vocês que me amaram, suportaram e não me deixaram desanimar, intercedendo ao Senhor nos meus momentos de aflição e agradecendo a Ele comigo por minhas vitórias, muito obrigada. Que Deus vos abençoe.

Agradeço aos meus amigos Lucas, Davi, Miquéias, Marlon, Cleiton e Ozana, amigos de infância, que estão ao meu lado desde a primeira decepção, a primeira luta, a primeira vitória. Esses que são meus irmãos também, que nunca me deixaram sequer pensar em desistir, me deram força mesmo quando estávamos longe, mesmo quando minha dificuldade era apenas uma escala de dó maior.

Por falar em amigos, quero agradecer a Deus pela oportunidade de ser da turma EIM 2010/2. Galera, vocês são incríveis. Vencer essa guerra ao lado de vocês é algo que eu vou levar para toda a minha vida. Cada noite em claro de estudos, cada desespero antes das provas, cada vez que um ajudou ao outro a vencer uma dificuldade, cada choro, cada riso, cada vez que nos alegamos juntos, que festejamos, cada momento foi único e contribuiu para que a gente realizasse nossos sonhos e fortalecesse nossos laços.

Estendo este agradecimento aos meus veteranos que são os melhores veteranos da UFES inteira; vocês foram importantes para a construção da minha caminhada aqui. Em especial agradeço aos veteranos agregados da EIM 2010/2 por terem caminhado junto com a gente e por terem se tornado amigos queridos.

Quero agradecer aos meus amigos do intercâmbio que foram minha família nessa etapa tão importante da minha vida. Vocês ampliaram minha visão, me mostraram novos

caminhos, me apoiaram, me deram forças em um dos momentos mais difíceis da minha vida, acreditaram em mim e acreditam até hoje. A distância que nos separa hoje nunca será maior que carinho que sentimos um pelo outro.

Agradeço aos novos amigos de UFES que fiz ao retornar do intercâmbio. Ser aceito em um grupo já formado é desafiador e vocês de maneira nenhuma colocaram empecilhos para que eu pudesse estar no meio de vocês. Vocês me ajudaram mesmo quando nem sabiam que eu precisava de ajuda, mesmo sem ainda me conhecerem, mesmo quando eu não quis ser ajudada. Obrigada. Vocês são incríveis.

Agradeço imensamente aos profissionais que me guiaram como aluna; cada professor teve um papel muito importante na minha vida. Agradeço especialmente a professora Graziela Vidaurre por ter aberto meus olhos para a ciência, por ter me orientado por anos, por todo conhecimento que você não mediu em me transmitir, e por ter sempre me aconselhado e me apoiado em tudo. Quero agradecer em especial também ao professor Clóvis Hegedus por ter me mostrados inúmeras possibilidades de trilhar o meu caminho, por todos os conselhos e por todo apoio.

Agradeço ao meu grande professor e amigo João Gabriel Messia por ter tido paciência em me ensinar, ter tido compreensão quando eu precisei, por ter escutado meus problemas, por ser sempre tão preocupado, tão atencioso, e por ter me ensinado tanto. Você me ajudou a ser a profissional que eu sou hoje. Muito obrigada.

Agradeço a minha orientadora, a professora Mayra Luiza Marques da Silva, por ter aceitado este desafio de trabalhar comigo neste TCC mesmo sabendo das minhas limitações. O conhecimento que você tem me transmitido é incrível, você me apresentou todo esse conhecimento de forma tão apaixonada que me estimulou a aprender mais sobre isto, e eu amei.

Agradeço ao professor Pedro Segundinho por ter aberto as portas da iniciação à docência para mim, especialmente em um momento crítico da minha vida. Você foi paciente quanto as minhas dificuldades e tem me ensinado valores especiais para minha vida.

Nunca poderia esquecer de agradecer ao José Geraldo e ao senhor Elecir por todas as vezes que vocês me ajudaram, que foram pacientes e bondosos; sem o trabalho de vocês eu não teria conseguido realizar meus trabalhos. Muito obrigada a vocês e ao demais funcionários da universidade que, mesmo que eu nem os conheça, proporcionou que isso tudo fosse possível.

Obrigada.

## RESUMO

Tendo em vista o baixo grau de planejamento e controle da produção (PCP) nas serrarias de pequeno porte brasileiras, há uma necessidade de compreender e aplicar ferramentas que tornem o PCP mais eficiente e eficaz, possibilitando diminuição de custos, aumento de lucro, e ganho de vantagens competitivas no mercado local e internacional. A programação linear é uma ferramenta pouco explorada no Brasil, no contexto do PCP, e que possui potencial para transformar o modo como as empresas estão planejando e controlando suas produções, considerando, por exemplo, fatores como as limitações de recursos, a capacidade produtiva e a capacidade de estocagem. O objetivo deste trabalho foi propor um modelo matemático de planejamento e controle da produção para serrarias de pequeno porte, a médio prazo, utilizando programação linear e o modelo matemático para planejamento agregado da produção. Constatou-se que a programação linear, a análise de sensibilidade e o preço-sombra são ferramentas eficientes para melhorar o desempenho destas indústrias.

Palavras-chave: Planejamento Agregado da Produção. Pesquisa Operacional. Capacidade produtiva. Gestão de estoque. Serrarias.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. O problema e sua importância .....	2
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1. Objetivo geral .....	4
1.2.2 Objetivos específicos .....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. Competividade de uma organização .....	5
2.2. Serrarias brasileiras .....	6
2.3. Planejamento e controle da produção (PCP) .....	7
2.4. Pesquisa operacional (PO) e programação linear .....	8
2.4.1. Método científico. ....	9
2.4.2. Modelo matemático. ....	10
2.4.3. Modelo matemático do planejamento agregado da produção .....	10
2.5. Método de solução e software.....	12
2.6. Análise de sensibilidade e pós-otimalidade.....	13
3. METODOLOGIA.....	15
3.1. Classificação da pesquisa .....	15
3.2. Dados da pesquisa.....	15
3.3. Modelo matemático do planejamento agregado da produção .....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1. Variáveis de decisão, parâmetros e restrições.....	21
4.2. Função objetivo dos modelos .....	25
4.3 Soluções dos modelos .....	26
4.4. Análise de sensibilidade e dualidade .....	30
5. CONCLUSÃO.....	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52

## 1. INTRODUÇÃO

A globalização foi um fenômeno que transformou o mundo na década de 1990, ampliando as possibilidades de negócios e modificando o cenário mundial. Segundo Leão e Naveiro (2009), as empresas foram obrigadas a reverem seus modelos de competição devido a este novo ambiente, caracterizado por imensas mudanças tecnológicas, comunicação rápida, abertura econômica, e competição global. Este cenário competitivo forçou as empresas brasileiras a saírem de sua condição anterior e se adaptarem aos novos padrões de concorrência para se manterem competitivas.

O investimento na melhoria contínua, a flexibilidade, a sustentabilidade, a velocidade de criação e execução de novos projetos, e a redução de estoques e do *lead time* tornaram-se fatores fundamentais na busca por excelência, e é exatamente neste contexto que o Planejamento e Controle da Produção (PCP) passou a sofrer alterações primordiais, fazendo-se indispensável no cenário brasileiro (NANCI et al., 2008).

De acordo com Nanci et al. (2008), o PCP caracteriza-se por planejar, programar e controlar um processo produtivo por meio do uso de determinadas ferramentas auxiliaadoras, a fim de atingir metas estabelecidas pelos diversos níveis da organização (estratégico, tático e operacional) da melhor maneira possível.

Dentre as ferramentas utilizadas pelo PCP, Lustosa et al. (2008) citam a previsão de demanda, a gestão de estoques, os planejamentos agregado e mestre de produção, o planejamento das necessidades de materiais (*Material Requirement Planning* - MRP), o planejamento das necessidades de distribuição (*Distribution requirements planning* - DRP), os sistemas de informação, e outras ferramentas clássicas e convencionais que têm se mostrado eficientes em suas funções.

Entretanto, a inovação e o surgimento de novas tecnologias são processos contínuos em constante evolução, e empresas que buscam inovar seus métodos de PCP estão sempre à frente das demais. Um método alternativo e inovador é o uso da Pesquisa Operacional (PO) como ferramenta para o PCP.

A PO é definida por Fávero e Belfiore (2013) como "um ramo multidisciplinar que utiliza de um método científico para auxiliar a tomada de uma decisão". Segundo Silva et al. (2016), a PO tem impactado o modo de administração das empresas devido à variedade das suas aplicações. Os mesmos autores citam que além de servir como

base para estabelecer e aprimorar parâmetros, a identificação das possíveis relações entre os elementos em análise, a simplificação da visualização da amplitude das variáveis do processo, e a possibilidade de compreender relações complexas são algumas das vantagens que a PO pode proporcionar como ferramenta.

A programação linear é a principal técnica da PO, utilizada na solução de problemas de otimização que possuam todas as expressões matemáticas do tipo linear (NOGUEIRA, 2010). Dentre as diversas situações nas quais a programação linear é aplicável, Silva et al. (2016) citam “alocação de pessoal, mistura de materiais, distribuição, transporte, carteira de investimento e avaliação da eficiência”, ou seja, tal ferramenta possui grande aplicabilidade para o PCP, podendo ser primordial para a obtenção de bons resultados e o diferencial de uma empresa no mercado.

Dentre os diversos modelos matemáticos conhecidos da programação linear, o modelo do planejamento agregado da produção é aquele que estuda o balanceamento entre a produção e a demanda, considerando um período de tempo, visando atender uma demanda flutuante a custo mínimo (FÁVERO; BELFIORE, 2013).

### **1.1. O problema e sua importância**

As empresas têm enfrentado grandes desafios: margens de lucro menores, custos maiores e maior concorrência no mercado. As que obtêm vantagens competitivas no mercado, estão se voltando para os clientes, buscando conhecer suas necessidades, o sistema econômico no qual estão inseridas e facilitando a compra com uso dos meios de comunicação, através da tecnologia e da *internet* (MEIRIM et al., 2008).

Segundo a Fundação Dom Cabral – FDC (2014), o Brasil vem perdendo espaço no cenário competitivo mundial desde 2011. Em 2010, o País ocupava a 38ª posição no *ranking* do *World Competitiveness Yearbook*, o mais renomado e abrangente guia sobre competitividade mundial, e em 2014 já ocupava a 54ª posição. A FDC (2014) cita ainda que a competitividade brasileira de custos e as relações de trabalho ineficientes são alguns dos aspectos negativos da nossa economia, além de ressaltarem que todos os indicadores de produtividade do Brasil demonstram, desde 2011, que o País não está apto para suportar crescimentos produtivos a longo prazo.

A versatilidade e a qualidade dos produtos e dos processos são fundamentais para a sobrevivência da empresa no mercado, e isso cria uma exigência maior do PCP (SPRAKEL; SEVERINO FILHO, 1999). Segundo Vollman (1997, citado por SALOMON, 2004), "o mau desempenho do PCP tem sido a causa principal da falência de várias empresas no mundo todo".

Há necessidade de que os profissionais responsáveis por planejar e controlar a produção das organizações encontrem ferramentas de trabalho que permitam tornar este processo mais eficaz e eficiente. No PCP, a programação linear tem o objetivo de equacionar as restrições do processo produtivo, incorporando capacidades produtivas e gargalos de produção (LUCHESSA, 2002).

A programação linear é uma ferramenta pouco explorada no Brasil, no âmbito do PCP, e que possui potencial para transformar o modo como as empresas estão planejando e controlando suas produções, possibilitando, por exemplo, a minimização dos custos. Além disto, a utilização de tal ferramenta favorece a maximização de fatores positivos, como receita e lucro, que melhorariam as condições atuais das empresas e, conseqüentemente, suas condições competitivas.

Pequenas e médias indústrias de base florestal, principalmente serrarias e marcenarias, são exemplos de indústrias brasileiras que poderiam estar obtendo vantagens por meio do uso da programação linear. Batista, Silva e Corteletti (2013) mostram em seu estudo que serrarias possuem potencial para aumentarem seus desempenhos se contratassem profissionais especializados em PCP. Se o profissional contratado utilizasse o planejamento agregado da produção esse potencial seria maximizado, uma vez seria possível prever produções diárias, horas de trabalho e estocagem, minimizando custos de produção e maximizando lucros.

Com base nisto, o presente trabalho tem o objetivo de gerar informações sobre a utilização da programação linear na proposta de modelos matemáticos de PCP, visando estimular a ampliação do uso desta ferramenta por pequenas e médias empresas brasileiras de base florestal, aumentando a eficiência e eficácia do PCP.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo geral**

Propor um modelo matemático de planejamento e controle da produção para serrarias de pequeno porte, a médio prazo, utilizando programação linear com a abordagem do planejamento agregado da produção.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Considerar diversos cenários de variação de demanda.
- Avaliar o impacto da variação da demanda no PCP.
- Avaliar o impacto da alteração de parâmetros dos modelos no PCP.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Competitividade de uma organização

Segundo Padilha (2009), para que as empresas possam ser competitivas, é preciso analisar o seu mercado de atuação. Estes, geralmente, não estão claramente delimitados em termos dos produtos comercializados, de sua abrangência, dos concorrentes e das condições que determinam a capacidade competitiva de cada um.

O mesmo autor afirma que o entendimento do mercado e do processo de concorrência requer uma atenção especial no processo de decisão das organizações sobre o que e como produzir, a criação de capacidade competitiva e os espaços de mercado a serem ocupados - elementos ativos que buscam modificar suas próprias condições de competir. Assim, qualquer inovação introduzida em uma organização modifica também o poder dos diversos participantes do mercado, alterando o seu próprio ambiente de seleção. Neste contexto, as organizações objetivam desenvolver seus produtos, conquistando uma maior fatia de mercado, para, assim, obterem maiores lucros.

Sousa, Soares e Silva (2010) afirmam a importância de se conhecer o perfil competitivo das empresas, objetivando orientar a formulação de estratégias e propor medidas de políticas que possam contribuir para intensificar o grau de competitividade entre elas.

As organizações adotam estratégias competitivas de acordo com a avaliação que fazem do seu desempenho no passado e, principalmente, com base em suas expectativas. Dessa forma, elas tendem a reformular, continuamente, as suas estratégias competitivas, em decorrência de variações, dentre outros, do seu estoque de capital, da demanda, dos preços dos fatores de produção, do estado da arte das técnicas, das estratégias das demais competidoras e das expectativas (PADILHA, 2009).

De acordo com Haguenaer (1989, citado por PADILHA, 2009), a competitividade é vista como um desempenho, por meio de medidas de algo que já aconteceu, seu principal indicador será a participação no mercado, onde são consideradas competitivas as indústrias que ampliam sua participação na oferta de determinados produtos. Nessa visão, segundo Ferraz et al. (1995, citado por HOFF;

SIMIONI; BRAND, 2006) é a demanda no mercado que estará definindo a posição competitiva das mesmas.

Hoff, Simioni e Brand (2006) afirmam que quando a competitividade é vista pela sua obtenção (associada à sua eficiência), seus indicadores mais utilizados são os comparativos de custos e preços, os coeficientes técnicos ou a produtividade dos fatores. Assim, a competitividade é analisada como característica estrutural, na qual as empresas ou indústrias consideradas competitivas são aquelas que possuem a capacidade de produzir determinados bens de forma mais eficiente ou com o mesmo nível de eficiência de outras economias (HAGUENAUER, citado por PADILHA, 2009). Neste caso, o produtor que, ao escolher as técnicas de produção e marketing a serem adotadas na empresa, estará definindo a sua competitividade (FERRAZ et al., 1995, citado por HOFF; SIMIONI; BRAND, 2006).

Stevenson (2001) afirma que essa busca por vantagens competitivas abrange cinco principais maneiras de competir: o preço, a qualidade, a diferenciação, a flexibilidade e o tempo.

O preço é a quantia que um cliente deve pagar pelo produto ou serviço [...]. A qualidade refere-se aos materiais e a mão-de-obra, assim como ao projeto; ela geralmente está relacionada com as percepções do comprador sobre quão bem o produto ou serviço irá atender seu propósito. A diferenciação do produto refere-se a quaisquer características especiais [...] que levam um produto ou serviço a ser percebido pelo comprador com mais adequado do que o produto ou serviço do concorrente. Flexibilidade é a capacidade de responder a mudanças [...]. O tempo está relacionado com uma série de diferentes aspectos das operações de uma organização; um deles é a rapidez com que o produto ou serviço é fornecido para um cliente, o outro é a rapidez com que novos produtos ou serviços são desenvolvidos e levados ao mercado, e ainda outro é a velocidade com que são feitas as melhorias nos produtos ou processos (STEVENSON, 2001).

Desta forma as empresas devem encontrar meios de otimizar todo o processo produtivo para conseguirem alavancar seus potenciais competitivos e se manterem estáveis no mercado global.

## **2.2. Serrarias brasileiras**

A Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI (2009) afirma que as serrarias brasileiras são, em sua maioria, de pequeno e médio porte, com baixo nível tecnológico, nas quais grande parcela da produção é baseada em madeira oriunda de florestas nativas, e as madeiras oriunda de florestas

plantadas vem ganhando cada vez mais espaço, já alcançando grandes números, sendo eucalipto e pinus as espécies mais utilizadas neste caso.

### **2.3. Planejamento e controle da produção – PCP**

Tendo em vista todo o cenário competitivo global, o PCP deve ser um fator primordial dentro das empresas, uma vez que as suas decisões são baseadas, entres outros aspectos, no conhecimento dos fatores econômicos, de mercado, da engenharia, e da capacidade de produção (NANCI et al., 2008).

Gomes (2014) defende a ideia de que o PCP é uma ferramenta estratégica de competição principalmente para as pequenas empresas. Em seu estudo, a autora ressalta a necessidade da aplicação do PCP dentro das organizações, demonstrando como o trabalho do PCP tem se mostrado eficiente em alavancar vantagens competitivas nas empresas.

