



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL

CATARINA ZOVKA DE MORAES LEMOS

**BALANCEAMENTO OTIMIZADO DA PRODUÇÃO COM A DEMANDA EM
ESTALEIROS NÁUTICOS: metodologia aplicada em caso real**

RECIFE

2024

CATARINA ZOVKA DE MORAES LEMOS

**BALANCEAMENTO OTIMIZADO DA PRODUÇÃO COM A DEMANDA EM ESTALEIROS
NÁUTICOS: metodologia aplicada em caso real**

Este relatório aborda o desenvolvimento de uma metodologia para construção do planejamento agregado em estaleiros náuticos com exemplificação aplicada em estaleiro náutico de embarcação de esporte e lazer do estado de Santa Catarina, com o intuito de adquirir o título de Engenheira Naval, do curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco.

Orientador: Heitor de Oliveira Duarte

Recife
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Lemos, Catarina Zovka de Moraes.

Balanceamento otimizado da produção com a demanda em estaleiros
náuticos: metodologia aplicada em caso real / Catarina Zovka de Moraes
Lemos. - Recife, 2024.

63 p. : il., tab.

Orientador(a): Heitor de Oliveira Duarte

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Naval -
Bacharelado, 2024.

Inclui referências, anexos.

1. Indústria náutica. 2. Estaleiro náutico. 3. Planejamento agregado. 4.
Programação linear. 5. Planejamento da capacidade. I. Duarte, Heitor de
Oliveira. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

CATARINA ZOVKA DE MORAES LEMOS

**BALANCEAMENTO OTIMIZADO DA PRODUÇÃO COM A DEMANDA EM ESTALEIROS
NÁUTICOS: metodologia aplicada em caso real**

Este relatório aborda o desenvolvimento de uma metodologia para construção do planejamento agregado em estaleiros náuticos com exemplificação aplicada em estaleiro náutico de embarcação de esporte e lazer do estado de Santa Catarina, com o intuito de adquirir o título de Engenheira Naval, do curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco.

Aprovado em 06/05/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Heitor de Oliveira Duarte (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Demetrius Perrelli Valença (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Bruno da Fonte Leite (Examinador Externo)
Petrobras

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por terem incentivado e priorizado os meus estudos e por terem me educado não só através de palavras, mas de exemplos. Buscarei honra-los sempre.

Sou grata também à instituição Universidade Federal de Pernambuco por ser um agente transformador na vida de tantos estudantes, que constroem aqui o alicerce para alcançar alturas. Bem como a todos os profissionais da educação do nosso país, verdadeiros soldados da esperança de um futuro melhor para o Brasil.

RESUMO

O Planejamento agregado é o processo de balanceamento da produção com a demanda, projetada para horizontes de tempo em geral de seis a doze meses. Para o planejamento agregado adota-se como medida de capacidade uma unidade geral, i.e. agregada, já que ele assume que o mix de produtos é constante durante todo o mês. Esse balanceamento pode ser feito atuando-se sobre os recursos produtivos. Nesse processo o que se procura é combinar os recursos produtivos de maneira a simultaneamente atender a demanda e conseguir custo mínimo de produção. Nesse trabalho propõe-se uma metodologia para a aplicação do Modelo de Programação Linear, que leva a uma solução ótima, ou seja, conduz ao Planejamento Agregado com mínimo custo total de produção em face das alternativas de produção disponíveis. Para ilustrar a aplicação desta metodologia na prática, é utilizado o caso real de um estaleiro náutico situado no estado de Santa Catarina. Inicialmente foi medida a capacidade do estaleiro, em seguida foi elaborada uma previsão da demanda para o ano seguinte, depois foi escolhida a política de capacidade adequada para a gestão da produção e por fim foi proposta a alternativa ótima de Planejamento Agregado para o ano seguinte. A aplicação do modelo proposto provou que a metodologia é viável de aplicação, sendo assim, este trabalho uma referência útil para aplicações de planejamento agregado em outros estaleiros náuticos.

Palavras chave: Indústria náutica, estaleiro náutico, planejamento agregado, programação linear, planejamento da capacidade.

ABSTRACT

Aggregate planning is the process of balancing production with demand, projected over time horizons generally of six to twelve months. For aggregate planning, a general unit of measure is adopted as capacity, meaning it is aggregated, since it assumes that the product mix remains constant throughout the month. This balancing can be done by acting on production resources. In this process, the aim is to combine production resources in such a way as to simultaneously meet demand and achieve minimum production costs. This paper proposes a methodology for applying the Linear Programming Model, which leads to an optimum solution, i.e. Aggregate Planning with minimum total production cost given the production alternatives available. To illustrate the application of this methodology in practice, the real case of a shipyard located in the state of Santa Catarina is used. Initially, the shipyard's capacity was measured, then a demand forecast for the following year was drawn up, then the appropriate capacity policy for production management was chosen and finally the optimum Aggregate Planning alternative for the following year. The application of the proposed model proved that the methodology is feasible to apply, making this work a useful reference for aggregate planning applications in other shipyards.

Keywords: Marine industry, shipyard, aggregate planning, linear programming, capacity planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A distribuição da frota de embarcações de esporte e recreio no Brasil por região. ...	11
Figura 2: Alocação da força de trabalho nos estaleiros na área de produção.	12
Figura 3: Processo de laminação manual do casco de uma embarcação.	18
Figura 4: Exemplificação do tecido unidirecional.	19
Figura 5: Exemplificação do tecido bidirecional.	19
Figura 6: Exemplificação da manta de fibra de vidro.	19
Figura 7: Pedaco de manta sendo impregnado com resina poliéster e compactado com rolo de ferro em seguida, no processo de laminação manual.	20
Figura 8: Montagem de material de núcleo para conferir rigidez à peça do convés.	21
Figura 9: Aplicação de gealcoat no molde do casco de um iate.	21
Figura 10: Barco sendo içado do molde.	22
Figura 11: As etapas do planejamento e controle da capacidade.	25
Figura 12: Simplificação do efeito Sazonalidade na demanda.	27
Figura 13: Planejamento e controle da capacidade como uma sequência dinâmica de decisões.	31
Figura 14: Planejamento e controle da capacidade como uma sequência dinâmica de decisões.	32
Figura 15: Passos para a metodologia proposta.	34
Figura 16: Venda mensal de barcos de 2019 a 2023.	44
Figura 17: Gráfico de demanda, produção planejada e capacidade para o ano seguinte.	52

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Exemplos de medidas de capacidade.....	28
Tabela 2: Constantes utilizadas na construção do modelo.	38
Tabela 3: Restrições utilizadas para a construção do Modelo de otimização para cada período t.	39
Tabela 4: Variáveis de decisão utilizadas na construção do Modelo de programação Linear.	40
Tabela 5: Representação da função objetivo.	41
Tabela 6: Dimensões principais do barco abordado no trabalho.	43
Tabela 7: Barcos vendidos de janeiro de 2019 a dezembro de 2023.	44
Tabela 8: Valores para cálculo do coeficiente de determinação.	45
Tabela 9: Cálculo dos índices sazonais.....	47
Tabela 10: Cálculo dos índices sazonais.....	48
Tabela 11: Cálculo da previsão corrigida pelo índice sazonal.....	48
Tabela 12: Gráfico que mostra previsão de demanda para o ano de estudo.....	49
Tabela 13: Definição das constantes.....	50
Tabela 14: Definição das restrições.	50
Tabela 15: Representação das variáveis de decisão e função objetivo.....	51
Tabela 16: Resultado ótimo da Programação linear do planejamento agregado da empresa em questão.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACOBAR – Associação Brasileira dos Construtores de Barcos e seus Implementos