Souza (2008) apresenta várias definições encontradas na literatura para o PCP. Em suma, PCP pode ser definido como um conjunto de ações que visam determinar meios para se atingir objetivos pré-estabelecidos, sendo estes atingidos da melhor maneira possível, ou seja, da forma mais eficiente e eficaz.

De acordo com Russomano (2000) as funções do PCP são “definição das quantidades a produzir, gestão de estoques, emissão de ordens de produção, programação das ordens de fabricação, movimentação das ordens de fabricação e acompanhamento da produção”.

Lara Jr. (1990, citado por Gomes, 2014) afirma que tal ferramenta permite que as organizações atendam às necessidades de seus clientes quanto ao prazo de entrega, à qualidade e aos custos, levando em consideração ainda o uso racional dos seus recursos - humano, material e maquinário.

As decisões tomadas dentro do PCP obedecem uma ordem hierárquica, na qual cada nível é responsável por tomar diferentes tipos de decisões. De acordo com Nanci et al. (2008), o nível estratégico é responsável por definir as políticas estratégicas a longo prazo - isso inclui a capacidade da planta de produção, a previsão da demanda e até mesmo o *mix* de produtos a ser produzido, já o nível tático estabelece as medidas à médio prazo, com decisões como o sistema de produção a ser adotado, a organização e o *layout* de produção, o custo e o preço final dos produtos, enquanto o nível operacional define os planos a curto prazo, como por exemplo o gerenciamento de estoque e ordens de produção.

Nanci et al. (2008) afirmam que o PCP tem a capacidade de integralização e articulação, o que faz com ele atue reduzindo conflitos entre as funções organizacionais de finanças, produção e vendas, além de estabelecer parâmetros a serem levados em conta durante processos decisórios e considerar aspectos econômicos e financeiros, trazendo resultados positivos para a empresa.

#### **2.4. Pesquisa Operacional (PO) e Programação Linear**

A PO é uma ciência aplicável a todas as áreas das atividades humanas devido à sua multidisciplinariedade (TEIXEIRA, 2011). Segundo Oliveira (2005), a mesma oferece inúmeras ferramentas que auxiliam o processo decisório e permitem a elaboração de modelos matemáticos que representem significativamente um problema a ser otimizado na realidade de uma empresa.

Fávero e Belfiore (2013) afirmam que a realidade de uma organização é muito complexa, e por ser capaz de simplificar esta realidade por meio de modelos matemáticos, a PO vem ganhando espaço significativo nas empresas. Os principais elementos que compõem um modelo são as variáveis de decisão e parâmetros, restrições e a função objetivo. A PO possui diversas ferramentas para a modelagem dos modelos matemáticos e a programação linear é a principal delas.

Segundo Teixeira (2011), a programação linear é uma técnica que faz uso de ferramentas matemáticas para otimizar operações, sendo ideal para resolver problemas que possam ser representados por expressões lineares.

Costa e Silva (2010) propuseram um modelo matemático para a resolução do problema de PCP em uma indústria de panificação utilizando programação linear, visando atender a demanda dentro dos prazos, otimizando o uso dos equipamentos e evitando desperdícios. Como resultado, os autores obtiveram um modelo matemático que resolveu satisfatoriamente o problema da panificadora, permitindo que a empresa atendesse eficientemente um pedido de até 1,33 toneladas em um turno de oito horas.

Garcia et al (2015) utilizaram a programação linear como ferramenta de gerenciamento de estoque em uma loja de eletrônicos a fim de minimizar os custos de estocagem. Os resultados obtidos por tais autores foram satisfatórios uma vez que o modelo matemático proporcionou o estabelecimento de quantidades ótimas de produção, possibilitando um aumento na margem de lucro.

Frossard (2009) demonstra a importância da programação linear como ferramenta para a solução de problemas com custos, e conclui que tal ferramenta, juntamente com o PCP, permite identificar o resultado ótimo que pode ser obtido por uma empresa.

De acordo com Fávero e Belfiore (2013) existem vários modelos matemáticos dentro da programação linear que possuem grande aplicabilidade para o PCP, dentre eles estão os modelos do *mix* de produção, do problema da produção e estoque, e do planejamento agregado da produção.

#### **2.4.1. Método científico**

A ciência observa fenômenos naturais, sociais e econômicos, buscando entender as leis que regem esses sistemas ou processos. Em muitos casos é possível descrever estas relações por meio de relações matemáticas, que darão origem aos modelos matemáticos (ARENALES et al., 2007).

O processo de modelagem é composto por cinco fases: identificação do problema, formulação do modelo, solução do modelo, validação do modelo e implementação da solução.

De acordo com Fávero e Belfiore (2013), as etapas da modelagem são:

1. Identificação do problema: são definidos os objetivos a serem alcançados, as limitações do sistema, as interações que ocorrem no sistema, e qual será o método de resolução do modelo.
2. Formulação do modelo: definição de equações e inequações com base nos itens relacionados na etapa anterior, formulando o modelo.
3. Solução do modelo: o modelo proposto na etapa dois é solucionado por meio de algum método de solução, como por exemplo o método Simplex para modelos de programação linear.
4. Validação do modelo: um modelo é validado quando ele consegue prever de maneira aceitável o comportamento do sistema estudado.
5. Implementação da solução: uma vez validado o modelo inicia-se a implementação deste. Esta etapa deve ser monitorada e avaliada, buscando identificar possíveis mudanças e corrigi-las, observando se os objetivos foram alcançados.

É comum ocorrer equívocos durante a modelagem, por isso, existem casos em que se faz necessário voltar em alguma etapa anterior, revisá-la e reformular o modelo (ARENABLES et al., 2007).

#### **2.4.2. Modelo matemático**

Um modelo matemático é uma representação simplificada de um problema real, que deve ser detalhado o suficiente para conseguir captar os elementos essenciais do problema e ao mesmo tempo ser tratável por algum método de solução (ARENABLES et al., 2007).

Segundo Arenales et al. (2007), para elaborar um modelo matemático é preciso levar em consideração simplificações do sistema ou problema real, sendo que a validação do modelo estará em função da coerência do modelo matemático com a realidade.

Quatro elementos principais compõem o modelo matemático: variáveis de decisão, parâmetros, função objetivo e restrições.

De acordo com Fávero e Befiore (2013), as variáveis de decisão são as incógnitas a serem determinadas na resolução do modelo, enquanto os parâmetros são os valores fixos conhecidos do sistema.

Já a função objetivo é uma função matemática que determina o objetivo a ser alcançado em função das variáveis de decisão e dos parâmetros; a função objetivo pode objetivar a maximização ou a minimização de algum fator. As restrições levam em consideração as restrições físicas do sistema, e são um conjunto de equações e inequações as quais as variáveis de decisão devem satisfazer (FÁVERO; BEFIORE, 2013)

Resumindo, em um modelo matemático são definidas variáveis e relações matemáticas entre estas variáveis que sejam capazes de descrever o comportamento do sistema. (ARENABLES et al., 2007).

#### **2.4.3. Modelo matemático do planejamento agregado da produção**

O modelo do planejamento agregado da produção tem o objetivo de estudar o balanceamento entre a produção e a demanda, considerando um período de tempo

de médio prazo, visando atender uma demanda flutuante a custo mínimo. Este modelo se enquadra na abordagem da Programação Linear. (FÁVERO; BELFIORE, 2013).

Paiva e Morabito (2007) apresentaram um modelo matemático para planejamento agregado da produção para uma usina de açúcar e álcool do estado de Alagoas, e observaram a proposta do modelo foi válida e funcionou como auxiliadora no PCP, proporcionando agilidade, facilidade e confiabilidade às análises, além de ter contribuído para uma melhor compreensão das variáveis do processo produtivo.

Os mesmos autores destacaram algumas vantagens na utilização deste modelo, como: permitir a visualização de forma mais clara e objetiva do planejamento e do processo de produção, propiciar a integração da etapa industrial com as demais áreas envolvidas, melhorar as tomadas de decisões, e ajudar na correção rápida de erros durante o processo.

Donato, Mayerle e Figueredo (2008) utilizaram do modelo de planejamento agregado para balancear variáveis críticas do planejamento de médio prazo a fim de elaborar um plano de produção que seja viável e maximize os resultados positivos de uma indústria de metal-mecânica. Os autores concluíram que o modelo forneceu à empresa, a visibilidade sobre os clientes e produtos que trazem maior retorno, fazendo com que a empresa possuísse assim uma ferramenta auxiliadora na sua estratégia de vendas e marketing.

Segundo Fávero e Belfiore (2007) o modelo tem a seguinte forma:

- Parâmetros do modelo:

$P_t$  : produção total no período t.

$D_t$  : demanda total no período t.

$h_t$  : custo unitário de produção (horas normais) no período t.

$he_t$  : custo unitário de produção (horas extras) no período t.

$s_t$  : custo unitário de produção subcontratada no período t.

$cf_t$  : custo de uma unidade adicional (horas normais) no período t com a contratação de funcionários do período t-1 para o período t.

$df_t$  : custo de uma unidade cancelada no período t com a demissão de funcionários do período t-1 para o período t.

$l_t$  : custo unitário de manutenção do estoque no período t para o período t+1.

$E_t^{\max}$  : capacidade máxima de armazenagem no período t (unidades).

$H_t^{\max}$ : capacidade máxima de produção em horas normais no período t (unidades).

$HE_t^{\max}$ : capacidade máxima de produção em horas extras no período t (unidades).

$S_t^{\max}$ : capacidade máxima de produção subcontratada no período t (unidades).

- Variáveis de decisão:

$E_t$ : estoque final no período t (unidades)

$H_t$ : produção regular (horas normais) no período t (unidades)

$HE_t$ : produção em horas extras no período t (unidades)

$S_t$ : produção com mão-de-obra subcontratada no período t (unidades)

$CF_t$ : produção adicional no período t com a contratação de funcionários do período t-1 para o período t (unidades)

$DF_t$ : produção cancelada no período t com a demissão de funcionários do período t-1 para o período t (unidades)

- Formulação geral:

$$\min z = \sum_{t=1}^T (h_t H_t + h e_t H E_t + s_t S_t + c f_t C F_t + d f_t D F_t + e_t E_t)$$

Sujeito a:

$$E_t = E_{t-1} + P_t - D_t$$

$$P_t = H_t + H E_t + S_t$$

$$H_t = H_{t-1} + C F_t - D F_t$$

$$E_t \leq E_t^{\max}$$

$$H_t \leq H_t^{\max}$$

$$H E_t \leq H E_t^{\max}$$

$$S_t \leq S_t^{\max}$$

$$H_t, H E_t, S_t, C F_t, D F_t, E_t \geq 0 \text{ para } t=1, \dots, T$$

## 2.5. Métodos de solução e software

Após a elaboração do modelo matemático é preciso solucioná-lo e para a solução de modelos matemáticos são utilizados métodos de solução e algoritmos (ARENALES et al., 2007).

Existem vários métodos para solucionar um modelo matemático de Programação Linear, dentre eles estão a solução gráfica, a solução analítica, a solução Simplex, e a solução por computador.

A solução gráfica utiliza meios gráficos para resolver modelos com até três variáveis e solução analítica faz uma análise de todas as possíveis combinações das variáveis, restrição por restrição, e escolhe a melhor, sendo assim um método impraticável para problemas com muitas variáveis e equações (FÁVERO; BELFIORE, 2013).

O método Simplex é um algoritmo muito utilizado na resolução de modelos matemáticos de programação linear. "Este é um método iterativo que parte de uma solução básica factível inicial e busca, a cada interação, uma nova solução básica factível, chamada solução básica factível adjacente, com melhor valor na função objetivo, até que o valor ótimo seja atingido" (FÁVERO; BELFIORE, 2013). Segundo Arenales et al. (2007), o método Simplex tem sido muito utilizado na resolução de problemas práticos.

Fávero e Belfiore (2013) afirmam que apesar de ser importante o entendimento dos mecanismos de solução já citados, para minimizar o tempo de solução de um modelo, os mesmos podem ser resolvidos por computador, utilizando softwares específicos.

De acordo com Lachtermacher (2007), existem muitos softwares para solução dos modelos matemáticos, tais como o Lotus, o Quatro-Pro, o LINGO, que destaca-se por sua fácil usabilidade, e o Excel, que é o mais popular no Brasil.

## **2.6. Análise de sensibilidade e pós-otimalidade**

Na programação linear estima-se os parâmetros com base em previsões futuras, podendo ocorrer mudanças até que ocorra a implementação da solução final. Devido a isto, é muito importante o uso da análise de sensibilidade (FÁVERO; BELFIORE, 2013).

Segundo Fávero e Belfiore (2013) a análise de sensibilidade investiga os efeitos que as alterações nos parâmetros do modelo causariam na função objetivo. Lachtermacher (2007) afirmam que é preciso responder a três perguntas em uma análise de sensibilidade: (1) Qual o efeito de uma mudança em um coeficiente da função objetivo? (2) Qual o efeito de uma mudança em uma constante de uma restrição? e (3) Qual o efeito de uma mudança em uma restrição?

Lanchtermacher (2007) afirma que o modo mais simples de realizar a análise de sensibilidade é fazê-la graficamente primeiro e depois generalizar o resultado para um número maior de variáveis.

A análise de sensibilidade pode ser empregada de duas formas. A primeira forma é no estudo da variação que os coeficientes da função objetivo e as constantes do lado direito de cada restrição podem assumir sem alterar a solução ótima, e a segunda forma é a chamada análise de sensibilidade pós-otimalidade (FÁVERO; BELFIORE, 2013).

De acordo com Fávero e Belfiore (2013), a pós-otimalidade é utilizada quando a solução ótima do modelo é afetada após mudanças nos parâmetros, fazendo-se necessário recalcular a nova solução ótima do modelo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Classificação da pesquisa**

O trabalho é classificado como uma pesquisa aplicada, pois o objetivo foi a geração de conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas específicos, e de caráter experimental por se tratar de uma investigação empírica na qual foram manipuladas e investigadas determinadas variáveis a fim de avaliar os resultados obtidos.

#### **3.2. Dados da pesquisa**

Adotou-se como base de dados da serraria os valores obtidos por Batista, Silva e Corteletti (2013), que estudaram a eficiência de uma serraria de pequeno porte que trabalha com madeira de eucalipto.

As informações referentes a salário, jornada de trabalho e horas extras de trabalho foram obtidas nas leis trabalhistas da Consolidação das Leis Trabalhistas – CLT e o salário mínimo adotado foi o atual, que segundo Guia Trabalhista (2016) é R\$ 880,00.

O valor da madeira serrada e a capacidade máxima de estocagem foram estipulados com base em padrões encontrados no mercado (M.F. RURAL, 2016; VIVA REAL, 2016). A taxa de oportunidade foi obtida na tabela da taxa de juros Selic da Receita Federal do Brasil (2016), sendo adotado a taxa do mês de setembro do ano de 2016 por ser a última atualização.

Adotou-se para a capacidade máxima de produção em horas normais, ou seja, em uma jornada de 8 horas diária, o valor médio de produção da serraria (40m<sup>3</sup>/dia). O intervalo de tempo adotado foi dia, pois os dados de uma serraria, como observado na maioria dos trabalhos publicados no tema, normalmente são dispostos nesta unidade de tempo.

Todos os dados estão dispostos na Tabela 1. Os demais dados, não citados anteriormente, foram calculados com base nos demais dados adotados e estipulados.

Tabela 1 – Dados adotados e estipulados no trabalho.

<b>Dados da Serraria (BATISTA; SILVA; CORTELETTI, 2013)</b>	
Número de funcionários ligados à produção	8 operários
Produção média	40m <sup>3</sup> /dia
<b>Dados oriundos da CLT (BRASIL, 1943)</b>	
Jornada de trabalho	8 horas
Horas extras máxima permitida	2 horas
Salário mínimo	R\$ 880,00
Valor da hora/dia de trabalho	R\$ 4,00/h ou 29,33/dia
Valor da hora extra	R\$ 6,00/h
<b>Dados de outras Fontes</b>	
Valor da madeira serrada de eucalipto (M.F. RURAL, 2016)	R\$ 700,00/m <sup>3</sup>
Taxa de oportunidade (RECEITA FEDERAL DO BRASIL, 2016)	1,11%
<b>Dados Calculados</b>	
Capacidade máxima de produção em horas extras de trabalho	13m <sup>3</sup> /dia
Custo de produção em hora normal de trabalho	R\$ 5,87/m <sup>3</sup>
Custo de produção em hora extra de trabalho	R\$ 7,38/m <sup>3</sup>
Custo de estocagem	R\$ 0,23/m <sup>3</sup> /dia
Capacidade máxima de estocagem (considerando um galpão de 350m <sup>3</sup> e utilização de 70%)	245 m <sup>3</sup>

O custo com a mão-de-obra é R\$ 29,33/dia/funcionário, considerando os oito funcionários, tem-se um custo total de R\$ 234,64/dia. Admitindo que a serraria trabalhe na capacidade máxima de produção, que são 40m<sup>3</sup>/dia, obteve-se o custo de produção por m<sup>3</sup> de madeira serrada, tanto para horas normais, quanto para horas extras de trabalho.

O custo de estocagem foi considerado como sendo o custo de oportunidade, que é obtido com a multiplicação de  $i$  (taxa de oportunidade), do  $c$  (custo unitário) e de  $t$  (tempo do item no estoque - um dia).

Para a previsão de demanda adotou-se um período de três meses. Os valores diários e mensais da demanda são valores hipotéticos, adotados para que houvessem três tipos de demanda: demanda inferior à capacidade produtiva (740m<sup>3</sup>/mês),

demanda igual à capacidade produtiva (800m<sup>3</sup>/mês) e demanda superior à capacidade produtiva (1100m<sup>3</sup>/mês). Com esses três tipos de demanda definiu-se quatro cenários possíveis para o comportamento da demanda ao longo dos três meses de previsão: demanda crescente, demanda decrescente, depressão de demanda e pico de demanda, respectivamente (Figura 1).