CP – Custo de Produção

FGTS – Fundo de Garantia do Tempo de Serviço

HH – Homem Hora

MDF – *Medium-Density Fiberboard*

MMGP – Modelo de Maturidade em Gerenciamento de Projetos

PERT – *Program Evaluation and Review Technique*

PLIM – Programação Linear Inteira Mista

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

VBA – *Visual Basic for Applications*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Objetivo	13
1.2. Estrutura do trabalho	13
1.3. Revisão da literatura	14
1.4. Justificativa e contribuição	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. Materiais em fibra de vidro	17
2.1.1. Tipos de fibra de vidro	18
2.1.2. Processo de laminação manual	19
2.1.3. Moldes	21
2.1.4. Modelos	22
2.2. Planejamento e controle da capacidade	22
2.2.1. O que é capacidade?	23
2.2.2. Objetivos de desempenho e controle da capacidade	24
2.2.3. Etapas do planejamento e controle da capacidade	24
2.3. Medição da Demanda	25
2.4. Medição da capacidade	27
2.5. Políticas alternativas de capacidade	28
2.5.1. Política de capacidade constante	28
2.5.2. Política de acompanhamento da demanda	28
2.5.3. Política de gestão da demanda	30
2.5.4. Políticas mistas	30
2.6. Dinâmica do planejamento e controle da capacidade	30
2.7. Planejamento agregado	32
2.7.1. Etapas do planejamento agregado	32
2.7.2. Métodos de montagem do planejamento agregado	33
3. METODOLOGIA PROPOSTA	34
3.1. Medir a capacidade	34
3.2. Prever a demanda para o ano seguinte	35
3.2.1. Modelo de decomposição das séries temporais	35
3.3. Escolher a política de capacidade adequada para gestão da produção	37
3.4. Propor alternativa ótima de planejamento agregado para o próximo ano	37

3.4.1.	Construção do modelo	38
3.4.2.	Algoritmo de otimização	41
4.	RESULTADOS.....	43
4.1.	Medir a capacidade	43
4.2.	Prever a demanda para o ano seguinte.....	44
4.3.	Escolher a política de capacidade adequada para gestão da produção	49
4.4.	Propor alternativa ótima de planejamento agregado para o próximo ano	49
4.5.	Algoritmo de otimização	51
5.	DISCUSSÃO.....	53
5.1.	Discussão da metodologia.....	53
5.2.	Discussão dos resultados	54
6.	CONCLUSÃO	56
7.	REFERÊNCIAS.....	57
8.	ANEXO I – PROGRAMAÇÃO LINEAR NO SOFTWARE LINGO	60
9.	ANEXO 2 – <i>OUTPUT</i> COM SOLUÇÕES DO PROGRAMA LINGO.....	63

1. INTRODUÇÃO

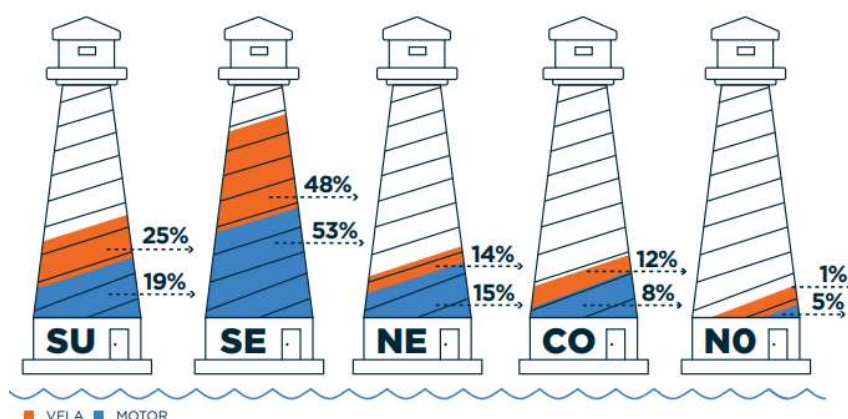
Este trabalho se insere na área de Planejamento e controle da produção, mais especificamente no Planejamento Agregado da construção náutica, com baixo volume e médio grau de customização. O Planejamento agregado é o processo de balanceamento da produção com a demanda, projetada para horizontes de tempo em geral de seis a doze meses (MOREIRA, 2012). O interesse do estudo volta-se ao segmento de mercado de embarcações de esporte e lazer, i.e., qualquer construção suscetível de se locomover na água, por meios próprios ou não, transportando pessoas ou cargas voltada para atividades esportivas e de lazer, sem finalidade comercial (DPC, 2023).

Sobre o cenário em que a pesquisa se insere, observa-se que o potencial de construção brasileira de embarcação de esporte e recreio é imenso e internacionalmente reconhecido, como evidencia o recente interesse de grandes empresas multinacionais do setor náutico em estabelecer conexões com o Brasil. A indústria nacional está diante de desafios e oportunidades inéditos, e para fazer frente a eles deve demonstrar sua capacidade de utilizar as ferramentas que o mercado exige: informação consistente, raciocínio estratégico e talento humano (ACOBAR, 2012).

Cada vez mais, o setor passa a ser percebido como um elo importante da cadeia produtiva da indústria do turismo, na qual as embarcações são bens de capital, não mais bens de consumo de luxo. A expansão e a crescente formalização das atividades do setor originaram um grande número de novas empresas, várias delas de micro e pequeno porte, gerando empregos e renda, o que criou condições para uma racionalização na carga tributária, com redução da alíquota de IPI e das alíquotas de ICMS em estados importantes como São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Bahia (ACOBAR, 2012).

No entanto, mesmo diante de um quadro tão auspicioso e um potencial sem paralelo no mundo, o setor náutico brasileiro ainda tem grandes desafios e gargalos a superar em todos os pontos da sua cadeia produtiva *inbound* (produção e venda de embarcações) e *outbound* (utilização das embarcações e serviços correlatos) (ACOBAR, 2012). A frota brasileira de embarcações de esporte e recreio acima de 16 pés compreende um conjunto de aproximadamente 70.000 embarcações, entre lanchas e veleiros. Predominam no mercado brasileiro as embarcações a motor, com quase 84% do total da frota, enquanto que a participação dos barcos a vela chega a 16,3% (ACOBAR, 2012). A Figura 1 mostra a distribuição da frota de embarcações de esporte e recreio no Brasil, por região, onde é possível notar a predominância dessas embarcações no Sudeste e Sul, respectivamente.

Figura 1: A distribuição da frota de embarcações de esporte e recreio no Brasil por região.



Fonte: (ACOBAR, 2012).

Os estaleiros brasileiros especializados na fabricação de embarcações de esporte e recreio oferecem ao mercado uma gama completa de produtos que inclui desde caiaques, pranchas a vela e motos aquáticas até iates de alto luxo, *trawlers* e veleiros de longo curso, capazes de dar a volta ao mundo (ACOBAR, 2012). Apesar de a atividade de construção naval destinada ao esporte e recreio datar do início do século XX, somente na década de 1960 surgiram as primeiras operações industriais especializadas no setor, trabalhando a partir de encomendas e, posteriormente, formando os primeiros estoques de produtos acabados (ACOBAR, 2012).

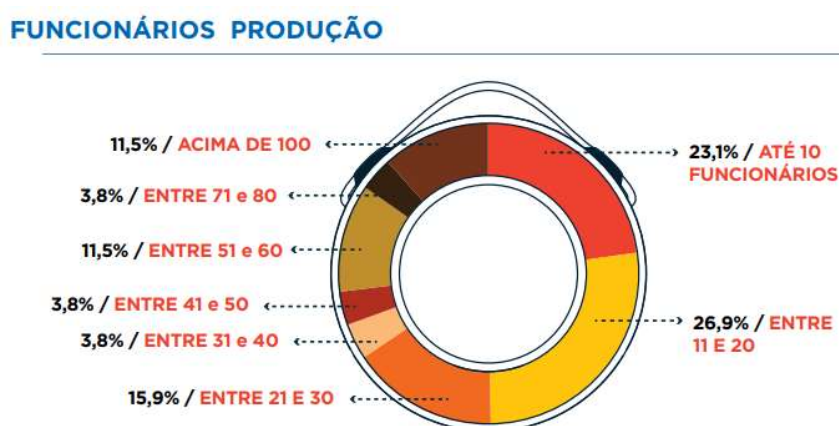
Segundo pesquisa da Acobar (2012) a partir da década de 1980, com o aumento da visibilidade da náutica no cenário brasileiro, houve um crescimento no número de estaleiros e o mercado pôde observar o surgimento de novas operações industriais e novas marcas focadas na demanda crescente das regiões Sul e Nordeste do Brasil. Esse movimento foi reforçado pelo crescimento e pela estabilidade econômica que tiveram lugar a partir de meados da década de 1990, com o advento do Real. Nesse período começaram a se desenvolver os embriões dos novos centros de produção náutica, que se consolidaram nos últimos anos e se mantêm pujantes até o presente, entre os quais merecem destaque as regiões da Grande São Paulo, Baixada Fluminense e os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Alagoas e Pernambuco. As regiões Sudeste e Sul concentram mais de 85% dos estaleiros, com destaque para os estados de São Paulo (35% do total de estaleiros), Santa Catarina (21%) e Rio de Janeiro (14%).

Atualmente, o mercado conta com cerca de 120 estaleiros formais em operação e que produzem embarcações de 16 pés ou mais. Nesse universo, 70% dos estaleiros produzem apenas lanchas e 15% deles oferecem modelos de 50 pés ou mais (ACOBAR, 2012). Os estaleiros dedicados apenas à produção de veleiros representam 13% do total, e o restante dos fabricantes oferece um mix de produtos variados que inclui infláveis, monotipos com tamanho inferior a 16 pés e até *trawlers* de longo curso, fabricados por encomenda (ACOBAR, 2012).

Logicamente, a construção e a comercialização de embarcações maiores demandam expertise mais elevada e uma estrutura de capital mais robusta, que suporte o ciclo de produção, o que limita o número de competidores nessa faixa de mercado. Por essa razão, observa-se que a concorrência no mercado náutico é mais acirrada entre os fabricantes de embarcações menores, que oferecem *mix* de produtos semelhantes entre si.

É importante destacar que as características semiartesaniais e altamente especializadas do processo de fabricação de uma embarcação de esporte e recreio viabilizam a coexistência de estruturas produtivas de diferentes tamanhos dentro do mercado, sem prejuízo para a qualidade e competitividade do produto final. Isso significa que pequenos estaleiros, que operam com padrões de qualidade de processo e produto, mantêm-se ativos no mercado e disputam com produtos semelhantes fabricados por empresas de maior porte a preferência dos consumidores (ACOBAR, 2012). Na Figura 2 podemos ver a alocação da força de trabalho nos estaleiros brasileiros, onde é possível observar que em torno de 50% dos estaleiros nacionais operam com até 20 funcionários na produção.

Figura 2: Alocação da força de trabalho nos estaleiros na área de produção.



Fonte: (ACOBAR, 2012).

A cadeia produtiva da náutica no Brasil tem vocação para gerar empregos em todos os seus elos e, por isso, tem um potencial de impacto social importante (ACOBAR, 2012). A atividade náutica é altamente intensiva em mão de obra, de modo que é grande geradora de trabalho e renda, tanto durante o processo de construção das embarcações, no qual a mão de obra representa cerca de 60% de seu custo primário, quanto durante a utilização das embarcações, quando a aplicação de mão de obra qualificada é indispensável. O fornecimento de produtos e serviços voltados à utilização das embarcações de esporte e recreio, a chamada cadeia produtiva *outbound*, representa um vetor de geração de renda e emprego longe dos centros industriais tradicionais, o que caracteriza uma dispersão geográfica interessante para a empregabilidade no país e para a fixação da população nessas regiões, diminuindo o fluxo migratório para os grandes centros urbanos. O número de trabalhadores empregados em estaleiros especializados

na construção de embarcações de esporte e recreio no Brasil é estimado em 9.800 pessoas, enquanto que os fabricantes de acessórios, peças e equipamentos empregam aproximadamente 7 mil trabalhadores (ACOBAR, 2012).

Do ponto de vista da administração da produção desses estaleiros, a sazonalidade de vendas de embarcações de esporte e recreio demanda dinamismo na administração e gerência do sistema produtivo, bem como respostas rápidas às oscilações de demanda e análise da ocupação dos postos de trabalho (OLIVEIRA, 2011b). Assim, a aplicação de uma abordagem de otimização para o auxílio ao processo de tomadas de decisões operacionais tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento econômico do Brasil na área de esporte e lazer.

Emparelhar a produção com a demanda ao longo do tempo é uma responsabilidade fundamental da administração de produção. Um equilíbrio adequado entre produção e demanda pode minimizar custos ao mesmo tempo que mantém clientes satisfeitos, enquanto o desequilíbrio pode mão de obra ociosa, estoques desnecessários, perda de clientes e todos os custos associados (SLACK et al., 2010).

A metodologia proposta é aplicada em um estaleiro de embarcação de esporte e recreio cujo produto principal um veleiro de pequeno porte (4,16m de comprimento) bastante utilizado para regatas e em aulas de vela. O estaleiro localiza-se no estado de Santa Catarina, no eixo da BR-101, no polo náutico mais importante da região e o terceiro maior do Brasil, atrás apenas do litoral do Rio de Janeiro e de São Paulo (ACOBAR, 2012).

1.1. Objetivo

O objetivo geral é propor uma metodologia para otimização do problema do planejamento agregado em estaleiros náuticos e ilustrar a sua aplicação em um caso real. A metodologia deve ser genérica e flexível, de forma que possa servir como referência para aplicação em qualquer estaleiro náutico de pequeno porte.

A criação e desenvolvimento da metodologia serão feitos ao longo da sua aplicação em um caso real (i.e., desenvolvimento da teoria a partir da prática). Portanto, para atingir o objetivo geral, propõe-se os seguintes objetivos específicos:

1. Medir a capacidade.
2. Prever a demanda para o ano seguinte.
3. Escolher a política de capacidade adequada para gestão da produção.
4. Propor alternativa ótima de planejamento agregado para o próximo ano.

1.2. Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: primeiro, este capítulo inicial (Introdução) introduz e conceitua, de forma sucinta, a proposta do presente trabalho. Na sequência, no Capítulo 2

(Revisão da literatura), é realizada uma revisão bibliográfica para levantar o estado da arte do planejamento agregado na indústria náutica utilizando ferramentas de otimização, além de sua justificativa e contribuição para a gestão de produção brasileira. No capítulo 3 (Metodologia), devido à falta de um passo-a-passo sistemático para a elaboração de planejamento agregado em estaleiros náuticos, é apresentada uma proposta de metodologia. No capítulo 4 (Resultados), é executada a proposta de metodologia para o planejamento agregado de um estaleiro náutico, apresentando os cálculos necessários e os resultados obtidos. No capítulo 5 (Discussão), são debatidos a metodologia e seus resultados, destacando-se os pontos mais relevantes e limitações. Por fim, no Capítulo 6 (Conclusão), são apresentadas as conclusões sobre o trabalho desenvolvido, incluindo sugestões de continuidade para trabalhos futuros.