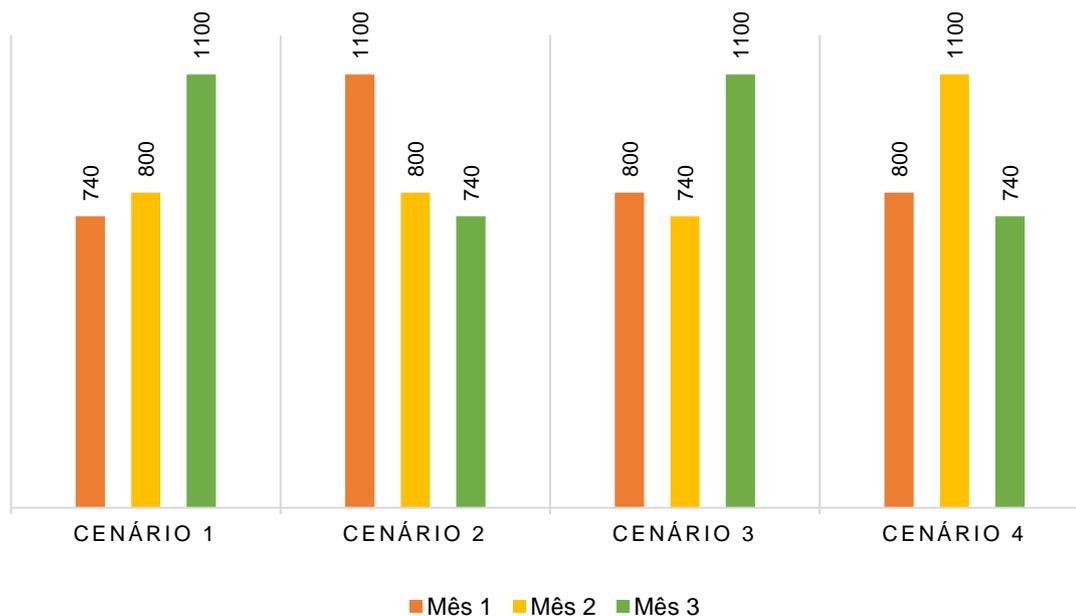


Figura 1 – Demandas adotadas

Na Tabela 2, estão dispostos os valores diários e mensais de previsão da demanda para os quatro cenários. Considerou-se uma serraria que funciona 20 dias por mês, totalizando ao final de três meses 60 dias de trabalho.

Tabela 2: Previsão de demanda diária e mensal para as quatro situações estudadas

Dia	Situação 1			Situação 2			Situação 3			Situação 4		
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 1	Mês 2	Mês 3
1	38	41	46	46	41	38	41	38	46	41	46	38
2	40	38	57	57	38	40	38	40	57	38	57	40
3	34	38	44	44	38	34	38	34	44	38	44	34
4	37	41	65	65	41	37	41	37	65	41	65	37
5	34	41	70	70	41	34	41	34	70	41	70	34
6	39	38	62	62	38	39	38	39	62	38	62	39
7	40	41	56	56	41	40	41	40	56	41	56	40
8	36	41	46	46	41	36	41	36	46	41	46	36
9	39	38	47	47	38	39	38	39	47	38	47	39
10	34	40	40	40	40	34	40	34	40	40	40	34
11	33	40	58	58	40	33	40	33	58	40	58	33
12	34	41	61	61	41	34	41	34	61	41	61	34
13	36	42	57	57	42	36	42	36	57	42	57	36
14	39	40	69	69	40	39	40	39	69	40	69	39
15	38	40	44	44	40	38	40	38	44	40	44	38
16	37	40	43	43	40	37	40	37	43	40	43	37
17	37	38	51	51	38	37	38	37	51	38	51	37
18	39	41	47	47	41	39	41	39	47	41	47	39
19	37	41	69	69	41	37	41	37	69	41	69	37
20	39	40	68	68	40	39	40	39	68	40	68	39
<b>Total</b>	<b>740</b>	<b>800</b>	<b>1100</b>	<b>1100</b>	<b>800</b>	<b>740</b>	<b>800</b>	<b>740</b>	<b>1100</b>	<b>800</b>	<b>1100</b>	<b>740</b>

### 3.3. Modelo matemático do planejamento agregado da produção

Neste trabalho, eliminou-se os parâmetros,  $x$ , do modelo matemático do planejamento agregado da produção, conforme Belfiore..., pois estes não se aplicam na realidade do sistema em estudo. Deste modo, o modelo considerou os seguintes parâmetros e relações matemáticas:

- Parâmetros do modelo:

$P_t$  : produção total no período  $t$  ( $m^3$ ).

$D_t$  : demanda total no período  $t$  ( $m^3$ ).

$h_t$  : custo unitário de produção (horas normais) no período  $t$  (R\$/ $m^3$ ).

$he_t$  : custo unitário de produção (horas extras) no período  $t$  (R\$/ $m^3$ ).

$e_t$  : custo unitário de manutenção do estoque no período  $t$  para o período  $t+1$  (R\$/ $m^3$ /dia).

$E_t^{max}$  : capacidade máxima de armazenagem no período  $t$  ( $m^3$ /dia).

$H_t^{max}$  : capacidade máxima de produção em horas normais no período  $t$  ( $m^3$ ).

$HE_t^{max}$  : capacidade máxima de produção em horas extras no período  $t$  ( $m^3$ ).

$t$  : número do dia, de 1 a 60, considerando 20 dias por mês e 3 meses de produção

- Variáveis de decisão:

$E_t$  : estoque final no período  $t$  ( $m^3$ )

$H_t$  : produção regular (horas normais) no período  $t$  ( $m^3$ )

$HE_t$  : produção em horas extras no período  $t$  ( $m^3$ )

- Formulação geral:

$$\min z = \sum_{t=1}^T (h_t H_t + he_t HE_t + e_t E_t)$$

Sujeito a:

$$E_t = E_{t-1} + P_t - D_t$$

$$P_t = H_t + HE_t$$

$$E_t \leq E_t^{max}$$

$$H_t \leq H_t^{max}$$

$$HE_t \leq HE_t^{max}$$

$$H_t, HE_t, E_t \geq 0 \text{ para } t=1, \dots, T$$

O software LINGO 9.0 foi utilizado para solucionar os modelos, ou seja, para encontrar a solução ótima que produz o menor custo total (produção e estocagem) atendendo às restrições para cada um dos quatro cenários avaliados. Este mesmo software foi utilizado para gerar a Análise de Sensibilidade, a fim de avaliar o impacto de mudanças pontuais nos parâmetros dos modelos, na solução dos mesmos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Variáveis de decisão, parâmetros e restrições

As variáveis de decisão e as restrições foram as mesmas para todos os cenários propostos no trabalho. No entanto, como a previsão de demanda foi diferente em cada situação estudada, o  $E_t$  foi diferente para cada situação.

A seguir estão apresentadas as variáveis de decisão e as restrições (Tabela 3) e as equações de  $E_t$  para cada situação (Tabela 4). Os parâmetros  $h_t$ ,  $he_t$ ,  $e_t$ ,  $H^{\max}_t$  e  $HE^{\max}_t$  são os valores fixos 5,87 R\$/m<sup>3</sup>, 7,38 R\$/m<sup>3</sup>, 0,23 R\$/m<sup>3</sup>/dia, 40m<sup>3</sup>/dia e 13m<sup>3</sup>/dia, respectivamente, e o parâmetro  $P_t$  assumiu valores variando  $t$  de 1 a 60.

Tabela 3: Variáveis de decisão e restrições dos modelos

Dia	Variáveis de decisão			Restrições			
	$H_t$	$HE_t$	$E_t$	$P_t = H_t + HE_t$	$E_t \leq E^{\max}_t$	$H_t \leq H^{\max}_t$	$HE_t \leq HE^{\max}_t$
1	H1	HE1	E1	$P1 = H1 + HE1$	$E1 \leq 245$	$H1 \leq 40$	$HE1 \leq 13$
2	H2	HE2	E2	$P2 = H2 + HE2$	$E2 \leq 245$	$H2 \leq 40$	$HE2 \leq 13$
3	H3	HE3	E3	$P3 = H3 + HE3$	$E3 \leq 245$	$H3 \leq 40$	$HE3 \leq 13$
4	H4	HE4	E4	$P4 = H4 + HE4$	$E4 \leq 245$	$H4 \leq 40$	$HE4 \leq 13$
5	H5	HE5	E5	$P5 = H5 + HE5$	$E5 \leq 245$	$H5 \leq 40$	$HE5 \leq 13$
6	H6	HE6	E6	$P6 = H6 + HE6$	$E6 \leq 245$	$H6 \leq 40$	$HE6 \leq 13$
7	H7	HE7	E7	$P7 = H7 + HE7$	$E7 \leq 245$	$H7 \leq 40$	$HE7 \leq 13$
8	H8	HE8	E8	$P8 = H8 + HE8$	$E8 \leq 245$	$H8 \leq 40$	$HE8 \leq 13$
9	H9	HE9	E9	$P9 = H9 + HE9$	$E9 \leq 245$	$H9 \leq 40$	$HE9 \leq 13$
10	H10	HE10	E10	$P10 = H10 + HE10$	$E10 \leq 245$	$H10 \leq 40$	$HE10 \leq 13$
11	H11	HE11	E11	$P11 = H11 + HE11$	$E11 \leq 245$	$H11 \leq 40$	$HE11 \leq 13$
12	H12	HE12	E12	$P12 = H12 + HE12$	$E12 \leq 245$	$H12 \leq 40$	$HE12 \leq 13$
13	H13	HE13	E13	$P13 = H13 + HE13$	$E13 \leq 245$	$H13 \leq 40$	$HE13 \leq 13$
14	H14	HE14	E14	$P14 = H14 + HE14$	$E14 \leq 245$	$H14 \leq 40$	$HE14 \leq 13$
15	H15	HE15	E15	$P15 = H15 + HE15$	$E15 \leq 245$	$H15 \leq 40$	$HE15 \leq 13$
16	H16	HE16	E16	$P16 = H16 + HE16$	$E16 \leq 245$	$H16 \leq 40$	$HE16 \leq 13$
17	H17	HE17	E17	$P17 = H17 + HE17$	$E17 \leq 245$	$H17 \leq 40$	$HE17 \leq 13$
18	H18	HE18	E18	$P18 = H18 + HE18$	$E18 \leq 245$	$H18 \leq 40$	$HE18 \leq 13$
19	H19	HE19	E19	$P19 = H19 + HE19$	$E19 \leq 245$	$H19 \leq 40$	$HE19 \leq 13$
20	H20	HE20	E20	$P20 = H20 + HE20$	$E20 \leq 245$	$H20 \leq 40$	$HE20 \leq 13$
21	H21	HE21	E21	$P21 = H21 + HE21$	$E21 \leq 245$	$H21 \leq 40$	$HE21 \leq 13$
22	H22	HE22	E22	$P22 = H22 + HE22$	$E22 \leq 245$	$H22 \leq 40$	$HE22 \leq 13$

23	H23	HE23	E23	$P23 = H23 + HE23$	$E23 \leq 245$	$H23 \leq 40$	$HE23 \leq 13$
24	H24	HE24	E24	$P23 = H23 + HE23$	$E24 \leq 245$	$H24 \leq 40$	$HE24 \leq 13$
25	H25	HE25	E25	$P23 = H23 + HE23$	$E25 \leq 245$	$H25 \leq 40$	$HE25 \leq 13$
26	H26	HE26	E26	$P23 = H23 + HE23$	$E26 \leq 245$	$H26 \leq 40$	$HE26 \leq 13$
27	H27	HE27	E27	$P23 = H23 + HE23$	$E27 \leq 245$	$H27 \leq 40$	$HE27 \leq 13$
28	H28	HE28	E28	$P23 = H23 + HE23$	$E28 \leq 245$	$H28 \leq 40$	$HE28 \leq 13$
29	H29	HE29	E29	$P23 = H23 + HE23$	$E29 \leq 245$	$H29 \leq 40$	$HE29 \leq 13$
30	H30	HE30	E30	$P23 = H23 + HE23$	$E30 \leq 245$	$H30 \leq 40$	$HE30 \leq 13$
31	H31	HE31	E31	$P23 = H23 + HE23$	$E31 \leq 245$	$H31 \leq 40$	$HE31 \leq 13$
32	H32	HE32	E32	$P23 = H23 + HE23$	$E32 \leq 245$	$H32 \leq 40$	$HE32 \leq 13$
33	H33	HE33	E33	$P23 = H23 + HE23$	$E33 \leq 245$	$H33 \leq 40$	$HE33 \leq 13$
34	H34	HE34	E34	$P23 = H23 + HE23$	$E34 \leq 245$	$H34 \leq 40$	$HE34 \leq 13$
35	H35	HE35	E35	$P23 = H23 + HE23$	$E35 \leq 245$	$H35 \leq 40$	$HE35 \leq 13$
36	H36	HE36	E36	$P23 = H23 + HE23$	$E36 \leq 245$	$H36 \leq 40$	$HE36 \leq 13$
37	H37	HE37	E37	$P23 = H23 + HE23$	$E37 \leq 245$	$H37 \leq 40$	$HE37 \leq 13$
38	H38	HE38	E38	$P23 = H23 + HE23$	$E38 \leq 245$	$H38 \leq 40$	$HE38 \leq 13$
39	H39	HE39	E39	$P23 = H23 + HE23$	$E39 \leq 245$	$H39 \leq 40$	$HE39 \leq 13$
40	H40	HE40	E40	$P23 = H23 + HE23$	$E40 \leq 245$	$H40 \leq 40$	$HE40 \leq 13$
41	H41	HE41	E41	$P23 = H23 + HE23$	$E41 \leq 245$	$H41 \leq 40$	$HE41 \leq 13$
42	H42	HE42	E42	$P23 = H23 + HE23$	$E42 \leq 245$	$H42 \leq 40$	$HE42 \leq 13$
43	H43	HE43	E43	$P23 = H23 + HE23$	$E43 \leq 245$	$H43 \leq 40$	$HE43 \leq 13$
44	H44	HE44	E44	$P23 = H23 + HE23$	$E44 \leq 245$	$H44 \leq 40$	$HE44 \leq 13$
45	H45	HE45	E45	$P23 = H23 + HE23$	$E45 \leq 245$	$H45 \leq 40$	$HE45 \leq 13$
46	H46	HE46	E46	$P23 = H23 + HE23$	$E46 \leq 245$	$H46 \leq 40$	$HE46 \leq 13$
47	H47	HE47	E47	$P23 = H23 + HE23$	$E47 \leq 245$	$H47 \leq 40$	$HE47 \leq 13$
48	H48	HE48	E48	$P23 = H23 + HE23$	$E48 \leq 245$	$H48 \leq 40$	$HE48 \leq 13$
49	H49	HE49	E49	$P23 = H23 + HE23$	$E49 \leq 245$	$H49 \leq 40$	$HE49 \leq 13$
50	H50	HE50	E50	$P23 = H23 + HE23$	$E50 \leq 245$	$H50 \leq 40$	$HE50 \leq 13$
51	H51	HE51	E51	$P23 = H23 + HE23$	$E51 \leq 245$	$H51 \leq 40$	$HE51 \leq 13$
52	H52	HE52	E52	$P23 = H23 + HE23$	$E52 \leq 245$	$H52 \leq 40$	$HE52 \leq 13$
53	H53	HE53	E53	$P23 = H23 + HE23$	$E53 \leq 245$	$H53 \leq 40$	$HE53 \leq 13$
54	H54	HE54	E54	$P23 = H23 + HE23$	$E54 \leq 245$	$H54 \leq 40$	$HE54 \leq 13$
55	H55	HE55	E55	$P23 = H23 + HE23$	$E55 \leq 245$	$H55 \leq 40$	$HE55 \leq 13$
56	H56	HE56	E56	$P23 = H23 + HE23$	$E56 \leq 245$	$H56 \leq 40$	$HE56 \leq 13$
57	H57	HE57	E57	$P23 = H23 + HE23$	$E57 \leq 245$	$H57 \leq 40$	$HE57 \leq 13$
58	H58	HE58	E58	$P23 = H23 + HE23$	$E58 \leq 245$	$H58 \leq 40$	$HE58 \leq 13$
59	H59	HE59	E59	$P23 = H23 + HE23$	$E59 \leq 245$	$H59 \leq 40$	$HE59 \leq 13$
60	H60	HE60	E60	$P23 = H23 + HE23$	$E60 \leq 245$	$H60 \leq 40$	$HE60 \leq 13$

Tabela 4: Estoque diário ( $E_t$ ) em cada cenário

Dia	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
1	$E1 = P1 - 38$	$E1 = 40 + P1 - 46$	$E1 = P1 - 41$	$E1 = P1 - 41$
2	$E2 = E1 + P2 - 40$	$E2 = E1 + P2 - 57$	$E2 = E1 + P2 - 38$	$E2 = E1 + P2 - 38$
3	$E3 = E2 + P3 - 34$	$E3 = E2 + P3 - 44$	$E3 = E2 + P3 - 38$	$E3 = E2 + P3 - 38$
4	$E4 = E3 + P4 - 37$	$E4 = E3 + P4 - 65$	$E4 = E3 + P4 - 41$	$E4 = E3 + P4 - 41$
5	$E5 = E4 + P5 - 34$	$E5 = E4 + P5 - 70$	$E5 = E4 + P5 - 41$	$E5 = E4 + P5 - 41$
6	$E6 = E5 + P6 - 39$	$E6 = E5 + P6 - 62$	$E6 = E5 + P6 - 38$	$E6 = E5 + P6 - 38$
7	$E7 = E6 + P7 - 40$	$E7 = E6 + P7 - 56$	$E7 = E6 + P7 - 41$	$E7 = E6 + P7 - 41$
8	$E8 = E7 + P8 - 36$	$E8 = E7 + P8 - 46$	$E8 = E7 + P8 - 41$	$E8 = E7 + P8 - 41$
9	$E9 = E8 + P9 - 39$	$E9 = E8 + P9 - 47$	$E9 = E8 + P9 - 38$	$E9 = E8 + P9 - 38$
10	$E10 = E9 + P10 - 34$	$E10 = E9 + P10 - 40$	$E10 = E9 + P10 - 40$	$E10 = E9 + P10 - 40$
11	$E11 = E10 + P11 - 33$	$E11 = E10 + P11 - 58$	$E11 = E10 + P11 - 40$	$E11 = E10 + P11 - 40$
12	$E12 = E11 + P12 - 34$	$E12 = E11 + P12 - 61$	$E12 = E11 + P12 - 41$	$E12 = E11 + P12 - 41$
13	$E13 = E12 + P13 - 36$	$E13 = E12 + P13 - 57$	$E13 = E12 + P13 - 42$	$E13 = E12 + P13 - 42$
14	$E14 = E13 + P14 - 39$	$E14 = E13 + P14 - 69$	$E14 = E13 + P14 - 40$	$E14 = E13 + P14 - 40$
15	$E15 = E14 + P15 - 38$	$E15 = E14 + P15 - 44$	$E15 = E14 + P15 - 40$	$E15 = E14 + P15 - 40$
16	$E16 = E15 + P16 - 37$	$E16 = E15 + P16 - 43$	$E16 = E15 + P16 - 40$	$E16 = E15 + P16 - 40$
17	$E17 = E16 + P17 - 37$	$E17 = E16 + P17 - 51$	$E17 = E16 + P17 - 38$	$E17 = E16 + P17 - 38$
18	$E18 = E17 + P18 - 39$	$E18 = E17 + P18 - 47$	$E18 = E17 + P18 - 41$	$E18 = E17 + P18 - 41$
19	$E19 = E18 + P19 - 37$	$E19 = E18 + P19 - 69$	$E19 = E18 + P19 - 41$	$E19 = E18 + P19 - 41$
20	$E20 = E19 + P20 - 39$	$E20 = E19 + P20 - 68$	$E20 = E19 + P20 - 40$	$E20 = E19 + P20 - 40$
21	$E21 = E20 + P21 - 41$	$E21 = E20 + P21 - 41$	$E21 = E20 + P21 - 38$	$E21 = E20 + P21 - 46$
22	$E22 = E21 + P22 - 38$	$E22 = E21 + P22 - 38$	$E22 = E21 + P22 - 40$	$E22 = E21 + P22 - 57$
23	$E23 = E22 + P23 - 38$	$E23 = E22 + P23 - 38$	$E23 = E22 + P23 - 34$	$E23 = E22 + P23 - 44$
24	$E24 = E23 + P24 - 41$	$E24 = E23 + P24 - 41$	$E24 = E23 + P24 - 37$	$E24 = E23 + P24 - 65$
25	$E25 = E24 + P25 - 41$	$E25 = E24 + P25 - 41$	$E25 = E24 + P25 - 34$	$E25 = E24 + P25 - 70$
26	$E26 = E25 + P26 - 38$	$E26 = E25 + P26 - 38$	$E26 = E25 + P26 - 39$	$E26 = E25 + P26 - 62$
27	$E27 = E26 + P27 - 41$	$E27 = E26 + P27 - 41$	$E27 = E26 + P27 - 40$	$E27 = E26 + P27 - 56$
28	$E28 = E27 + P28 - 41$	$E28 = E27 + P28 - 41$	$E28 = E27 + P28 - 36$	$E28 = E27 + P28 - 46$
29	$E29 = E28 + P29 - 38$	$E29 = E28 + P29 - 38$	$E29 = E28 + P29 - 39$	$E29 = E28 + P29 - 47$
30	$E30 = E29 + P30 - 40$	$E30 = E29 + P30 - 40$	$E30 = E29 + P30 - 34$	$E30 = E29 + P30 - 40$
31	$E31 = E30 + P31 - 40$	$E31 = E30 + P31 - 40$	$E31 = E30 + P31 - 33$	$E31 = E30 + P31 - 58$
32	$E32 = E31 + P32 - 41$	$E32 = E31 + P32 - 41$	$E32 = E31 + P32 - 34$	$E32 = E31 + P32 - 61$
33	$E33 = E32 + P33 - 42$	$E33 = E32 + P33 - 42$	$E33 = E32 + P33 - 36$	$E33 = E32 + P33 - 57$
34	$E34 = E33 + P34 - 40$	$E34 = E33 + P34 - 40$	$E34 = E33 + P34 - 39$	$E34 = E33 + P34 - 69$
35	$E35 = E34 + P35 - 40$	$E35 = E34 + P35 - 40$	$E35 = E34 + P35 - 38$	$E35 = E34 + P35 - 44$
36	$E36 = E35 + P36 - 40$	$E36 = E35 + P36 - 40$	$E36 = E35 + P36 - 37$	$E36 = E35 + P36 - 43$
37	$E37 = E36 + P37 - 38$	$E37 = E36 + P37 - 38$	$E37 = E36 + P37 - 37$	$E37 = E36 + P37 - 51$

38	$E38 = E37 + P38 - 41$	$E38 = E37 + P38 - 41$	$E38 = E37 + P38 - 39$	$E38 = E37 + P38 - 47$
39	$E39 = E38 + P39 - 41$	$E39 = E38 + P39 - 41$	$E39 = E38 + P39 - 37$	$E39 = E38 + P39 - 69$
40	$E40 = E39 + P40 - 40$	$E40 = E39 + P40 - 40$	$E40 = E39 + P40 - 39$	$E40 = E39 + P40 - 68$
41	$E41 = E40 + P41 - 46$	$E41 = E40 + P41 - 38$	$E41 = E40 + P41 - 46$	$E41 = E40 + P41 - 38$
42	$E42 = E41 + P42 - 57$	$E42 = E41 + P42 - 40$	$E42 = E41 + P42 - 57$	$E42 = E41 + P42 - 40$
43	$E43 = E42 + P43 - 44$	$E43 = E42 + P43 - 34$	$E43 = E42 + P43 - 44$	$E43 = E42 + P43 - 34$
44	$E44 = E43 + P44 - 65$	$E44 = E43 + P44 - 37$	$E44 = E43 + P44 - 65$	$E44 = E43 + P44 - 37$
45	$E45 = E44 + P45 - 70$	$E45 = E44 + P45 - 34$	$E45 = E44 + P45 - 70$	$E45 = E44 + P45 - 34$
46	$E46 = E45 + P46 - 62$	$E46 = E45 + P46 - 39$	$E46 = E45 + P46 - 62$	$E46 = E45 + P46 - 39$
47	$E47 = E46 + P47 - 56$	$E47 = E46 + P47 - 40$	$E47 = E46 + P47 - 56$	$E47 = E46 + P47 - 40$
48	$E48 = E47 + P48 - 46$	$E48 = E47 + P48 - 36$	$E48 = E47 + P48 - 46$	$E48 = E47 + P48 - 36$
49	$E49 = E48 + P49 - 47$	$E49 = E48 + P49 - 39$	$E49 = E48 + P49 - 47$	$E49 = E48 + P49 - 39$
50	$E50 = E49 + P50 - 40$	$E50 = E49 + P50 - 34$	$E50 = E49 + P50 - 40$	$E50 = E49 + P50 - 34$
51	$E51 = E50 + P51 - 58$	$E51 = E50 + P51 - 33$	$E51 = E50 + P51 - 58$	$E51 = E50 + P51 - 33$
52	$E52 = E51 + P52 - 61$	$E52 = E51 + P52 - 34$	$E52 = E51 + P52 - 61$	$E52 = E51 + P52 - 34$
53	$E53 = E52 + P53 - 57$	$E53 = E52 + P53 - 36$	$E53 = E52 + P53 - 57$	$E53 = E52 + P53 - 36$
54	$E54 = E53 + P54 - 69$	$E54 = E53 + P54 - 39$	$E54 = E53 + P54 - 69$	$E54 = E53 + P54 - 39$
55	$E55 = E54 + P55 - 44$	$E55 = E54 + P55 - 38$	$E55 = E54 + P55 - 44$	$E55 = E54 + P55 - 38$
56	$E56 = E55 + P56 - 43$	$E56 = E55 + P56 - 37$	$E56 = E55 + P56 - 43$	$E56 = E55 + P56 - 37$
57	$E57 = E56 + P57 - 51$	$E57 = E56 + P57 - 37$	$E57 = E56 + P57 - 51$	$E57 = E56 + P57 - 37$
58	$E58 = E57 + P58 - 47$	$E58 = E57 + P58 - 39$	$E58 = E57 + P58 - 47$	$E58 = E57 + P58 - 39$
59	$E59 = E58 + P59 - 69$	$E59 = E58 + P59 - 37$	$E59 = E58 + P59 - 69$	$E59 = E58 + P59 - 37$
60	$E60 = E59 + P60 - 68$	$E60 = E59 + P60 - 39$	$E60 = E59 + P60 - 68$	$E60 = E59 + P60 - 39$

Observa-se no cenário 2 (Tabela 4) que a previsão de demanda é decrescente, no período de três meses, e o primeiro mês demanda uma quantidade maior do que a capacidade produtiva da serraria. Neste caso, teve-se que considerar um estoque inicial de 40m<sup>3</sup> - valor mínimo necessário para que houvesse uma solução válida do modelo. Este estoque inicial é equivalente a um dia de produção na capacidade produtiva máxima, no entanto essa quantidade pode ser diluída em diferentes dias de produção em que a demanda diária seja menor que a capacidade produtiva, ou então em alguns dias de trabalho com hora extra de trabalho. A escolha de qual procedimento adotar para se atingir o objetivo deve ser realizada analisando as demandas diárias do mês que supostamente antecedeu ao mês 1.

Nas demais situações não foi necessário haver estoque inicial, pois foi possível solucionar o modelo dentro das suas restrições.

## 4.2. Função objetivo dos modelos:

A função objetivo foi a mesma para todos os cenários, uma vez que os custos unitários de produção em horas normais e em horas extras, além do custo unitário de estocagem não terem sido alterados, com a variação da demanda. A função objetivo nos três cenários foi:

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \mathbf{5,87} * (\text{H1} + \text{H2} + \text{H3} + \text{H4} + \text{H5} + \text{H6} + \text{H7} + \text{H8} + \text{H9} + \text{H10} + \text{H11} + \text{H12} + \\ & \text{H13} + \text{H14} + \text{H15} + \text{H16} + \text{H17} + \text{H18} + \text{H19} + \text{H20} + \text{H21} + \text{H22} + \text{H23} + \\ & \text{H24} + \text{H25} + \text{H26} + \text{H27} + \text{H28} + \text{H29} + \text{H30} + \text{H31} + \text{H32} + \text{H33} + \text{H34} + \\ & \text{H35} + \text{H36} + \text{H37} + \text{H38} + \text{H39} + \text{H40} + \text{H41} + \text{H42} + \text{H43} + \text{H44} + \text{H45} + \\ & \text{H46} + \text{H47} + \text{H48} + \text{H49} + \text{H50} + \text{H51} + \text{H52} + \text{H53} + \text{H54} + \text{H55} + \text{H56} + \\ & \text{H57} + \text{H58} + \text{H59} + \text{H60}) + \\ & \mathbf{7,38} * (\text{HE1} + \text{HE2} + \text{HE3} + \text{HE4} + \text{HE5} + \text{HE6} + \text{HE7} + \text{HE8} + \text{HE9} + \text{HE10} + \\ & \text{HE11} + \text{HE12} + \text{HE13} + \text{HE14} + \text{HE15} + \text{HE16} + \text{HE17} + \text{HE18} + \text{HE19} + \\ & \text{HE20} + \text{HE21} + \text{HE22} + \text{HE23} + \text{HE24} + \text{HE25} + \text{HE26} + \text{HE27} + \text{HE28} + \\ & \text{HE29} + \text{HE30} + \text{HE31} + \text{HE32} + \text{HE33} + \text{HE34} + \text{HE35} + \text{HE36} + \text{HE37} + \\ & \text{HE38} + \text{HE39} + \text{HE40} + \text{HE41} + \text{HE42} + \text{HE43} + \text{HE44} + \text{HE45} + \text{HE46} + \\ & \text{HE47} + \text{HE48} + \text{HE49} + \text{HE50} + \text{HE51} + \text{HE52} + \text{HE53} + \text{HE54} + \text{HE55} + \\ & \text{HE56} + \text{HE57} + \text{HE58} + \text{HE59} + \text{HE60}) + \\ & \mathbf{0,23} * (\text{E1} + \text{E2} + \text{E3} + \text{E4} + \text{E5} + \text{E6} + \text{E7} + \text{E8} + \text{E9} + \text{E10} + \text{E11} + \text{E12} + \\ & \text{E13} + \text{E14} + \text{E15} + \text{E16} + \text{E17} + \text{E18} + \text{E19} + \text{E20} + \text{E21} + \text{E22} + \text{E23} + \text{E24} \\ & + \text{E25} + \text{E26} + \text{E27} + \text{E28} + \text{E29} + \text{E30} + \text{E31} + \text{E32} + \text{E33} + \text{E34} + \text{E35} + \\ & \text{E36} + \text{E37} + \text{E38} + \text{E39} + \text{E40} + \text{E41} + \text{E42} + \text{E43} + \text{E44} + \text{E45} + \text{E46} + \text{E47} \\ & + \text{E48} + \text{E49} + \text{E50} + \text{E51} + \text{E52} + \text{E53} + \text{E54} + \text{E55} + \text{E56} + \text{E57} + \text{E58} + \\ & \text{E59} + \text{E60}) \end{aligned}$$

### 4.3. Soluções dos modelos

Cassel e Vaccaro (2007) demonstraram que a utilização da programação linear auxilia na descoberta com antecedência de um resultado ideal e se é possível atingi-lo, sem a necessidade de produzir uma única unidade para saber quais serão os resultados futuros. O mesmo aconteceu com os modelos estudados: sem realizar nenhum procedimento produtivo encontrou-se os valores ideais de produção, horas de trabalho e estoque, de maneira a minimizar os custos.

Na Tabela 5, foram apresentadas a solução dos modelos nos quatro cenários estudados. O menor custo mínimo foi no cenário 2, possivelmente devido ao menor uso de hora extra de trabalho e quantidade de madeira serrada em estoque, uma vez que a maior demanda foi atendida logo no primeiro mês e depois foi decrescendo.

Frossard (2009) demonstra que por meio da modelagem matemática é possível reduzir os custos do processo e aumentar a margem lucro, o que resultou em maior competitividade da empresa no mercado. Esta ideia é reforçada por Garcia et al. (2015), que estabeleceram por meio desta ferramenta um estoque de segurança para uma loja de eletrônicos, e alcançaram a minimização dos custos de estocagem, e uma estabilidade na produção.

Os resultados obtidos com o modelo apontam valores diários de quantidades ideais de madeira serrada a serem produzidas e de horas a serem trabalhadas para que as demandas diária e mensal sejam atingidas. O conhecimento destes valores permite que sejam evitados desperdícios produtivos, além de possibilitar o correto planejamento da produção para que o objetivo de se atender a demanda sempre seja atingido, evitando perdas competitivas e de mercado.

Ben, Graciolli e Reginatto (2011) utilizaram da programação linear para a modelagem de um modelo matemático para definir o *mix* ideal de produção de uma indústria moveleira, e o resultado foi a maximização da margem de contribuição total da empresa.

Bellis, Pinho e Pamplona (2004) também utilizaram a programação linear para definir o *mix* de produção ideal de uma empresa de malhas, e o modelo matemático obtido proporcionou um aumento nos lucros de aproximadamente 26,4%.

O presente estudo mostra que, com a utilização da programação linear para auxiliar a tomada de decisão no PCP, é possível atender diversos padrões de previsão da demanda.

Tabela 5: Soluções dos modelos as quatro situações estudadas.