1.3. Revisão da literatura

Planejamento e Controle da Produção aplicado à indústria náutica e/ou naval ainda é um tema escasso em publicações científicas. Foi feita uma revisão bibliográfica sobre o tema através de bases de dados tais como Periódicos da Capes e *Google Scholar*. Foram encontrados dez artigos científicos, uma dissertação de mestrado e três Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC). Suas vantagens e limitações são discutidas a seguir com o objetivo de justificar a importância do presente trabalho, bem como seus pontos mais importantes.

Sete dos estudos analisados se concentram no planejamento agregado aplicado a algum segmento da indústria. O primeiro, de Pasa et al. (2017), propõe a maximização do lucro de uma empresa de sirene de carro utilizando Planejamento agregado. Em um artigo mais recente, Gassen et al. (2019) desenvolveram um modelo de programação linear para otimizar o planejamento agregado de produção de brocas. Na dissertação de Jesus (2014), um modelo matemático foi elaborado para representar o sistema de produção de uma empresa de equipamentos para análise de minerais. No artigo de Paiva e Morabito (2007) foi implantado um modelo de otimização para o planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e álcool; no de Junqueira e Morabito (2006) foi implantado um modelo semelhante para o planejamento agregado da produção e logística das sementes de milho; no artigo de Munhoz e Morabito (2010) foi feito estudo similar, porém voltado à indústria de processamento concentrado congelado de laranja; por fim, Oliveira (2011a) realizou o estudo para a indústria têxtil. Tais estudos demonstram que a aplicabilidade do planejamento vem sendo estudado em alguns setores, demonstrando desenvolvimento tecnológico e de engenharia de produção nos mesmos.

O TCC de Júnior (2018) e o artigo de Barbosa et al. (2016) abordam o desenvolvimento de uma metodologia de gestão de projetos utilizando PERT e sua aplicação em um projeto *AS-Built* (com representações técnicas documentadas) de uma embarcação de fibra de vidro. Embora compartilhem etapas iniciais semelhantes com o presente estudo, como a caracterização do sistema produtivo e a

estimativa de tempos, diferem no objetivo final, pois não incluem a gestão da capacidade, destacando assim a importância do tema abordado.

O artigo de Cordeiro et al. (2015) destaca-se pela exposição das equações matemáticas utilizadas em uma modelagem para estratégia de produção constante e acompanhamento da demanda. Utilizando o Excel em conjunto com o *Visual Basic for Applications* (VBA), o estudo exemplifica equações para diversos aspectos da produção, como produção normal, contratação de mão de obra, demissão e cálculos de custos, proporcionando uma abordagem clara e matemática que pode servir de referência para estudos futuros.

O artigo de J. P. N. de Oliveira (2014) avalia o nível de maturidade em gerenciamento de projetos em um estaleiro do Nordeste brasileiro usando o Modelo de Maturidade em Gerenciamento de Projetos (MMGP) de Prado (2010). Embora utilize um método diferente deste TCC, busca melhorar os resultados empresariais ao identificar pontos fracos, fortes e gargalos, visando a melhoria contínua. Essa metodologia pode complementar o estudo do planejamento agregado em trabalhos futuros, apesar de depender da disponibilidade e confiabilidade das respostas dos gerentes para gerar resultados.

Filho et al. (1995) abordaram a solução de um problema de planejamento ótimo da produção, com foco no comportamento do estoque, utilizando restrições de não-negatividade nos níveis de produção e estoque, sendo este último com restrição probabilística. No entanto, essa metodologia não contribui para esta pesquisa, pois se concentra no estoque, enquanto o foco aqui é nas variáveis de produção do planejamento agregado.

Aurélio Schmidt et al. (2017) propõem um produto na indústria náutica com foco em eficiência operacional e ecodesign para reduzir desperdícios. Embora relevante para a indústria, não é significativo para esta pesquisa, que se concentra mais em decisões administrativas do que na fabricação do produto.

Na dissertação de V. A. Oliveira (2011), a otimização do planejamento produtivo de um estaleiro náutico é realizada com um sistema computacional baseado em Programação Linear Inteira Mista (PLIM). O objetivo é minimizar a ociosidade do posto de trabalho gargalo. O trabalho é dividido em cinco fases, incluindo a identificação dos modelos de produção e a programação de softwares para encontrar a melhor solução. Essa metodologia pode servir como referência para pesquisas semelhantes.

Percebe-se que a abordagem do Planejamento Agregado nos setores naval e náutico ainda é escasso na literatura brasileira e mundial. Geralmente, estudos do âmbito da engenharia de produção são restritos a projetos de extensão entre universidades e empresas do ramo naval, com foco em embarcações de grande porte. Embora alguns estudos tenham aplicado o planejamento agregado usando o Excel e o Solver, nenhum deles concentrou-se na indústria náutica, mas no segmento açucareiro, de milho, suco de laranja, na indústria têxtil, sirenes e brocas. Apenas os trabalhos de Oliveira (2011) e Júnior (2018) abordaram o ambiente de produção de estaleiros náuticos, mas não trataram especificamente do Planejamento Agregado, indicando um nível tecnológico incipiente nesse setor.

1.4. Justificativa e contribuição

Estudos apontados pela Acobar (2012) revelaram que de 2005 a 2012 o mercado náutico brasileiro apresentou as maiores taxas de crescimento no mundo. A elevação de demanda da produção nos estaleiros brasileiros traz o desafio de manter um bom nível tecnológico em um segmento que se desenvolve aceleradamente e que tem potencial para competir internacionalmente no ramo de produção de embarcações.

Metade dos estaleiros de embarcação de pequeno porte, seja de embarcações motorizadas ou à vela, tem seu cenário de produção com porte parecido segundo demonstra pesquisa da Acobar (2012), que revela que 50% dos estaleiros náuticos do Brasil tem até 20 funcionários em sua produção. Este cenário corresponde ao da empresa de estudo em questão, que possui nove funcionários em sua produção. O diferencial desse trabalho será a construção de uma abordagem geral e didática utilizando programação através de software de otimização, com passos que poderão ser ajustados ao cenário de outro estaleiro ou empresa.

Conforme mostrou a revisão da literatura (Seção 1.3), não há nenhuma metodologia com passo a passo estruturado para a elaboração do Planejamento Agregado em estaleiro náutico ou naval. Portanto, este trabalho é pioneiro neste aspecto, já que propõe uma metodologia inédita, genérica e flexível que pode ser usada por qualquer estaleiro, em qualquer lugar do mundo. Esta metodologia é ilustrada através da aplicação em um caso real (a um estaleiro náutico do estado de Santa Catarina) de forma a facilitar a compreensão da teoria para o leitor e proporcionando a futuros estudantes de engenharia naval a possibilidade de usar este trabalho como referência para novas aplicações em outros estaleiros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo fornece a base teórica para o TCC de forma a facilitar sua interpretação. Ele busca familiarizar o leitor com os temas que serão abordados no trabalho, como por exemplos materiais em fibra de vidro – já que a metodologia será validada utilizando um estaleiro náutico que constrói barcos em fibra – planejamento e controle da capacidade, medição da demanda, políticas de capacidade e planejamento agregado.