Dia	Cenário 1					Cenário 2					Cenário 3					Cenário 4				
	Min z = 16.088,16					Min z = 15.775,38					Min z = 16.070,77					Min z = 16.089,44				
	D	H	HE	E	P	D	H	HE	E	P	D	H	HE	E	P	D	H	HE	E	P
1	38	38	0	0	38	46	40	13	47	53	41	40	1	0	41	41	40	1	0	41
2	40	40	0	0	40	57	40	13	43	53	38	38	0	0	38	38	38	0	0	38
3	34	34	0	0	34	44	40	13	52	53	38	40	0	2	40	38	40	0	2	40
4	37	37	0	0	37	65	40	13	40	53	41	40	0	1	40	41	40	0	1	40
5	34	34	0	0	34	70	40	13	23	53	41	40	0	0	40	41	40	0	0	40
6	39	39	0	0	39	62	40	13	14	53	38	40	0	2	40	38	40	0	2	40
7	40	40	0	0	40	56	40	13	11	53	41	40	0	1	40	41	40	0	1	40
8	36	36	0	0	36	46	40	13	18	53	41	40	0	0	40	41	40	0	0	40
9	39	39	0	0	39	47	40	13	24	53	38	40	0	2	40	38	40	0	2	40
10	34	34	0	0	34	40	40	13	37	53	40	40	0	2	40	40	40	0	2	40
11	33	33	0	0	33	58	40	13	32	53	40	40	0	2	40	40	40	0	2	40
12	34	34	0	0	34	61	40	13	24	53	41	40	0	1	40	41	40	0	1	40
13	36	36	0	0	36	57	40	13	20	53	42	40	1	0	41	42	40	1	0	41
14	39	39	0	0	39	69	40	13	4	53	40	40	0	0	40	40	40	0	0	40
15	38	38	0	0	38	44	40	13	13	53	40	40	0	0	40	40	40	0	0	40
16	37	37	0	0	37	43	40	13	23	53	40	40	0	0	40	40	40	0	0	40
17	37	37	0	0	37	51	40	13	25	53	38	40	0	2	40	38	40	1	3	41
18	39	39	0	0	39	47	40	13	31	53	41	40	0	1	40	41	40	13	15	53
19	37	37	0	0	37	69	40	13	15	53	41	40	0	0	40	41	40	13	27	53

<b>20</b>	39	40	0	0	40	68	40	13	0	53	40	40	0	0	40	40	40	13	40	53
<b>21</b>	41	40	0	1	40	41	40	1	0	41	38	38	0	0	38	46	40	13	47	53
<b>22</b>	38	38	0	0	38	38	38	0	0	38	40	40	0	0	40	57	40	13	43	53
<b>23</b>	38	40	0	0	40	38	40	0	2	40	34	34	0	0	34	44	40	13	52	53
<b>24</b>	41	40	0	2	40	41	40	0	1	40	37	37	0	0	37	65	40	13	40	53
<b>25</b>	41	40	0	1	40	41	40	0	0	40	34	34	0	0	34	70	40	13	23	53
<b>26</b>	38	40	0	0	40	38	40	0	2	40	39	39	0	0	39	62	40	13	14	53
<b>27</b>	41	40	0	2	40	41	40	0	1	40	40	40	0	0	40	56	40	13	11	53
<b>28</b>	41	40	0	1	40	41	40	0	0	40	36	36	0	0	36	46	40	13	18	53
<b>29</b>	38	40	0	0	40	38	40	0	2	40	39	39	0	0	39	47	40	13	24	53
<b>30</b>	40	40	0	2	40	40	40	0	2	40	34	34	0	0	34	40	40	13	37	53
<b>31</b>	40	40	0	2	40	40	40	0	2	40	33	33	0	0	33	58	40	13	32	53
<b>32</b>	41	40	0	2	40	41	40	0	1	40	34	34	0	0	34	61	40	13	24	53
<b>33</b>	42	40	1	1	41	42	40	1	0	41	36	40	0	4	40	57	40	13	20	53
<b>34</b>	40	40	0	0	40	40	40	0	0	40	39	40	0	5	40	69	40	13	4	53
<b>35</b>	40	40	0	0	40	40	40	0	0	40	38	40	0	7	40	44	40	13	13	53
<b>36</b>	40	40	0	0	40	40	40	0	0	40	37	40	0	10	40	43	40	13	23	53
<b>37</b>	38	40	1	0	41	38	40	0	2	40	37	40	0	13	40	51	40	13	25	53
<b>38</b>	41	40	13	3	53	41	40	0	1	40	39	40	0	14	40	47	40	13	31	53
<b>39</b>	41	40	13	15	53	41	40	0	0	40	37	40	9	26	49	69	40	13	15	53
<b>40</b>	40	40	13	27	53	40	40	0	0	40	39	40	13	40	53	68	40	13	0	53
<b>41</b>	46	40	13	40	53	38	38	0	0	38	46	40	13	47	53	38	38	0	0	38
<b>42</b>	57	40	13	47	53	40	40	0	0	40	57	40	13	43	53	40	40	0	0	40
<b>43</b>	44	40	13	43	53	34	34	0	0	34	44	40	13	52	53	34	34	0	0	34
<b>44</b>	65	40	13	52	53	37	37	0	0	37	65	40	13	40	53	37	37	0	0	37

<b>45</b>	70	40	13	40	53	34	34	0	0	34	70	40	13	23	53	34	34	0	0	34
<b>46</b>	62	40	13	23	53	39	39	0	0	39	62	40	13	14	53	39	39	0	0	39
<b>47</b>	56	40	13	14	53	40	40	0	0	40	56	40	13	11	53	40	40	0	0	40
<b>48</b>	46	40	13	11	53	36	36	0	0	36	46	40	13	18	53	36	36	0	0	36
<b>49</b>	47	40	13	18	53	39	39	0	0	39	47	40	13	24	53	39	39	0	0	39
<b>50</b>	40	40	13	24	53	34	34	0	0	34	40	40	13	37	53	34	34	0	0	34
<b>51</b>	58	40	13	37	53	33	33	0	0	33	58	40	13	32	53	33	33	0	0	33
<b>52</b>	61	40	13	32	53	34	34	0	0	34	61	40	13	24	53	34	34	0	0	34
<b>53</b>	57	40	13	24	53	36	36	0	0	36	57	40	13	20	53	36	36	0	0	36
<b>54</b>	69	40	13	20	53	39	39	0	0	39	69	40	13	4	53	39	39	0	0	39
<b>55</b>	44	40	13	4	53	38	38	0	0	38	44	40	13	13	53	38	38	0	0	38
<b>56</b>	43	40	13	13	53	37	37	0	0	37	43	40	13	23	53	37	37	0	0	37
<b>57</b>	51	40	13	23	53	37	37	0	0	37	51	40	13	25	53	37	37	0	0	37
<b>58</b>	47	40	13	25	53	39	39	0	0	39	47	40	13	31	53	39	39	0	0	39
<b>59</b>	69	40	13	31	53	37	37	0	0	37	69	40	13	15	53	37	37	0	0	37
<b>60</b>	68	40	13	15	53	39	39	0	0	39	68	40	13	0	53	39	39	0	0	39

#### 4.4. Análise de sensibilidade e Dualidade

A análise de sensibilidade avalia como as possíveis alterações pontuais de parâmetros de um modelo matemático, impactam a solução ótima. Na Tabela 6 estão dispostos os resultados da análise de sensibilidade para cada cenário.

O custo reduzido apresenta valor maior que zero quando a variável em questão é zero, neste caso o valor do custo reduzido indica quanto o coeficiente na função objetivo associado a esta variável, pode ser aumentado (se a função objetivo for para maximizar) ou diminuído (se a função objetivo for para minimizar) antes que a solução ótima mude e esta variável torne-se uma variável básica (valor maior do que zero). Caso a variável assuma um valor maior que zero, o custo reduzido é zero.

Os valores de aumento e redução permitidos representam o intervalo no qual o valor de um coeficiente da função objetivo pode ser alterado sem alterar a solução ótima, alterando apenas o resultado da função objetivo ( $z$ ), desde que o restante do modelo permaneça inalterado.

Zeferino, Souza, e Costa (2009) apresentam uma metodologia da análise de sensibilidade para a solução do problema de máximo carregamento após a ocorrência de uma perturbação no sistema. Os autores afirmam que uma das vantagens do uso da análise de sensibilidade é que estudos podem ser realizados para verificações sem a necessidade de executar um programa para cada perturbação que possa ocorrer no sistema.

Oaigen et al (2009) realizaram uma análise da sensibilidade da metodologia dos centros de custos mediante a introdução de tecnologias em um sistema de produção de cria. Tais autores constataram que esta análise possibilita comparações entre os resultados e permite estimar possibilidades por meio dos indicadores, além de fornecer informações importantes para o auxílio na tomada de decisões.

O preço-sombra mede o quanto o melhor valor da função objetivo seria alterado caso o lado direito de uma restrição mudasse em uma unidade, sem que as demais coisas se alterem. Dessa maneira, o preço-sombra representa a disposição a pagar por unidades adicionais de um recurso, caso este seja positivo. Quando o valor do preço-sombra é positivo, a alteração na função objetivo é diretamente proporcional às mudanças nas restrições; a relação é inversamente proporcional quando o valor é negativo.

Na Tabela 7, foram dispostos os preços-sombra para os quatro cenários estudados, assim como seus intervalos de aumento e redução permitidos; sendo um preço-sombra correspondente a cada restrição do modelo matemático. Houveram algumas interações em que o preço sombra assumiu valor igual a zero, sendo assim o valor ótimo da função objetivo não sofre mudança com a alteração de uma unidade no lado direito da restrição, nos apresentando uma margem de trabalho com as restrições que não alteram o resultado da função objetivo.

As restrições que apresentaram valores positivos de preços-sombra indicam que para cada unidade acrescida no lado direito da restrição aumentaria o valor do preço-sombra no custo total, o que não seria vantajoso, como seria no caso em que houvesse uma alteração negativa nas restrições, diminuindo o custo total, permitindo aumentar as margens de lucro. A avaliação do preço-sombra permitiria, por exemplo, planejar como alterar o lado direito das restrições (capacidades de horas normais, horas extras e estoque) visando uma diminuição de custos.

Alvim (2003) estudou os principais efeitos dos acordos de livre comércio sobre o setor de lácteos no Brasil. Por meio do preço-sombra conseguiu definir um valor máximo em que o custo de produção poderia assumir para que houvesse produção de leite por um número determinado de indústrias.

Já Santos et al. (2005) propôs alternativas das culturas e respectivas áreas a serem estabelecidas no Distrito de Irrigação Baixo Acaraú-CE, utilizando modelo de programação linear. Com o preço-sombra ele conseguiu identificar o período de meses em que a água disponível para a irrigação foi restrita, possibilitando um correto planejamento das atividades.

Tabela 6: Análise de sensibilidade para as quatro situações.

	Situação 1			Situação 2			Situação 3			Situação 4		
	Custo reduzido	Aumento permitido	Redução permitida	Custo reduzido	Aumento permitido	Redução permitida	Custo reduzido	Aumento permitido	Redução permitida	Custo reduzido	Aumento permitido	Redução permitida
<b>P1</b>	0	1.28	0.23	0	INFINITO	0.23	0	INFINITO	1.74	0	INFINITO	1.74
<b>P2</b>	0	0.23	1.28	0	0.23	INFINITO	0	1.74	0.23	0	0.13	0.23
<b>P3</b>	0	0.46	0.23	0	0.46	INFINITO	0	0.23	0.23	0	0.23	1.28
<b>P4</b>	0	0.23	0.23	0	0.69	INFINITO	0	0.23	1.28	0	0.46	1.05
<b>P5</b>	0	0.23	0.23	0	0.92	INFINITO	0	0.46	1.05	0	0.69	0.82
<b>P6</b>	0	0.23	0.23	0	1.15	INFINITO	0	0.69	0.82	0	0.92	0.59
<b>P7</b>	0	0.23	1.28	0	1.38	INFINITO	0	0.92	0.59	0	1.15	0.36
<b>P8</b>	0	0.46	0.23	0	1.61	INFINITO	0	1.15	0.36	0	1.38	0.13
<b>P9</b>	0	0.23	0.23	0	1.84	INFINITO	0	0.59	0.92	0	0.59	0.92
<b>P10</b>	0	0.23	0.23	0	2.07	INFINITO	0	0.82	0.69	0	0.82	0.69
<b>P11</b>	0	0.23	0.23	0	2.3	INFINITO	0	1.05	0.46	0	1.05	0.46
<b>P12</b>	0	0.23	0.23	0	2.53	INFINITO	0	1.28	0.23	0	1.28	0.23
<b>P13</b>	0	0.23	0.23	0	2.76	INFINITO	0	0.23	0.23	0	0.23	0.23
<b>P14</b>	0	0.23	0.23	0	2.99	INFINITO	0	0.23	0.23	0	0.23	0.23
<b>P15</b>	0	0.23	0.23	0	3.22	INFINITO	0	0.23	0.23	0	0.23	0.23
<b>P16</b>	0	0.23	0.23	0	3.45	INFINITO	0	0.23	0.69	0	0.23	0.23
<b>P17</b>	0	0.23	0.23	0	3.68	INFINITO	0	1.05	0.46	0	0.23	0.23
<b>P18</b>	0	0.23	0.23	0	3.91	INFINITO	0	1.28	0.23	0	0.23	INFINITO
<b>P19</b>	0	0.23	0.23	0	4.14	INFINITO	0	0.23	0.23	0	0.46	INFINITO
<b>P20</b>	0	0.23	1.28	0	4.37	INFINITO	0	0.23	1.74	0	0.69	INFINITO
<b>P21</b>	0	0.46	1.05	0	4.6	1.74	0	1.28	0.23	0	0.92	INFINITO
<b>P22</b>	0	0.69	0.23	0	0.13	0.23	0	0.23	1.28	0	1.15	INFINITO
<b>P23</b>	0	0.23	0.23	0	0.23	1.28	0	0.46	0.23	0	1.38	INFINITO
<b>P24</b>	0	0.23	1.28	0	0.46	1.05	0	0.23	0.23	0	1.61	INFINITO

<b>P25</b>	0	0.46	1.05	0	0.69	0.82	0	0.23	0.23	0	1.84	INFINITO
<b>P26</b>	0	0.69	0.1	0	0.92	0.59	0	0.23	0.23	0	2.07	INFINITO
<b>P27</b>	0	0.23	1.28	0	1.15	0.36	0	0.23	1.28	0	2.3	INFINITO
<b>P28</b>	0	0.46	1.05	0	1.38	0.13	0	0.46	0.23	0	2.53	INFINITO
<b>P29</b>	0	0.59	0.92	0	0.59	0.92	0	0.23	0.23	0	2.76	INFINITO
<b>P30</b>	0	0.82	0.69	0	0.82	0.69	0	0.23	0.23	0	2.99	INFINITO
<b>P31</b>	0	1.05	0.46	0	1.05	0.46	0	0.23	0.23	0	3.22	INFINITO
<b>P32</b>	0	1.28	0.23	0	1.28	0.23	0	0.23	0.1	0	3.45	INFINITO
<b>P33</b>	0	0.1	0.23	0	0.23	0.23	0	0.13	1.38	0	3.68	INFINITO
<b>P34</b>	0	0.23	0.23	0	0.23	0.23	0	0.36	1.15	0	3.91	INFINITO
<b>P35</b>	0	0.23	0.23	0	0.23	0.23	0	0.59	0.92	0	4.14	INFINITO
<b>P36</b>	0	0.23	0.23	0	0.23	0.69	0	0.82	0.69	0	4.37	INFINITO
<b>P37</b>	0	0.23	0.23	0	1.05	0.46	0	1.05	0.46	0	4.6	INFINITO
<b>P38</b>	0	0.23	INFINITO	0	1.28	0.23	0	1.28	0.23	0	4.83	INFINITO
<b>P39</b>	0	0.46	INFINITO	0	0.23	0.23	0	0.1	0.13	0	5.06	INFINITO
<b>P40</b>	0	0.69	INFINITO	0	0.23	1.74	0	0.23	INFINITO	0	5.29	INFINITO
<b>P41</b>	0	0.92	INFINITO	0	1.28	0.23	0	0.46	INFINITO	0	1.28	0.23
<b>P42</b>	0	1.15	INFINITO	0	0.23	1.28	0	0.69	INFINITO	0	0.23	1.28
<b>P43</b>	0	1.38	INFINITO	0	0.46	0.23	0	0.92	INFINITO	0	0.46	0.23
<b>P44</b>	0	1.61	INFINITO	0	0.23	0.23	0	1.15	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P45</b>	0	1.84	INFINITO	0	0.23	0.23	0	1.38	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P46</b>	0	2.07	INFINITO	0	0.23	0.23	0	1.61	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P47</b>	0	2.3	INFINITO	0	0.23	1.28	0	1.84	INFINITO	0	0.23	1.28
<b>P48</b>	0	2.53	INFINITO	0	0.46	0.23	0	2.07	INFINITO	0	0.46	0.23
<b>P49</b>	0	2.76	INFINITO	0	0.23	0.23	0	2.3	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P50</b>	0	2.99	INFINITO	0	0.23	0.23	0	2.53	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P51</b>	0	3.22	INFINITO	0	0.23	0.23	0	2.76	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P52</b>	0	3.45	INFINITO	0	0.23	0.23	0	2.99	INFINITO	0	0.23	0.23

<b>P53</b>	0	3.68	INFINITO	0	0.23	0.23	0	3.22	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P54</b>	0	3.91	INFINITO	0	0.23	0.23	0	3.45	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P55</b>	0	4.14	INFINITO	0	0.23	0.23	0	3.68	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P56</b>	0	4.37	INFINITO	0	0.23	0.23	0	3.91	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P57</b>	0	4.6	INFINITO	0	0.23	0.23	0	4.14	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P58</b>	0	4.83	INFINITO	0	0.23	0.23	0	4.37	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P59</b>	0	5.06	INFINITO	0	0.23	0.23	0	4.6	INFINITO	0	0.23	0.23
<b>P60</b>	0	5.29	INFINITO	0	0.23	6.1	0	4.83	INFINITO	0	0.23	6.1
<b>H1</b>	5.87	1.28	0.23	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO
<b>H2</b>	5.87	0.23	INFINITO	5.87	1.74	INFINITO	5.87	1.51	0.23	5.87	0.13	0.23
<b>H3</b>	5.87	0.46	0.23	5.87	1.97	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	0.23	INFINITO
<b>H4</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	2.2	INFINITO	5.87	0.23	INFINITO	5.87	0.46	INFINITO
<b>H5</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	2.43	INFINITO	5.87	0.46	INFINITO	5.87	0.69	INFINITO
<b>H6</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	2.66	INFINITO	5.87	0.69	INFINITO	5.87	0.92	INFINITO
<b>H7</b>	5.87	0.23	INFINITO	5.87	2.89	INFINITO	5.87	0.92	INFINITO	5.87	1.15	INFINITO
<b>H8</b>	5.87	0.46	0.23	5.87	3.12	INFINITO	5.87	1.15	INFINITO	5.87	1.38	INFINITO
<b>H9</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	3.35	INFINITO	5.87	0.59	INFINITO	5.87	0.59	INFINITO
<b>H10</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	3.58	INFINITO	5.87	0.82	INFINITO	5.87	0.82	INFINITO
<b>H11</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	3.81	INFINITO	5.87	1.05	INFINITO	5.87	1.05	INFINITO
<b>H12</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	4.04	INFINITO	5.87	1.28	INFINITO	5.87	1.28	INFINITO
<b>H13</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	4.27	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO
<b>H14</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	4.5	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO
<b>H15</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	4.73	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO
<b>H16</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	4.96	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO
<b>H17</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	5.19	INFINITO	5.87	1.05	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO
<b>H18</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	5.42	INFINITO	5.87	1.28	INFINITO	5.87	1.74	INFINITO
<b>H19</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	5.65	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.97	INFINITO
<b>H20</b>	5.87	0.23	INFINITO	5.87	5.88	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	2.2	INFINITO