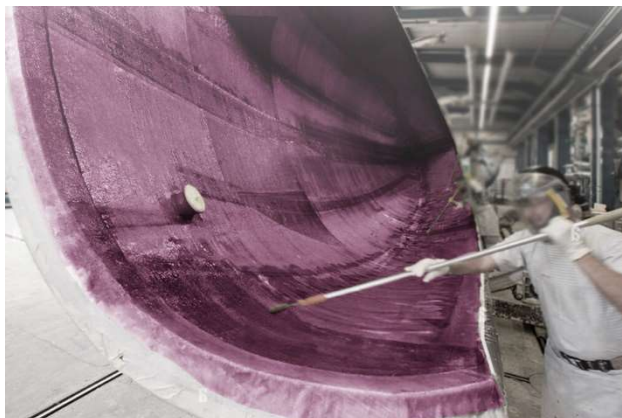
2.1. Materiais em fibra de vidro

A fibra de vidro é constituída por substâncias minerais, solidificada de uma mistura de quartzo, carbonato de cálcio e carbonato de sódio, disposta em feixes de espessuras extremamente finas. Ela é obtida mediante a passagem do vidro em fusão por pequeníssimos orifícios e tem amplo emprego na indústria. O termo “fibra de vidro” também é utilizado para designar “estrutura de plástico reforçado com fibras de vidro”. Dos diversos plásticos normalmente reforçados com fibra de vidro, o poliéster insaturado é o mais usado, por seu baixo custo, facilidade de manuseio e processamento e a sua qualidade de resistência (MATHEUS, 2002). Esse material possui diversas aplicações: em veículos, escorregadores, bandejas, piscinas, trampolim, veículos recreativos, trailers, bancos de estádio, capacete, peças de mobiliário residencial, prancha de surfe, cortadores de grama, tampa de motor, ar condicionados, barcos, pás de ventilador etc.

O processo chamado laminação consiste na aplicação de fibras de vidro e resina catalisada em um local determinado, geralmente um molde, onde é feito a compactação através de roletes e pincéis para eliminar más acomodações da fibra, bolhas de ar e excesso de resina, conferindo assim mais qualidade de acabamento e resistência à peça (MATHEUS, 2002).

O processo de fabricação mais conhecido e usado na moldagem da fibra de vidro é o de “molde aberto”, com a laminação da fibra de vidro com resina poliéster insaturada (MATHEUS, 2002). Tem-se dois processos de laminação em molde aberto: a laminação manual (que pode ser vista na Figura 3) e a laminação em pistola.

Figura 3: Processo de laminação manual do casco de uma embarcação.



Fonte: (NASSEH, 2023a).

A fibra de vidro tem muitos empregos, chegando a substituir com algumas vantagens o aço, madeira, vidro e alumínio. Devido a sua versatilidade, permite seu uso em aplicações exclusivas onde outros materiais não podem ser empregados. Ela permite a moldagem de peças complexas inteiriças, sem emendas, juntas, parafusos ou rebites, possuindo como particularidade estrutural grande resistência à tração, impacto e flexão (MATHEUS, 2002).

Pode ser considerada um material leve, tendo peso específico de aproximadamente 0,7 contra 1,35 para o alumínio e 3,9 para o aço (MATHEUS, 2002). Seu material não conduz corrente elétrica, sendo usado como isolante estrutural em condições adversas. Por permitir a moldagem em peças complexas, permite ampla disponibilidade de projeto.

As peças em fibra de vidro mantêm inalteradas suas formas e dimensões em condições extremas de uso. Seu baixo coeficiente de dilatação térmica aliado a baixíssima absorção de água, permitem seu uso ao lado de peças metálicas em aplicações sujeitas a grandes variações de temperatura e humidade (MATHEUS, 2002).

2.1.1. Tipos de fibra de vidro

A disposição das fibras de vidro, ou seja, a posição com que elas são ordenadas, determina o máximo nível de resistência que pode ser atingido no laminado (MATHEUS, 2002). Em seguida são apresentadas as possibilidades de arranjo das fibras no laminado e os nomes de cada tipo:

Disposição unidirecional: permite obtenção de elevada resistência na direção das fibras. Nesse caso, o teor de vidro pode alcançar até 80% por peso quando laminados manualmente. Os tecidos unidirecionais ou *roving* são por vezes usados como reforço. Na Figura 4 pode-se ver uma representação do tecido unidirecional.

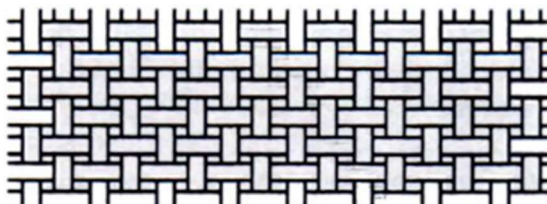
Figura 4: Exemplificação do tecido unidirecional.



Fonte: (MATHEUS, 2002).

Disposição bidirecional: as fibras são orientadas em duas direções perpendiculares. As propriedades mecânicas do laminado variam conforme a direção considerada. Até 60% de vidro, por peso, pode ser obtido com tecidos de fibra de vidro, também laminados manualmente. Na Figura 5 pode-se ver uma representação do tecido bidirecional.

Figura 5: Exemplificação do tecido bidirecional.



Fonte: (MATHEUS, 2002).

Disposição multidirecional ou aleatória: é caracterizada por ter as mesmas propriedades mecânicas em qualquer direção. Nesse caso o reforço se apresenta como fibras picadas sob a forma de mantas ou *rovings*. O teor de vidro varia de 25% a 35% por peso na laminação manual. Na Figura 6 pode-se ver uma representação da disposição multidirecional do tecido, compondo uma manta.

Figura 6: Exemplificação da manta de fibra de vidro.



Fonte:(MATHEUS, 2002).

2.1.2. Processo de laminação manual

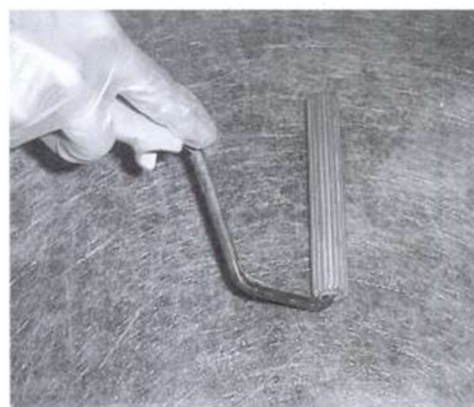
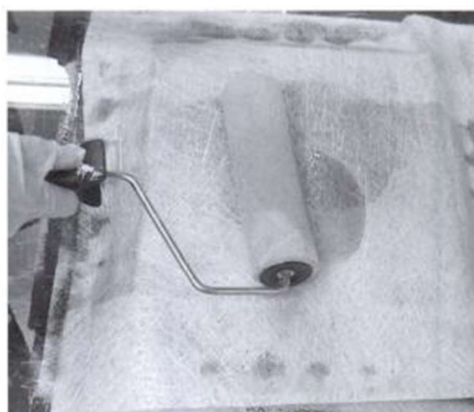
A laminação manual é um dos processos de construção de materiais em fibra de vidro empregados na indústria, aplicável também para a construção de barcos. Ela é empregada para baixos volumes de produção, principalmente devido ao pequeno investimento requerido em moldes e equipamentos (MATHEUS, 2002).

A laminação manual é feita com mantas, tecidos ou *rovings*. Alguns laminados são construídos apenas com mantas, enquanto outros são compostos por várias camadas de mantas e tecidos, aplicadas alternadamente. A resina líquida, geralmente poliéster insaturado, é combinada com as fibras de vidro no molde, quando uma reação química iniciada na resina por agentes especiais de cura (catalisadores e aceleradores) provoca o seu endurecimento, dando origem a uma peça moldada leve e resistente onde a resina desempenha a função de substrato (substância que se considera, mais ou menos arbitrariamente, como o participante passivo de uma dada reação, o que permite classificar tal reação quanto ao efeito provocado por outra substância, que será o reagente, participante ativo) e as fibras de vidro servem como reforço (MATHEUS, 2002).

Esse processo é mais adequado para laminação de peças menos complexas ou de espessuras reduzidas. É um processo útil para a construção de protótipos a serem posteriormente industrializados por outros processos mais sofisticados de fabricação de peças em plástico, permitindo ao fabricante acertar e modificar detalhes, bem como fazer teste de aceitação de produto com investimento mínimo (MATHEUS, 2002).

Se for desejado bom acabamento para a peça, a superfície do molde deve ser coberta com gelcoat pigmentado, aplicado à pistola ou rolo pintor (Figura 9). As fibras de reforço, juntamente com a resina, são aplicadas posteriormente sobre o gelcoat. Em seguida, o assentamento das fibras e a remoção de bolhas de ar é feito com pincel ou roletes tira bolhas (roletes de metal com frisos) como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7: Peça de manta sendo impregnado com resina poliéster e compactado com rolo de ferro em seguida, no processo de laminação manual.

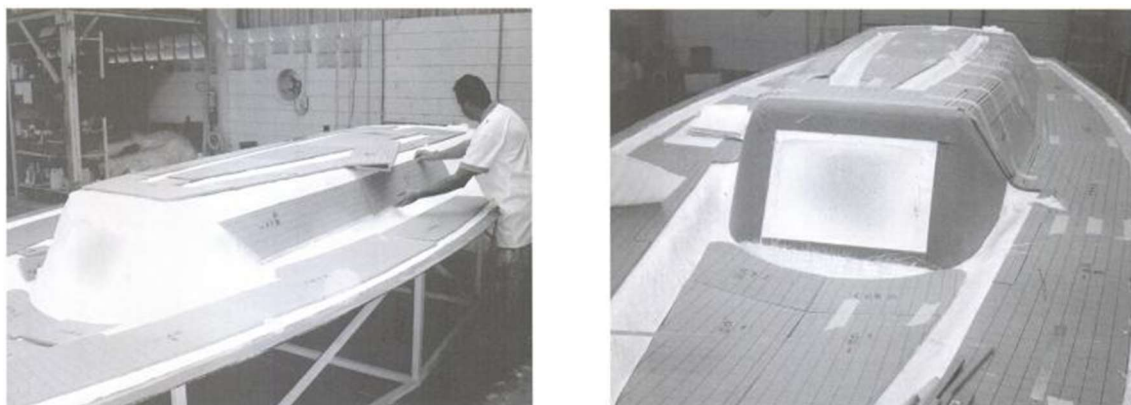


Fonte: (NASSEH, 2011).

São aplicadas várias camadas de fibra e resina até ser atingida a espessura final do laminado. A resina deve ser adequadamente acelerada e catalisada para cura a temperatura ambiente. Essas estruturas curam à temperatura ambiente, sem necessidade de estufa, porém, em alguns casos, estufas são utilizadas para reduzir o tempo de endurecimento.

Algumas vezes pode ser necessário o uso de materiais de núcleo para aumentar a rigidez, reduzir o peso ou conferir flutuabilidade à peça moldada (Figura 8). Os materiais mais usados são: madeira balsa, colmeia e espumas plásticas (MATHEUS, 2002). Já o uso de gelcoat (Figura 9) diminui o aparecimento do “desenho das fibras” na superfície lisa ao mesmo tempo que confere resistência química a peça, a depender das propriedades do gelcoat.

Figura 8: Montagem de material de núcleo para conferir rigidez à peça do convés.



Fonte: (NASSEH, 2011).

Figura 9: Aplicação de gelcoat no molde do casco de um iate.



Fonte: (NASSEH, 2022)

2.1.3. Moldes

A construção do molde é iniciada após a construção do modelo. Antes da sua construção, a superfície do modelo deve ser coberta com desmoldantes adequados. Em geral, os moldes usados para laminação por contato têm vida média estimada em 500 peças (500 desmoldagens) e custam cerca de 15 a 20 vezes mais que as peças nelas laminadas (MATHEUS, 2002). Para 500 desmoldagens, esse incremento de custo cai para cerca de 4%. Portanto, o baixo custo de ferramental favorece os processos de moldagem por contato em baixos volumes de produção.

Há peças impossíveis de serem feitas com um único molde. Sendo assim, é necessário desenvolver um molde composto de várias partes. Por exemplo o modelo de um barco, onde o casco e o convés serão feitos com matrizes conjugadas, se é feito um molde de duas partes, como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10: Barco sendo içado do molde.



Fonte: (NASSEH, 2023b).

2.1.4. Modelos

Os modelos são peças geralmente de madeira, gesso, chapa metálica e fibra de vidro, do qual se copia o molde. Sua função é reproduzir fielmente todos os detalhes do projeto, por isso deve ter suas dimensões cuidadosamente conferidas e deve ser possível manuseá-lo sem apresentar deformações. Seu acabamento deve ser tão bom quanto o desejado para a peça e ele pode ser construído a partir de desenhos ou adaptado de peças já existentes (MATHEUS, 2002).

2.2. Planejamento e controle da capacidade

Chamamos de capacidade a quantidade máxima de produtos e serviços que podem ser produzidos em uma unidade produtiva, em um dado intervalo de tempo. Sem violar as referências básicas da definição da capacidade, não é possível ter uma capacidade maior que 100% (MOREIRA, 2012).

Há muitos fatores dos quais depende a capacidade de uma unidade produtiva. Se quisermos aumentar a capacidade de uma unidade, deveremos alterar pelo menos um dos fatores determinantes dessa capacidade. Alguns deles não impõem grandes dificuldades para isso, enquanto outros dependem de mudanças mais custosas ou que tomam tempo ou ambas as coisas simultaneamente (MOREIRA, 2012).

Prever a capacidade de satisfazer a demanda atual e futura é uma responsabilidade fundamental da administração de produção. Um equilíbrio adequado entre capacidade e demanda pode gerar altos

lucros e clientes satisfeitos, enquanto o desequilíbrio pode ser potencialmente desastroso. Embora planejar e controlar a capacidade seja uma das principais responsabilidades dos gerentes de produção, também deveria envolver outros gerentes funcionais. Há razões para isso: as decisões de capacidade têm um impacto em toda empresa, todas as outras funções fornecem entradas (inputs) vitais para o processo de planejamento e cada função do negócio normalmente deverá planejar e controlar a capacidade de suas próprias “micro operações” para atender à função produção principal (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

O que chamamos de planejamento e controle da capacidade às vezes também é chamado de planejamento e controle agregados. A razão disto é que no mais alto nível do processo de planejamento e controle, os cálculos de demanda e capacidade normalmente são realizados de forma agregada, que não discrimina entre os diferentes produtos e serviços que uma operação produtiva pode fazer (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). A essência da tarefa é conciliar no nível geral e agregado - a existência de capacidade com o nível de demanda que deve ser satisfeita. Isto normalmente significa decidir como a operação deve reagir a flutuações na demanda.