<b>H21</b>	5.87	0.46	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.28	0.23	5.87	2.43	INFINITO
<b>H22</b>	5.87	0.69	0.23	5.87	0.13	0.23	5.87	0.23	INFINITO	5.87	2.66	INFINITO
<b>H23</b>	5.87	0.23	0.23	5.87	0.23	INFINITO	5.87	0.46	0.23	5.87	2.89	INFINITO
<b>H24</b>	5.87	0.23	INFINITO	5.87	0.46	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	3.12	INFINITO
<b>H25</b>	5.87	0.46	INFINITO	5.87	0.69	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	3.35	INFINITO
<b>H26</b>	5.87	0.69	0.1	5.87	0.92	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	3.58	INFINITO
<b>H27</b>	5.87	0.23	INFINITO	5.87	1.15	INFINITO	5.87	0.23	INFINITO	5.87	3.81	INFINITO
<b>H28</b>	5.87	0.46	INFINITO	5.87	1.38	INFINITO	5.87	0.46	0.23	5.87	4.04	INFINITO
<b>H29</b>	5.87	0.59	INFINITO	5.87	0.59	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	4.27	INFINITO
<b>H30</b>	5.87	0.82	INFINITO	5.87	0.82	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	4.5	INFINITO
<b>H31</b>	5.87	1.05	INFINITO	5.87	1.05	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	4.73	INFINITO
<b>H32</b>	5.87	1.28	INFINITO	5.87	1.28	INFINITO	5.87	0.23	0.1	5.87	4.96	INFINITO
<b>H33</b>	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	0.13	INFINITO	5.87	5.19	INFINITO
<b>H34</b>	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	0.36	INFINITO	5.87	5.42	INFINITO
<b>H35</b>	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	0.59	INFINITO	5.87	5.65	INFINITO
<b>H36</b>	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	0.82	INFINITO	5.87	5.88	INFINITO
<b>H37</b>	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.05	INFINITO	5.87	1.05	INFINITO	5.87	6.11	INFINITO
<b>H38</b>	5.87	1.74	INFINITO	5.87	1.28	INFINITO	5.87	1.28	INFINITO	5.87	6.34	INFINITO
<b>H39</b>	5.87	1.97	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	6.57	INFINITO
<b>H40</b>	5.87	2.2	INFINITO	5.87	1.51	INFINITO	5.87	1.74	INFINITO	5.87	6.8	INFINITO
<b>H41</b>	5.87	2.43	INFINITO	5.87	1.28	0.23	5.87	1.97	INFINITO	5.87	1.28	0.23
<b>H42</b>	5.87	2.66	INFINITO	5.87	0.23	INFINITO	5.87	2.2	INFINITO	5.87	0.23	INFINITO
<b>H43</b>	5.87	2.89	INFINITO	5.87	0.46	0.23	5.87	2.43	INFINITO	5.87	0.46	0.23
<b>H44</b>	5.87	3.12	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	2.66	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H45</b>	5.87	3.35	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	2.89	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H46</b>	5.87	3.58	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	3.12	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H47</b>	5.87	3.81	INFINITO	5.87	0.23	INFINITO	5.87	3.35	INFINITO	5.87	0.23	INFINITO
<b>H48</b>	5.87	4.04	INFINITO	5.87	0.46	0.23	5.87	3.58	INFINITO	5.87	0.46	0.23

<b>H49</b>	5.87	4.27	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	3.81	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H50</b>	5.87	4.5	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	4.04	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H51</b>	5.87	4.73	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	4.27	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H52</b>	5.87	4.96	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	4.5	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H53</b>	5.87	5.19	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	4.73	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H54</b>	5.87	5.42	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	4.96	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H55</b>	5.87	5.65	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	5.19	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H56</b>	5.87	5.88	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	5.42	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H57</b>	5.87	6.11	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	5.65	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H58</b>	5.87	6.34	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	5.88	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H59</b>	5.87	6.57	INFINITO	5.87	0.23	0.23	5.87	6.11	INFINITO	5.87	0.23	0.23
<b>H60</b>	5.87	6.8	INFINITO	5.87	0.23	6.1	5.87	6.34	INFINITO	5.87	0.23	6.1
<b>HE1</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	INFINITO	0.23	7.38	INFINITO	1.51	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE2</b>	7.38	INFINITO	1.28	7.38	0.23	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE3</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	0.46	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	INFINITO	1.28
<b>HE4</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	0.69	INFINITO	7.38	INFINITO	1.28	7.38	INFINITO	1.05
<b>HE5</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	0.92	INFINITO	7.38	INFINITO	1.05	7.38	INFINITO	0.82
<b>HE6</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	1.15	INFINITO	7.38	INFINITO	0.82	7.38	INFINITO	0.59
<b>HE7</b>	7.38	INFINITO	1.28	7.38	1.38	INFINITO	7.38	INFINITO	0.59	7.38	INFINITO	0.36
<b>HE8</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	1.61	INFINITO	7.38	INFINITO	0.36	7.38	INFINITO	0.13
<b>HE9</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	1.84	INFINITO	7.38	INFINITO	0.92	7.38	INFINITO	0.92
<b>HE10</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.07	INFINITO	7.38	INFINITO	0.69	7.38	INFINITO	0.69
<b>HE11</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.3	INFINITO	7.38	INFINITO	0.46	7.38	INFINITO	0.46
<b>HE12</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.53	INFINITO	7.38	INFINITO	0.23	7.38	INFINITO	0.23
<b>HE13</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.76	INFINITO	7.38	0.23	0.23	7.38	0.23	0.23
<b>HE14</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.99	INFINITO	7.38	0.23	0.23	7.38	0.23	0.23
<b>HE15</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	3.22	INFINITO	7.38	0.23	0.23	7.38	0.23	0.23
<b>HE16</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	3.45	INFINITO	7.38	0.23	0.69	7.38	0.23	0.23

<b>HE17</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	3.68	INFINITO	7.38	INFINITO	0.46	7.38	0.23	0.23
<b>HE18</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	3.91	INFINITO	7.38	INFINITO	0.23	7.38	0.23	INFINITO
<b>HE19</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	4.14	INFINITO	7.38	0.23	0.23	7.38	0.46	INFINITO
<b>HE20</b>	7.38	INFINITO	1.28	7.38	4.37	INFINITO	7.38	0.23	1.51	7.38	0.69	INFINITO
<b>HE21</b>	7.38	INFINITO	1.05	7.38	4.6	1.51	7.38	INFINITO	1.51	7.38	0.92	INFINITO
<b>HE22</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	INFINITO	1.51	7.38	INFINITO	1.28	7.38	1.15	INFINITO
<b>HE23</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	INFINITO	1.28	7.38	INFINITO	1.51	7.38	1.38	INFINITO
<b>HE24</b>	7.38	INFINITO	1.28	7.38	INFINITO	1.05	7.38	INFINITO	1.51	7.38	1.61	INFINITO
<b>HE25</b>	7.38	INFINITO	1.05	7.38	INFINITO	0.82	7.38	INFINITO	1.51	7.38	1.84	INFINITO
<b>HE26</b>	7.38	INFINITO	1.51	7.38	INFINITO	0.59	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.07	INFINITO
<b>HE27</b>	7.38	INFINITO	1.28	7.38	INFINITO	0.36	7.38	INFINITO	1.28	7.38	2.3	INFINITO
<b>HE28</b>	7.38	INFINITO	1.05	7.38	INFINITO	0.13	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.53	INFINITO
<b>HE29</b>	7.38	INFINITO	0.92	7.38	INFINITO	0.92	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.76	INFINITO
<b>HE30</b>	7.38	INFINITO	0.69	7.38	INFINITO	0.69	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.99	INFINITO
<b>HE31</b>	7.38	INFINITO	0.46	7.38	INFINITO	0.46	7.38	INFINITO	1.51	7.38	3.22	INFINITO
<b>HE32</b>	7.38	INFINITO	0.23	7.38	INFINITO	0.23	7.38	INFINITO	1.51	7.38	3.45	INFINITO
<b>HE33</b>	7.38	0.1	0.23	7.38	0.23	0.23	7.38	INFINITO	1.38	7.38	3.68	INFINITO
<b>HE34</b>	7.38	0.23	0.23	7.38	0.23	0.23	7.38	INFINITO	1.15	7.38	3.91	INFINITO
<b>HE35</b>	7.38	0.23	0.23	7.38	0.23	0.23	7.38	INFINITO	0.92	7.38	4.14	INFINITO
<b>HE36</b>	7.38	0.23	0.23	7.38	0.23	0.69	7.38	INFINITO	0.69	7.38	4.37	INFINITO
<b>HE37</b>	7.38	0.23	0.23	7.38	INFINITO	0.46	7.38	INFINITO	0.46	7.38	4.6	INFINITO
<b>HE38</b>	7.38	0.23	INFINITO	7.38	INFINITO	0.23	7.38	INFINITO	0.23	7.38	4.83	INFINITO
<b>HE39</b>	7.38	0.46	INFINITO	7.38	0.23	0.23	7.38	0.1	0.13	7.38	5.06	INFINITO
<b>HE40</b>	7.38	0.69	INFINITO	7.38	0.23	1.51	7.38	0.23	INFINITO	7.38	5.29	INFINITO
<b>HE41</b>	7.38	0.92	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	0.46	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE42</b>	7.38	1.15	INFINITO	7.38	INFINITO	1.28	7.38	0.69	INFINITO	7.38	INFINITO	1.28
<b>HE43</b>	7.38	1.38	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	0.92	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE44</b>	7.38	1.61	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	1.15	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51

<b>HE45</b>	7.38	1.84	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	1.38	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE46</b>	7.38	2.07	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	1.61	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE47</b>	7.38	2.3	INFINITO	7.38	INFINITO	1.28	7.38	1.84	INFINITO	7.38	INFINITO	1.28
<b>HE48</b>	7.38	2.53	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.07	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE49</b>	7.38	2.76	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.3	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE50</b>	7.38	2.99	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.53	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE51</b>	7.38	3.22	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.76	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE52</b>	7.38	3.45	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	2.99	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE53</b>	7.38	3.68	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	3.22	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE54</b>	7.38	3.91	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	3.45	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE55</b>	7.38	4.14	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	3.68	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE56</b>	7.38	4.37	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	3.91	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE57</b>	7.38	4.6	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	4.14	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE58</b>	7.38	4.83	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	4.37	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE59</b>	7.38	5.06	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	4.6	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>HE60</b>	7.38	5.29	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51	7.38	4.83	INFINITO	7.38	INFINITO	1.51
<b>E1</b>	0.23	1.28	0.23	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	1.74	0.23	INFINITO	1.74
<b>E2</b>	0.23	INFINITO	0.46	0.23	INFINITO	0.46	0.23	INFINITO	0.23	0.23	0.13	0.23
<b>E3</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.69	0.23	0.36	0.23	0.23	0.13	0.46
<b>E4</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.92	0.23	0.36	0.46	0.23	0.13	0.69
<b>E5</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	1.15	0.23	0.36	0.69	0.23	0.13	0.92
<b>E6</b>	0.23	1.28	0.23	0.23	INFINITO	1.38	0.23	0.36	0.79	0.23	0.13	1.02
<b>E7</b>	0.23	INFINITO	0.46	0.23	INFINITO	1.61	0.23	0.36	0.79	0.23	0.13	1.02
<b>E8</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	1.84	0.23	INFINITO	0.79	0.23	INFINITO	1.02
<b>E9</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.07	0.23	0.59	0.79	0.23	0.59	0.92
<b>E10</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.3	0.23	0.59	0.69	0.23	0.59	0.69
<b>E11</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.53	0.23	0.59	0.46	0.23	0.59	0.46
<b>E12</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.76	0.23	0.59	0.23	0.23	0.59	0.23

<b>E13</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.99	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.23
<b>E14</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	3.22	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.23
<b>E15</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	3.45	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.23
<b>E16</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	3.68	0.23	INFINITO	0.69	0.23	INFINITO	0.23
<b>E17</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	3.91	0.23	1.05	0.46	0.23	INFINITO	0.23
<b>E18</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	4.14	0.23	1.05	0.23	0.23	INFINITO	0.46
<b>E19</b>	0.23	1.05	0.23	0.23	INFINITO	4.37	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.69
<b>E20</b>	0.23	1.05	0.46	0.23	INFINITO	4.6	0.23	INFINITO	1.74	0.23	INFINITO	0.92
<b>E21</b>	0.23	INFINITO	0.69	0.23	INFINITO	1.74	0.23	1.28	0.23	0.23	INFINITO	1.15
<b>E22</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	0.13	0.23	0.23	INFINITO	0.46	0.23	INFINITO	1.38
<b>E23</b>	0.23	1.05	0.23	0.23	0.13	0.46	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	1.61
<b>E24</b>	0.23	1.05	0.46	0.23	0.13	0.69	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	1.84
<b>E25</b>	0.23	INFINITO	0.69	0.23	0.13	0.92	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.07
<b>E26</b>	0.23	1.05	0.1	0.23	0.13	1.02	0.23	1.28	0.23	0.23	INFINITO	2.3
<b>E27</b>	0.23	1.05	0.1	0.23	0.13	1.02	0.23	INFINITO	0.46	0.23	INFINITO	2.53
<b>E28</b>	0.23	INFINITO	0.1	0.23	INFINITO	1.02	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.76
<b>E29</b>	0.23	0.59	0.1	0.23	0.59	0.92	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.99
<b>E30</b>	0.23	0.59	0.1	0.23	0.59	0.69	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	3.22
<b>E31</b>	0.23	0.59	0.1	0.23	0.59	0.46	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	3.45
<b>E32</b>	0.23	0.59	0.1	0.23	0.59	0.23	0.23	INFINITO	0.1	0.23	INFINITO	3.68
<b>E33</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.23	0.23	0.13	0.1	0.23	INFINITO	3.91
<b>E34</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.23	0.23	0.13	0.1	0.23	INFINITO	4.14
<b>E35</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.23	0.23	0.13	0.1	0.23	INFINITO	4.37
<b>E36</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.69	0.23	0.13	0.1	0.23	INFINITO	4.6
<b>E37</b>	0.23	INFINITO	0.23	0.23	1.05	0.46	0.23	0.13	0.1	0.23	INFINITO	4.83
<b>E38</b>	0.23	INFINITO	0.46	0.23	1.05	0.23	0.23	0.13	0.1	0.23	INFINITO	5.06
<b>E39</b>	0.23	INFINITO	0.69	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	5.29
<b>E40</b>	0.23	INFINITO	0.92	0.23	INFINITO	1.74	0.23	INFINITO	0.46	0.23	INFINITO	7.03

<b>E41</b>	0.23	INFINITO	1.15	0.23	1.28	0.23	0.23	INFINITO	0.69	0.23	1.28	0.23
<b>E42</b>	0.23	INFINITO	1.38	0.23	INFINITO	0.46	0.23	INFINITO	0.92	0.23	INFINITO	0.46
<b>E43</b>	0.23	INFINITO	1.61	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	1.15	0.23	INFINITO	0.23
<b>E44</b>	0.23	INFINITO	1.84	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	1.38	0.23	INFINITO	0.23
<b>E45</b>	0.23	INFINITO	2.07	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	1.61	0.23	INFINITO	0.23
<b>E46</b>	0.23	INFINITO	2.3	0.23	1.28	0.23	0.23	INFINITO	1.84	0.23	1.28	0.23
<b>E47</b>	0.23	INFINITO	2.53	0.23	INFINITO	0.46	0.23	INFINITO	2.07	0.23	INFINITO	0.46
<b>E48</b>	0.23	INFINITO	2.76	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.3	0.23	INFINITO	0.23
<b>E49</b>	0.23	INFINITO	2.99	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.53	0.23	INFINITO	0.23
<b>E50</b>	0.23	INFINITO	3.22	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.76	0.23	INFINITO	0.23
<b>E51</b>	0.23	INFINITO	3.45	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	2.99	0.23	INFINITO	0.23
<b>E52</b>	0.23	INFINITO	3.68	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	3.22	0.23	INFINITO	0.23
<b>E53</b>	0.23	INFINITO	3.91	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	3.45	0.23	INFINITO	0.23
<b>E54</b>	0.23	INFINITO	4.14	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	3.68	0.23	INFINITO	0.23
<b>E55</b>	0.23	INFINITO	4.37	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	3.91	0.23	INFINITO	0.23
<b>E56</b>	0.23	INFINITO	4.6	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	4.14	0.23	INFINITO	0.23
<b>E57</b>	0.23	INFINITO	4.83	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	4.37	0.23	INFINITO	0.23
<b>E58</b>	0.23	INFINITO	5.06	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	4.6	0.23	INFINITO	0.23
<b>E59</b>	0.23	INFINITO	5.29	0.23	INFINITO	0.23	0.23	INFINITO	4.83	0.23	INFINITO	0.23
<b>E60</b>	0.23	INFINITO	12.9	0.23	INFINITO	6.1	0.23	INFINITO	12.44	0.23	INFINITO	6.1

Tabela 6: Preços-sombra obtidos para os cenários em estudo.