Tendo definido a capacidade de longo prazo, os gerentes de produção devem decidir como ajustar a capacidade da produção no médio prazo. Isso normalmente envolve uma avaliação de demanda futura em um período de 2 a 18 meses, durante o qual o volume de produção pode ser variado, por exemplo, alterando o número de horas que os equipamentos são usados. Os gerentes de produção também devem fazer ajustes de capacidade de curto prazo, que lhes permitam flexibilizar o volume produzido por um curto período, seja com base em previsões ou sem aviso.

A característica importante do planejamento e controle da capacidade, como está sendo abordada aqui, é que visa definir os níveis de capacidade nos médio e curto prazos em termos agregados. Isto é, toma decisões de capacidade ampla e gerais, mas não se preocupa com todos os detalhes dos produtos e serviços individuais oferecidos. Logo, políticas agregadas assumem que o mix de diferentes produtos e serviços permanecerá relativamente constante durante o período de planejamento (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

2.2.1. O que é capacidade?

É o máximo nível de atividade de valor adicionado em determinado período de tempo que o processo pode realizar sob condições normais de operação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Deve-se incorporar a medida de escala à dimensão tempo adequada para o uso dos ativos, dessa forma o gerente de produção tratará do nível de produção que deve ser conseguido em determinado tempo.

Muitas organizações operam abaixo da sua capacidade máxima de processamento, seja porque a demanda é insuficiente para preencher completamente sua capacidade, seja por uma política

deliberada, de forma que a operação possa responder a cada novo pedido. São as partes que estão trabalhando em sua capacidade máxima, que são as restrições de capacidade de toda a operação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

2.2.2. Objetivos de desempenho e controle da capacidade

As Para Slack (2009) decisões tomadas por gerentes de produção no planejamento de suas políticas de capacidade afetarão diversos aspectos do desempenho:

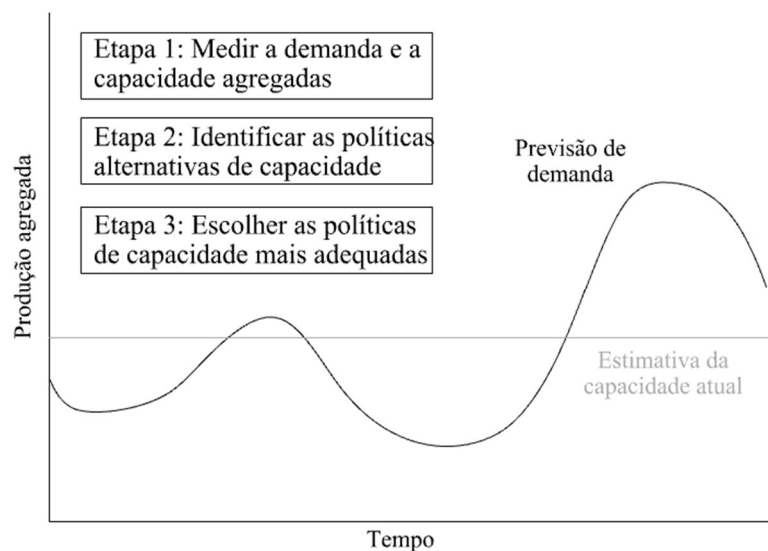
- Os *custos* serão afetados pelo equilíbrio entre capacidade e demanda: níveis de capacidade excedentes à demanda podem significar subutilização de capacidade, e portanto, alto custo unitário.
- As *receitas* serão afetadas: níveis de capacidade iguais ou superiores a demanda assegurarão que toda a demanda seja atendida e não haja perda de receitas.
- O capital de giro será afetado se uma operação decidir produzir estoque de bens acabados antecipando-se à demanda. Neste caso, a organização deve financiar o estoque até que seja vendido.
- A *qualidade* de bens ou serviços pode ser afetada por um planejamento de capacidade que inclui grandes flutuações nos níveis de capacidade, através de contratação de pessoal temporário, por exemplo. O pessoal novo e a interrupção do trabalho rotineiro da operação aumentariam a probabilidade de ocorrência de erros.
- A *velocidade* da resposta à demanda do cliente pode ser melhorada, seja pelo aumento de estoques (permitindo que os clientes sejam atendidos diretamente a partir do estoque) ou pela provisão deliberada de capacidade excedente para evitar filas.
- A *confiabilidade* do fornecimento também será afetada pela proximidade dos níveis de demanda e capacidade. Quanto mais próximas estiverem, menos capaz a demanda será de lidar com interrupções inesperadas e menos confiáveis seus fornecimentos e bens de serviço.
- A *flexibilidade*, especialmente de volume, será melhorada por capacidade excedente. Se estiverem em equilíbrio, a operação não será capaz de responder a quaisquer aumentos inesperados de demanda.

2.2.3. Etapas do planejamento e controle da capacidade

Tipicamente, a gerência de produção depara-se com uma previsão de demanda que tem pouca probabilidade de ser correta ou constante. Antes de tomar qualquer decisão, devem ter uma ideia quantitativa tanto da capacidade quanto da demanda. Logo, a primeira etapa será medir os níveis

agregados de demanda e capacidade para o período de planejamento. A segunda etapa será identificar as políticas alternativas de capacidade que poderiam ser adotadas em resposta à flutuação de demanda. A terceira etapa será escolher a política de capacidade mais adequada para suas circunstâncias (Figura 11) (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Figura 11: As etapas do planejamento e controle da capacidade.



Fonte: Adaptado de (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

2.3. Medição da Demanda

É necessário saber quanto uma empresa planeja vender de seus produtos ou serviços no futuro, pois essa expectativa é o ponto de partida, direto ou indireto, para praticamente todas as decisões de uma empresa. As vendas podem depender de muitos fatores – aumento vegetativo da população, situação econômica mundial, movimentos de mercados internacionais, esforços para aumentar a participação da empresa no mercado etc. - mas uma previsão por mais imperfeita que seja, sempre é necessária (MOREIRA, 2012).

A previsão de demanda é um processo racional de busca de informações acerca do valor das vendas futuras de um item ou de um conjunto de itens. Tanto quanto possível, a previsão deve fornecer também informações sobre a qualidade e a localização (lugar onde serão necessários) dos produtos no futuro (MOREIRA, 2012).

Para se obter uma previsão, existem vários métodos disponíveis, que em princípio podem ser usados em quaisquer circunstâncias, dependendo de certos fatores. Os principais fatores para a escolha de um método são:

Disponibilidade de dados, tempo e recursos: há métodos envolvendo modelos matemáticos que exigem, além de dados numéricos com certa abundância, também a existência de profissionais com

o conhecimento necessário para trabalhar com os modelos. Também a existência de computadores, dependendo do número e da variedade dos produtos, será altamente desejável.

Horizonte de previsão: há métodos que se mostram melhores para previsões de longo prazo, enquanto outros são rotineiramente aplicados às previsões para períodos mais curtos, como meses, semanas ou dias.