Restrição	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3			Cenário 4		
	Preço sombra	Aumento permitido	Redução permitida	Preço sombra	Aumento permitido	Redução permitida	Preço sombra	Aumento permitido	Redução permitida	Preço sombra	Aumento permitido	Redução permitida
2	5.87	38	2	7.38	13	0	7.38	1	12	7.38	1	12
3	6.1	0	2	7.61	13	0	5.87	38	2	5.87	38	2
4	5.87	34	6	7.84	13	0	5.87	40	0	6.1	0	2
5	5.87	37	3	8.07	13	0	6.1	2	0	6.33	0	2
6	5.87	34	6	8.3	13	0	6.33	1	0	6.56	0	2
7	5.87	39	1	8.53	13	0	6.56	0	0	6.79	0	2
8	6.1	0	1	8.76	13	0	6.79	0	0	7.02	0	2
9	5.87	36	4	8.99	11	0	7.02	0	0	7.25	0	2
10	5.87	39	1	9.22	11	0	6.46	1	1	6.46	1	1
11	5.87	34	6	9.45	11	0	6.69	1	1	6.69	1	1
12	5.87	33	7	9.68	11	0	6.92	1	1	6.92	1	1
13	5.87	34	6	9.91	11	0	7.15	1	1	7.15	1	1
14	5.87	36	4	10.14	11	0	7.38	1	12	7.38	1	12
15	5.87	39	1	10.37	11	0	7.38	0	13	7.38	0	13
16	5.87	38	2	10.6	4	0	7.38	0	13	7.38	0	13
17	5.87	37	3	10.83	4	0	7.38	0	13	7.38	0	13
18	5.87	37	3	11.06	4	0	6.92	0	1	7.38	1	12
19	5.87	39	1	11.29	4	0	7.15	0	1	7.61	1	12
20	5.87	37	3	11.52	4	0	7.38	0	13	7.84	1	12
21	6.1	0	3	11.75	4	0	7.38	0	13	8.07	1	12
22	6.33	0	3	7.38	1	12	5.87	38	2	8.3	1	12
23	5.87	38	2	5.87	38	2	6.1	0	2	8.53	1	12
24	5.87	40	0	6.1	0	2	5.87	34	6	8.76	1	12
25	6.1	2	0	6.33	0	2	5.87	37	3	8.99	1	12
26	6.33	1	0	6.56	0	2	5.87	34	6	9.22	1	12
27	5.87	40	0	6.79	0	2	5.87	39	1	9.45	1	12
28	6.1	2	0	7.02	0	2	6.1	0	1	9.68	1	12
29	6.33	1	0	7.25	0	2	5.87	36	4	9.91	1	12
30	6.46	1	1	6.46	1	1	5.87	39	1	10.14	1	12

31	6.69	1	1	6.69	1	1	5.87	34	6	10.37	1	12
32	6.92	1	1	6.92	1	1	5.87	33	7	10.6	1	12
33	7.15	1	1	7.15	1	1	5.87	34	6	10.83	1	12
34	7.38	1	12	7.38	1	12	6	9	4	11.06	1	12
35	7.38	0	13	7.38	0	13	6.23	9	4	11.29	1	12
36	7.38	0	13	7.38	0	13	6.46	9	4	11.52	1	12
37	7.38	0	13	7.38	0	13	6.69	9	4	11.75	1	12
38	7.38	1	12	6.92	0	1	6.92	9	4	11.98	1	12
39	7.61	1	12	7.15	0	1	7.15	9	4	12.21	1	12
40	7.84	1	12	7.38	0	13	7.38	9	4	12.44	1	12
41	8.07	1	12	7.38	0	13	7.61	9	4	12.67	1	12
42	8.3	1	12	5.87	38	2	7.84	9	4	5.87	38	2
43	8.53	1	12	6.1	0	2	8.07	9	4	6.1	0	2
44	8.76	1	12	5.87	34	6	8.3	9	4	5.87	34	6
45	8.99	1	12	5.87	37	3	8.53	9	4	5.87	37	3
46	9.22	1	12	5.87	34	6	8.76	9	4	5.87	34	6
47	9.45	1	12	5.87	39	1	8.99	9	4	5.87	39	1
48	9.68	1	12	6.1	0	1	9.22	9	4	6.1	0	1
49	9.91	1	12	5.87	36	4	9.45	9	4	5.87	36	4
50	10.14	1	12	5.87	39	1	9.68	9	4	5.87	39	1
51	10.37	1	12	5.87	34	6	9.91	9	4	5.87	34	6
52	10.6	1	12	5.87	33	7	10.14	9	4	5.87	33	7
53	10.83	1	12	5.87	34	6	10.37	9	4	5.87	34	6
54	11.06	1	12	5.87	36	4	10.6	9	4	5.87	36	4
55	11.29	1	12	5.87	39	1	10.83	9	4	5.87	39	1
56	11.52	1	12	5.87	38	2	11.06	4	4	5.87	38	2
57	11.75	1	12	5.87	37	3	11.29	4	4	5.87	37	3
58	11.98	1	12	5.87	37	3	11.52	4	4	5.87	37	3
59	12.21	1	12	5.87	39	1	11.75	4	4	5.87	39	1
60	12.44	1	12	5.87	37	3	11.98	4	4	5.87	37	3
61	12.67	1	12	5.87	39	1	12.21	4	4	5.87	39	1
62	5.87	38	2	7.38	13	0	7.38	1	12	7.38	1	12
63	6.1	0	2	7.61	13	0	5.87	38	2	5.87	38	2

64	5.87	34	6	7.84	13	0	5.87	40	0	6.1	0	2
65	5.87	37	3	8.07	13	0	6.1	2	0	6.33	0	2
66	5.87	34	6	8.3	13	0	6.33	1	0	6.56	0	2
67	5.87	39	1	8.53	13	0	6.56	0	0	6.79	0	2
68	6.1	0	1	8.76	13	0	6.79	0	0	7.02	0	2
69	5.87	36	4	8.99	11	0	7.02	0	0	7.25	0	2
70	5.87	39	1	9.22	11	0	6.46	1	1	6.46	1	1
71	5.87	34	6	9.45	11	0	6.69	1	1	6.69	1	1
72	5.87	33	7	9.68	11	0	6.92	1	1	6.92	1	1
73	5.87	34	6	9.91	11	0	7.15	1	1	7.15	1	1
74	5.87	36	4	10.14	11	0	7.38	1	12	7.38	1	12
75	5.87	39	1	10.37	11	0	7.38	0	13	7.38	0	13
76	5.87	38	2	10.6	4	0	7.38	0	13	7.38	0	13
77	5.87	37	3	10.83	4	0	7.38	0	13	7.38	0	13
78	5.87	37	3	11.06	4	0	6.92	0	1	7.38	1	12
79	5.87	39	1	11.29	4	0	7.15	0	1	7.61	1	12
80	5.87	37	3	11.52	4	0	7.38	0	13	7.84	1	12
81	6.1	0	3	11.75	4	0	7.38	0	13	8.07	1	12
82	6.33	0	3	7.38	1	12	5.87	38	2	8.3	1	12
83	5.87	38	2	5.87	38	2	6.1	0	2	8.53	1	12
84	5.87	40	0	6.1	0	2	5.87	34	6	8.76	1	12
85	6.1	2	0	6.33	0	2	5.87	37	3	8.99	1	12
86	6.33	1	0	6.56	0	2	5.87	34	6	9.22	1	12
87	5.87	40	0	6.79	0	2	5.87	39	1	9.45	1	12
88	6.1	2	0	7.02	0	2	6.1	0	1	9.68	1	12
89	6.33	1	0	7.25	0	2	5.87	36	4	9.91	1	12
90	6.46	1	1	6.46	1	1	5.87	39	1	10.14	1	12
91	6.69	1	1	6.69	1	1	5.87	34	6	10.37	1	12
92	6.92	1	1	6.92	1	1	5.87	33	7	10.6	1	12
93	7.15	1	1	7.15	1	1	5.87	34	6	10.83	1	12
94	7.38	1	12	7.38	1	12	6	9	4	11.06	1	12
95	7.38	0	13	7.38	0	13	6.23	9	4	11.29	1	12
96	7.38	0	13	7.38	0	13	6.46	9	4	11.52	1	12

97	7.38	0	13	7.38	0	13	6.69	9	4	11.75	1	12
98	7.38	1	12	6.92	0	1	6.92	9	4	11.98	1	12
99	7.61	1	12	7.15	0	1	7.15	9	4	12.21	1	12
100	7.84	1	12	7.38	0	13	7.38	9	4	12.44	1	12
101	8.07	1	12	7.38	0	13	7.61	9	4	12.67	1	12
102	8.3	1	12	5.87	38	2	7.84	9	4	5.87	38	2
103	8.53	1	12	6.1	0	2	8.07	9	4	6.1	0	2
104	8.76	1	12	5.87	34	6	8.3	9	4	5.87	34	6
105	8.99	1	12	5.87	37	3	8.53	9	4	5.87	37	3
106	9.22	1	12	5.87	34	6	8.76	9	4	5.87	34	6
107	9.45	1	12	5.87	39	1	8.99	9	4	5.87	39	1
108	9.68	1	12	6.1	0	1	9.22	9	4	6.1	0	1
109	9.91	1	12	5.87	36	4	9.45	9	4	5.87	36	4
110	10.14	1	12	5.87	39	1	9.68	9	4	5.87	39	1
111	10.37	1	12	5.87	34	6	9.91	9	4	5.87	34	6
112	10.6	1	12	5.87	33	7	10.14	9	4	5.87	33	7
113	10.83	1	12	5.87	34	6	10.37	9	4	5.87	34	6
114	11.06	1	12	5.87	36	4	10.6	9	4	5.87	36	4
115	11.29	1	12	5.87	39	1	10.83	9	4	5.87	39	1
116	11.52	1	12	5.87	38	2	11.06	4	4	5.87	38	2
117	11.75	1	12	5.87	37	3	11.29	4	4	5.87	37	3
118	11.98	1	12	5.87	37	3	11.52	4	4	5.87	37	3
119	12.21	1	12	5.87	39	1	11.75	4	4	5.87	39	1
120	12.44	1	12	5.87	37	3	11.98	4	4	5.87	37	3
121	12.67	1	12	5.87	39	1	12.21	4	4	5.87	39	1
122	0	INFINITO	245	0	INFINITO	198	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245
123	0	INFINITO	245	0	INFINITO	202	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245
124	0	INFINITO	245	0	INFINITO	193	0	INFINITO	243	0	INFINITO	243
125	0	INFINITO	245	0	INFINITO	205	0	INFINITO	244	0	INFINITO	244
126	0	INFINITO	245	0	INFINITO	222	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245
127	0	INFINITO	245	0	INFINITO	231	0	INFINITO	243	0	INFINITO	243
128	0	INFINITO	245	0	INFINITO	234	0	INFINITO	244	0	INFINITO	244
129	0	INFINITO	245	0	INFINITO	227	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245

130	0	INFINITO	245	0	INFINITO	221	0	INFINITO	243	0	INFINITO	243
131	0	INFINITO	245	0	INFINITO	208	0	INFINITO	243	0	INFINITO	243
132	0	INFINITO	245	0	INFINITO	213	0	INFINITO	243	0	INFINITO	243
133	0	INFINITO	245	0	INFINITO	221	0	INFINITO	244	0	INFINITO	244
134	0	INFINITO	245	0	INFINITO	225	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245
135	0	INFINITO	245	0	INFINITO	241	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245
136	0	INFINITO	245	0	INFINITO	232	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245
137	0	INFINITO	245	0	INFINITO	222	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245
138	0	INFINITO	245	0	INFINITO	220	0	INFINITO	243	0	INFINITO	242
139	0	INFINITO	245	0	INFINITO	214	0	INFINITO	244	0	INFINITO	230
140	0	INFINITO	245	0	INFINITO	230	0	INFINITO	245	0	INFINITO	218
141	0	INFINITO	244	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	205
142	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	198
143	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	202
144	0	INFINITO	243	0	INFINITO	243	0	INFINITO	245	0	INFINITO	193
145	0	INFINITO	244	0	INFINITO	244	0	INFINITO	245	0	INFINITO	205
146	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	222
147	0	INFINITO	243	0	INFINITO	243	0	INFINITO	245	0	INFINITO	231
148	0	INFINITO	244	0	INFINITO	244	0	INFINITO	245	0	INFINITO	234
149	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	227
150	0	INFINITO	243	0	INFINITO	243	0	INFINITO	245	0	INFINITO	221
151	0	INFINITO	243	0	INFINITO	243	0	INFINITO	245	0	INFINITO	208
152	0	INFINITO	243	0	INFINITO	243	0	INFINITO	245	0	INFINITO	213
153	0	INFINITO	244	0	INFINITO	244	0	INFINITO	245	0	INFINITO	221
154	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	241	0	INFINITO	225
155	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	240	0	INFINITO	241
156	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	238	0	INFINITO	232
157	0	INFINITO	245	0	INFINITO	245	0	INFINITO	235	0	INFINITO	222
158	0	INFINITO	242	0	INFINITO	243	0	INFINITO	232	0	INFINITO	220
159	0	INFINITO	230	0	INFINITO	244	0	INFINITO	231	0	INFINITO	214
160	0	INFINITO	218	0	INFINITO	245	0	INFINITO	219	0	INFINITO	230
161	0	INFINITO	205	0	INFINITO	245	0	INFINITO	205	0	INFINITO	245
162	0	INFINITO	198	0	INFINITO	245	0	INFINITO	198	0	INFINITO	245

163	0	INFINITO	202	0	INFINITO	245	0	INFINITO	202	0	INFINITO	245
164	0	INFINITO	193	0	INFINITO	245	0	INFINITO	193	0	INFINITO	245
165	0	INFINITO	205	0	INFINITO	245	0	INFINITO	205	0	INFINITO	245
166	0	INFINITO	222	0	INFINITO	245	0	INFINITO	222	0	INFINITO	245
167	0	INFINITO	231	0	INFINITO	245	0	INFINITO	231	0	INFINITO	245
168	0	INFINITO	234	0	INFINITO	245	0	INFINITO	234	0	INFINITO	245
169	0	INFINITO	227	0	INFINITO	245	0	INFINITO	227	0	INFINITO	245
170	0	INFINITO	221	0	INFINITO	245	0	INFINITO	221	0	INFINITO	245
171	0	INFINITO	208	0	INFINITO	245	0	INFINITO	208	0	INFINITO	245
172	0	INFINITO	213	0	INFINITO	245	0	INFINITO	213	0	INFINITO	245
173	0	INFINITO	221	0	INFINITO	245	0	INFINITO	221	0	INFINITO	245
174	0	INFINITO	225	0	INFINITO	245	0	INFINITO	225	0	INFINITO	245
175	0	INFINITO	241	0	INFINITO	245	0	INFINITO	241	0	INFINITO	245
176	0	INFINITO	232	0	INFINITO	245	0	INFINITO	232	0	INFINITO	245
177	0	INFINITO	222	0	INFINITO	245	0	INFINITO	222	0	INFINITO	245
178	0	INFINITO	220	0	INFINITO	245	0	INFINITO	220	0	INFINITO	245
179	0	INFINITO	214	0	INFINITO	245	0	INFINITO	214	0	INFINITO	245
180	0	INFINITO	230	0	INFINITO	245	0	INFINITO	230	0	INFINITO	245
181	0	INFINITO	245									
182	0	INFINITO	2	1.51	13	0	1.51	1	12	1.51	1	12
183	0.23	0	2	1.74	13	0	0	INFINITO	2	0	INFINITO	2
184	0	INFINITO	6	1.97	13	0	0	INFINITO	0	0.23	0	2
185	0	INFINITO	3	2.2	13	0	0.23	2	0	0.46	0	2
186	0	INFINITO	6	2.43	13	0	0.46	1	0	0.69	0	2
187	0	INFINITO	1	2.66	13	0	0.69	0	0	0.92	0	2
188	0.23	0	1	2.89	13	0	0.92	0	0	1.15	0	2
189	0	INFINITO	4	3.12	11	0	1.15	0	0	1.38	0	2
190	0	INFINITO	1	3.35	11	0	0.59	1	1	0.59	1	1
191	0	INFINITO	6	3.58	11	0	0.82	1	1	0.82	1	1
192	0	INFINITO	7	3.81	11	0	1.05	1	1	1.05	1	1
193	0	INFINITO	6	4.04	11	0	1.28	1	1	1.28	1	1
194	0	INFINITO	4	4.27	11	0	1.51	1	12	1.51	1	12
195	0	INFINITO	1	4.5	11	0	1.51	0	13	1.51	0	13

196	0	INFINITO	2	4.73	4	0	1.51	0	13	1.51	0	13
197	0	INFINITO	3	4.96	4	0	1.51	0	13	1.51	0	13
198	0	INFINITO	3	5.19	4	0	1.05	0	1	1.51	1	12
199	0	INFINITO	1	5.42	4	0	1.28	0	1	1.74	1	12
200	0	INFINITO	3	5.65	4	0	1.51	0	13	1.97	1	12
201	0.23	0	3	5.88	4	0	1.51	0	13	2.2	1	12
202	0.46	0	3	1.51	1	12	0	INFINITO	2	2.43	1	12
203	0	INFINITO	2	0	INFINITO	2	0.23	0	2	2.66	1	12
204	0	INFINITO	0	0.23	0	2	0	INFINITO	6	2.89	1	12
205	0.23	2	0	0.46	0	2	0	INFINITO	3	3.12	1	12
206	0.46	1	0	0.69	0	2	0	INFINITO	6	3.35	1	12
207	0	INFINITO	0	0.92	0	2	0	INFINITO	1	3.58	1	12
208	0.23	2	0	1.15	0	2	0.23	0	1	3.81	1	12
209	0.46	1	0	1.38	0	2	0	INFINITO	4	4.04	1	12
210	0.59	1	1	0.59	1	1	0	INFINITO	1	4.27	1	12
211	0.82	1	1	0.82	1	1	0	INFINITO	6	4.5	1	12
212	1.05	1	1	1.05	1	1	0	INFINITO	7	4.73	1	12
213	1.28	1	1	1.28	1	1	0	INFINITO	6	4.96	1	12
214	1.51	1	12	1.51	1	12	0.13	9	4	5.19	1	12
215	1.51	0	13	1.51	0	13	0.36	9	4	5.42	1	12
216	1.51	0	13	1.51	0	13	0.59	9	4	5.65	1	12
217	1.51	0	13	1.51	0	13	0.82	9	4	5.88	1	12
218	1.51	1	12	1.05	0	1	1.05	9	4	6.11	1	12
219	1.74	1	12	1.28	0	1	1.28	9	4	6.34	1	12
220	1.97	1	12	1.51	0	13	1.51	9	4	6.57	1	12
221	2.2	1	12	1.51	0	13	1.74	9	4	6.8	1	12
222	2.43	1	12	0	INFINITO	2	1.97	9	4	0	INFINITO	2
223	2.66	1	12	0.23	0	2	2.2	9	4	0.23	0	2
224	2.89	1	12	0	INFINITO	6	2.43	9	4	0	INFINITO	6
225	3.12	1	12	0	INFINITO	3	2.66	9	4	0	INFINITO	3
226	3.35	1	12	0	INFINITO	6	2.89	9	4	0	INFINITO	6
227	3.58	1	12	0	INFINITO	1	3.12	9	4	0	INFINITO	1
228	3.81	1	12	0.23	0	1	3.35	9	4	0.23	0	1

229	4.04	1	12	0	INFINITO	4	3.58	9	4	0	INFINITO	4
230	4.27	1	12	0	INFINITO	1	3.81	9	4	0	INFINITO	1
231	4.5	1	12	0	INFINITO	6	4.04	9	4	0	INFINITO	6
232	4.73	1	12	0	INFINITO	7	4.27	9	4	0	INFINITO	7
233	4.96	1	12	0	INFINITO	6	4.5	9	4	0	INFINITO	6
234	5.19	1	12	0	INFINITO	4	4.73	9	4	0	INFINITO	4
235	5.42	1	12	0	INFINITO	1	4.96	9	4	0	INFINITO	1
236	5.65	1	12	0	INFINITO	2	5.19	4	4	0	INFINITO	2
237	5.88	1	12	0	INFINITO	3	5.42	4	4	0	INFINITO	3
238	6.11	1	12	0	INFINITO	3	5.65	4	4	0	INFINITO	3
239	6.34	1	12	0	INFINITO	1	5.88	4	4	0	INFINITO	1
240	6.57	1	12	0	INFINITO	3	6.11	4	4	0	INFINITO	3
241	6.8	1	12	0	INFINITO	1	6.34	4	4	0	INFINITO	1
242	0	INFINITO	13	0	INFINITO	0	0	INFINITO	12	0	INFINITO	12
243	0	INFINITO	13	0.23	13	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
244	0	INFINITO	13	0.46	13	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
245	0	INFINITO	13	0.69	13	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
246	0	INFINITO	13	0.92	13	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
247	0	INFINITO	13	1.15	13	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
248	0	INFINITO	13	1.38	13	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
249	0	INFINITO	13	1.61	11	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
250	0	INFINITO	13	1.84	11	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
251	0	INFINITO	13	2.07	11	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
252	0	INFINITO	13	2.3	11	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
253	0	INFINITO	13	2.53	11	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
254	0	INFINITO	13	2.76	11	0	0	INFINITO	12	0	INFINITO	12
255	0	INFINITO	13	2.99	11	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
256	0	INFINITO	13	3.22	4	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
257	0	INFINITO	13	3.45	4	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13
258	0	INFINITO	13	3.68	4	0	0	INFINITO	13	0	INFINITO	12
259	0	INFINITO	13	3.91	4	0	0	INFINITO	13	0.23	1	12
260	0	INFINITO	13	4.14	4	0	0	INFINITO	13	0.46	1	12
261	0	INFINITO	13	4.37	4	0	0	INFINITO	13	0.69	1	12

262	0	INFINITO	13	0	INFINITO	12	0	INFINITO	13	0.92	1	12
263	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	1.15	1	12
264	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	1.38	1	12
265	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	1.61	1	12
266	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	1.84	1	12
267	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	2.07	1	12
268	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	2.3	1	12
269	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	2.53	1	12
270	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	2.76	1	12
271	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	2.99	1	12
272	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	3.22	1	12
273	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	3.45	1	12
274	0	INFINITO	12	0	INFINITO	12	0	INFINITO	13	3.68	1	12
275	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	3.91	1	12
276	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	4.14	1	12
277	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	4.37	1	12
278	0	INFINITO	12	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	4.6	1	12
279	0.23	1	12	0	INFINITO	13	0	INFINITO	13	4.83	1	12
280	0.46	1	12	0	INFINITO	13	0	INFINITO	4	5.06	1	12
281	0.69	1	12	0	INFINITO	13	0.23	9	4	5.29	1	12
282	0.92	1	12	0	INFINITO	13	0.46	9	4	0	INFINITO	13
283	1.15	1	12	0	INFINITO	13	0.69	9	4	0	INFINITO	13
284	1.38	1	12	0	INFINITO	13	0.92	9	4	0	INFINITO	13
285	1.61	1	12	0	INFINITO	13	1.15	9	4	0	INFINITO	13
286	1.84	1	12	0	INFINITO	13	1.38	9	4	0	INFINITO	13
287	2.07	1	12	0	INFINITO	13	1.61	9	4	0	INFINITO	13
288	2.3	1	12	0	INFINITO	13	1.84	9	4	0	INFINITO	13
289	2.53	1	12	0	INFINITO	13	2.07	9	4	0	INFINITO	13
290	2.76	1	12	0	INFINITO	13	2.3	9	4	0	INFINITO	13
291	2.99	1	12	0	INFINITO	13	2.53	9	4	0	INFINITO	13
292	3.22	1	12	0	INFINITO	13	2.76	9	4	0	INFINITO	13
293	3.45	1	12	0	INFINITO	13	2.99	9	4	0	INFINITO	13
294	3.68	1	12	0	INFINITO	13	3.22	9	4	0	INFINITO	13

295	3.91	1	12	0	INFINITO	13	3.45	9	4	0	INFINITO	13
296	4.14	1	12	0	INFINITO	13	3.68	4	4	0	INFINITO	13
297	4.37	1	12	0	INFINITO	13	3.91	4	4	0	INFINITO	13
298	4.6	1	12	0	INFINITO	13	4.14	4	4	0	INFINITO	13
299	4.83	1	12	0	INFINITO	13	4.37	4	4	0	INFINITO	13
300	5.06	1	12	0	INFINITO	13	4.6	4	4	0	INFINITO	13
301	5.29	1	12	0	INFINITO	13	4.83	4	4	0	INFINITO	13

## 5. CONCLUSÃO

A utilização da programação linear como auxiliar na resolução de problemas de planejamento agregados da produção de serrarias de pequeno porte permitiria melhorar a eficiência produtiva destas empresas pois tal técnica estima os valores ótimos de produção, estoque e horas trabalhadas em um determinado período de tempo, possibilitando também um planejamento mais eficiente de várias etapas do processo produtivo.

Ao trabalhar de acordo com o proposto pelo modelo matemático, as serrarias evitariam desperdícios desnecessários, diminuiriam seus custos e aumentariam suas margens de lucros, se mantendo mais competitivas no mercado, que também possibilitaria crescimentos produtivos e comerciais.

A análise de sensibilidade possibilita o conhecimento das possíveis variações que podem ocorrer no sistema sem que haja alteração no resultado ótimo esperado, o que confere às empresas um maior controle, tanto no âmbito produtivo, quanto no econômico. Além disto, o autoconhecimento da empresa permite melhores atuações no mercado.

Os preços-sombra é fundamental para o conhecimento de como as variações nas restrições do sistema alteram o resultado obtido, sendo possível prever, por exemplo, diminuição dos custos e aumento dos lucros com a análise do preço-sombra. Com esse conhecimento sendo aplicado nas serrarias seria possível planejar uma redução de custos afim de aumentar ganhos futuros, assim como prever atividades por meio do conhecimento das interações com as possíveis restrições.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo setorial - indústria de madeira processada mecanicamente**. 2009. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/wp-content/uploads/2014/02/2009.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.

ALVIM, A. M. As consequências dos acordos de livre comércio sobre o setor de lácteos no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s.l.], v. 48, n. 2, p.405-428, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-20032010000200007>.

ARENALES, M; et al. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BATISTA, D. C; SILVA, J. G. M; CORTELETTI, R. B. Desempenho de uma serraria com base na eficiência e amostragem do trabalho. **Floram**, [s.l.], v. 20, n. 2, p.271-280, 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.005>.

BELLIS, P. M.; PINHO, A. F.; PAMPLONA, E. de O. Definição do mix de produção com uso de programação linear e custos empresariais. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2004, Porto Seguro. **Anais...** Disponível em: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/issue/view/10>>. Acesso em: 20 maio 2016.

BEN, F.; GRACIOLLI, O. D.; REGINATTO, C. E. R. Gerenciamento do mix de produção em uma empresa industrial utilizando a análise de sensibilidade. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Disponível em: <[http://www.abcustos.org.br/texto/viewpublic?ID\\_TEXTO=3430](http://www.abcustos.org.br/texto/viewpublic?ID_TEXTO=3430)>. Acesso em: 15 maio 2016.

BRASIL. **Consolidação das Leis do Trabalho**. Rio de Janeiro, 01 maio 1943.

CASSEL, G. L.; VACCARO, G. L. R. **A aplicação de simulação-otimização para definição do *mix* ótimo de produção de uma indústria metal-mecânica**. 2007. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007\\_TR570433\\_0130.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_TR570433_0130.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2016.

COSTA, A. R. N.; SILVA, A. L. da. O planejamento do processo produtivo de uma indústria de panificação por modelos matemáticos. **Revista Produção**, Florianópolis, v. 10, n. 1, p.198-222, jan. 2010. Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br>>. Acesso em: 15 maio 2016

DONATO, F. A. S.; MAYERLE, S. F.; FIGUEIREDO, J. N. **Um modelo de planejamento agregado da produção para otimizar o *mix* de produtos e clientes em uma indústria metal-mecânica**. 2008. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_tn\\_sto\\_069\\_491\\_11469.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_069_491_11469.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2016.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

FROSSARD, A. C. P. Programação Linear: Maximização de Lucro e Minimização de Custos. **Revista Científica da Faculdade Lourenço Filho**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p.19-48, 2009. Disponível em: <[http://www.flf.edu.br/revista-flf.edu/volume06/V6\\_02.pdf](http://www.flf.edu.br/revista-flf.edu/volume06/V6_02.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2016.

FUNDAÇÃO DOM CABRAL - FDC. **Brasil perde três posições no ranking mundial de competitividade do IMD 2014**. 2014. Disponível em: <<http://www.fdc.org.br/blogespacodialogo/Lists/Postagens/Post.aspx?ID=358>>. Acesso em: 25 maio 2016.

GARCIA, N. J. M. et al. **Uso da programação linear como ferramenta de gerenciamento de estoque em uma loja de artigos eletrônicos**. 2015. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STP\\_211\\_252\\_28094.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_211_252_28094.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2016.

GOMES, Jociane Aparecida. **Planejamento e controle da produção (PCP): ferramenta estratégica de competição em pequenas empresas**. 2014. Semana acadêmica Fatecie 2014. Disponível em: <<http://fatecie.edu.br/documentos/graduacao/revistacientifica/2014/05.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2016.

GUIA TRABALHISTA. **Tabela dos valores nominais do salário mínimo**. 2016. Disponível em: <[http://www.guiatrabalhista.com.br/guia/salario\\_minimo.htm](http://www.guiatrabalhista.com.br/guia/salario_minimo.htm)>. Acesso em: 02 out. 2016.

HILLIER, F. S; LIEBERMAN, G. J, **Introdução à pesquisa operacional**. 8 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006

HOFF, D. N.; SIMIONI, F. J.; BRAND, M. A. Análise da competitividade da indústria de base florestal da região de Lages, SC. **Ensaio FEE**. Porto Alegre. v. 27, n. 1, p. 109-134, 2006.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Campus, 2007.

LEÃO, M. S.; NAVEIRO, R. M. Fatores de competitividade da indústria de móveis de madeira do Brasil. **Revista da Madeira**. ed. 119. ago, 2009.

LUCHESA, C. J. Programação linear e técnica opt. **Administração de Empresas em Revista**, Curitiba, v. 1, n. 1, p.25-40, jan. 2002. Anual. Disponível em: <<http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/admrevista/article/view/113>>. Acesso em: 22 set. 2016.

LUSTOSA, L. et al. **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MEIRIM, H. et al. Redução de custos e agilidade geram competitividade. **Revista da Madeira**. ed. 113. maio, 2008.

MF RURAL. **Anúncios de madeira serrada**. 2016. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/busca.aspx?palavras=madeira+serrada>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NANCI, L. C. et al. O PCP no contexto estratégico. In: LUSTOSA, Leonardo et al. **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. Cap. 2. p. 5-15.

NOGUEIRA, F. M. A. **Programação Linear**. 2010. Apostila de aula: UFJF. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/epd015/files/2010/06/IntrodPL.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2016.

OAIGEN, R. P. et al. Análise da sensibilidade da metodologia dos centros de custos mediante a introdução de tecnologias em um sistema de produção de cria. **R. Bras. Zootec.**, [s.l.], v. 38, n. 6, p.1155-1162, jun. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-35982009000600025>.

OLIVEIRA, E. S. **Uma abordagem da pesquisa operacional aplicada a gestão de materiais e a logística**: contribuição para o ensino de modelo de programação linear em dois níveis. 2005. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2005. Disponível em: <[http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/POS-ENGPRODUCAO\\_2397\\_1212437255.pdf](http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/POS-ENGPRODUCAO_2397_1212437255.pdf)>. Acesso em: 2 maio 2016.

PADILHA, V. W. **A capacidade inovadora e as estratégias competitivas das empresas do setor madeireiro**: um estudo da indústria de painéis de Guarapuava-PR. 2009. 76f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Setor Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

PAIVA, R. P. O. de; MORABITO, R. Um modelo de otimização para o planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e álcool. **G & P: Gestão e produção**, São Carlos, v. 14, n. 1, p.25-41, jan. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v14n1/03.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2016.

RECEITA FEDERAL DO BRASIL. **Taxa de juros Selic**. 2016. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-selic>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

RUSSOMANO, V. H. **PCP: Planejamento e Controle da Produção**. 6. ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

SALOMON, V. A. P. **Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios na análise do planejamento e controle da produção**. 2004. 122 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/~salomon/pesquisa/2004/tese-dr.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2016.

SANTOS, M. A. L; et al. **Otimização econômica da exploração agrícola para o distrito de irrigação Baixo Acaraú - CE, utilizando modelo de programação linear**. 2005. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Raimundo\\_Gomes\\_Filho2/publication/267233663\\_OTIMIZAO\\_ECONMICA\\_DA\\_EXPLORAO\\_AGRICOLA\\_PARA\\_O\\_DISTRITO\\_DE\\_IRRIGAO\\_BAIXO\\_ACARA\\_-CE\\_UTILIZANDO\\_MODELO\\_DE\\_PROGRAMAO\\_LINEAR/links/5512cfd90cf268a4aaeb179f.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Raimundo_Gomes_Filho2/publication/267233663_OTIMIZAO_ECONMICA_DA_EXPLORAO_AGRICOLA_PARA_O_DISTRITO_DE_IRRIGAO_BAIXO_ACARA_-CE_UTILIZANDO_MODELO_DE_PROGRAMAO_LINEAR/links/5512cfd90cf268a4aaeb179f.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2016.

SILVA, A. F. et al. **Pesquisa operacional**: desenvolvimento e otimização de modelos matemáticos por meio da linguagem GAMS. Apostila de aula: UNESP-Guaratinguetá. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/~fmarins/GAMS/apostilagams.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2016.

SOUSA, E. P.; SOARES, N. S.; SILVA, M. L. Desempenho competitivo das empresas de móveis de madeira: o caso do polo moveleiro de Ubá – MG. **Revista de Economia e Agronegócio**, vol.8, nº 3, 2010. Disponível em: <<http://www.rea.ufv.br/index.php/rea/issue/view/29>>. Acesso em: 15 setembro de 2013.

SOUZA, J. B. de. **Alinhamento das estratégias do planejamento e controle da manutenção (PCM) com as finalidades e funções do planejamento e controle da produção (PCP)**: uma abordagem analítica. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2008.

SPRAKEL, E. B; SEVERIANO FILHO, C. **A evolução dos sistemas de pcp sob a ótica da engenharia de produção**. 1999. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1999\\_a0654.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1999_a0654.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2016.

STEVERSON, W. I. **Administração das operações de produção**. Roger D. Frankel (tradução). ed. 6. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TEIXEIRA, V. G. **Aplicação de programação linear na alocação de vagões gôndola para o transporte de ferro gusa na MRS Logística S.A.** 2011. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2011\\_3\\_Vinicius.pdf](http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2011_3_Vinicius.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2016

VIVA REAL. **Catálogo**. 2016. Disponível em: <<https://www.vivareal.com.br/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

ZEFERINO, C. L; A SOUSA, V.; COSTA, G. R. M. **Análise de sensibilidade aplicada ao problema de máximo carregamento**. 2009. Disponível em: <<http://ws2.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2009/artigos/55971.pdf>>. Acesso em: 20 out. 201