Por outro lado, os métodos de previsão geralmente assumem que as mesmas causas que estiveram presentes no passado, configurando a demanda, continuarão presentes no futuro. Isso quer dizer que o comportamento do passado é a base para se inferir sobre o comportamento do futuro. Os métodos não conduzem a resultados perfeitos, e a chance de erro é tanto maior quanto mais nos aprofundamos no futuro, ou seja, quanto maior seja nosso horizonte de previsão. Isso acontece porque os fatores aleatórios, que nenhuma previsão consegue captar, passam a exercer mais e mais influência. Os métodos de previsão podem ser classificados, segundo Moreira (2012), por:

Qualitativos (ou baseados no julgamento): repousa no julgamento de pessoas que tenham condições de opinar sobre a demanda futura (gerentes, vendedores, clientes, fornecedores etc.). São úteis na ausência de dados ou lançamento de novos produtos.

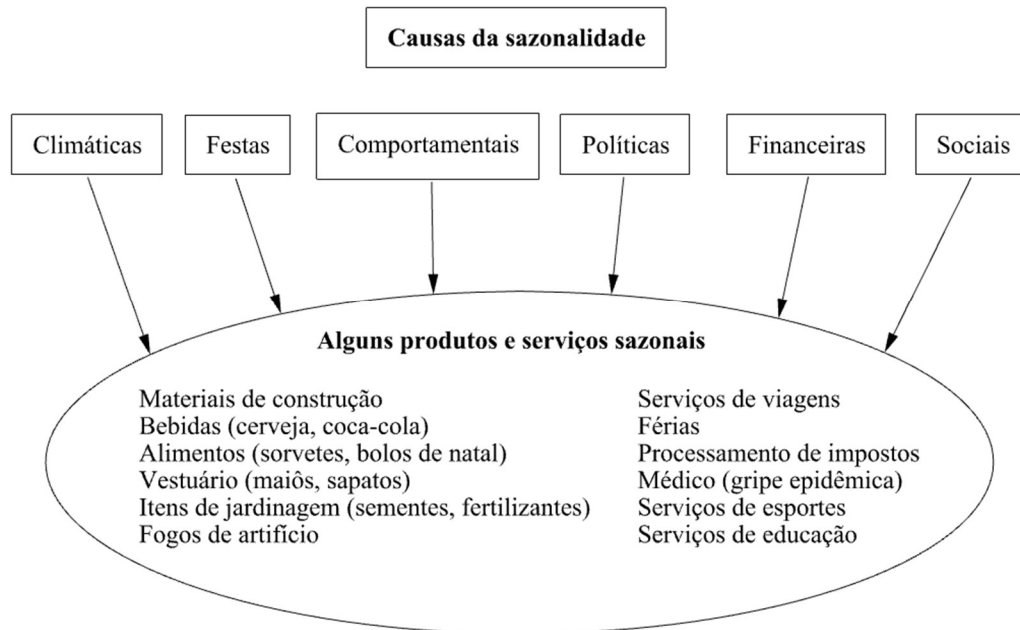
Matemáticos (ou quantitativos): utilizam modelos matemáticos para chegar a valores previstos. Permitem controle do erro, mas existem informações quantitativas preliminares. São divididos em Métodos causais e Séries temporais.

Na maior parte das organizações, a previsão da demanda é responsabilidade dos departamentos de vendas e marketing. É um insumo (input) principal para a decisão do planejamento e controle da capacidade que é normalmente uma responsabilidade da gerência de produção (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). No que diz respeito a planejamento e controle da capacidade, há três requisitos para uma previsão de demanda:

- Ser expressa em termos úteis para o planejamento e controle da capacidade;
- Ser tão exata quanto possível;
- Dar uma indicação da incerteza relativa (isto pode ser descoberto examinando a estatística da demanda).

Um fator importante sobre a demanda é a sua sazonalidade (Figura 12). Em muitas organizações, o planejamento e controle da capacidade está preocupado em lidar com flutuações sazonais da demanda. Quase todos os produtos e serviços tem alguma sazonalidade da demanda e alguns também têm sazonalidade de suprimentos. Estas flutuações na demanda ou no suprimento, podem ser razoavelmente previsíveis, mas algumas normalmente também são afetadas por variações inesperadas no clima e por evolução das condições econômicas.

Figura 12: Simplificação do efeito Sazonalidade na demanda.



Fonte: Adaptado de (SLACK et al., 2010; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

2.4. Medição da capacidade

Existem para Moreira (2012) duas formas de se medir a capacidade de uma unidade produtiva: por meio da produção ou por meio dos insumos. No caso de medida por meio da produção as unidades de medida devem ser comuns ao tipo de produto produzido. Em outras palavras, é impraticável misturar medida, tais como metros com toneladas, e assim por diante. Pode-se perceber que, se existe um só produto ou produtos semelhantes, não há problema em se medir a capacidade pela produção. Se existirem vários produtos, as necessidades e recursos produtivos são diferentes para as diversas combinações desses produtos. Mudando a composição dos produtos, muda então a capacidade em termos de unidades. No caso de se possuir muitos produtos, uma forma alternativa de se expressar a capacidade pode ser por meio dos insumos utilizados para a produção dos bens ou prestação de serviços.

O problema principal para a medição da capacidade não é sua incerteza, mas sua complexidade. Somente quando a produção é altamente padronizada e repetitiva é fácil definir a capacidade sem ambiguidade. Para muitas operações, entretanto, a definição de capacidade não é tão óbvia. Especialmente quando uma gama muito mais ampla de produtos apresenta demandas variáveis para o processo, as medidas de volume de produção são menos úteis. Neste caso, medidas baseadas nos insumos são frequentemente usadas para definir capacidade (e.g., Tabela 1). O volume de produção depende do mix de atividades das quais a empresa é engajada; como a maior parte das empresas desempenha tipos diferentes de serviços ou produtos, é difícil prever o volume de produção (SLACK et al., 2010).

Tabela 1: Exemplos de medidas de capacidade.

<i>Operação</i>	<i>Medidas de capacidade de insumos</i>	<i>Medida de capacidade de volume de produção</i>
Estaleiro naval	Toneladas de aço	Número de barcos
Fábrica de aeronaves	Toneladas de alumínio	Número de aeronaves
Estaleiro náutico	Toneladas de resina	Número de barcos
Fábrica de automóvel	Toneladas de aço	Número de carros

Fonte: Adaptado de (SLACK et al., 2010).

2.5. Políticas alternativas de capacidade

Como uma compreensão da demanda e da capacidade, o próximo passo é considerar os métodos alternativos de responder flutuações na demanda. Há três opções para lidar com essas variações: política de capacidade constante, política de acompanhamento da demanda e gestão da demanda, (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Na prática, a maior parte das organizações usará uma combinação dessas políticas com uma delas sendo dominante.

2.5.1. Política de capacidade constante

Esta política ignora as flutuações e mantém os níveis das atividades constantes. Significa que o mesmo número de pessoas opera os mesmos processos e por isso deveriam ser capazes de produzir o mesmo volume agregado de produção em cada período. Podem atingir os objetivos de padrões de emprego estáveis, alta utilização do processo e normalmente alta produtividade com baixos custos unitários. Em contrapartida também pode criar estoques consideráveis, que devem ser financiados e armazenados. Seu maior desafio é tomar a decisão do que deve ser produzido para estocar. Os clientes podem ter que fazer filas durante alguns períodos, ou podem ser processados mais rapidamente e com menor personalização. Embora isto esteja fora do ideal, os benefícios da estabilidade e produtividade para a organização podem compensar as desvantagens de desagradar alguns clientes.

2.5.2. Política de acompanhamento da demanda

A Política de acompanhamento de demanda busca ajustar a capacidade para refletir as flutuações da demanda. Por vezes é difícil conseguir variações muito grandes na capacidade de um período para outro. O gerente de produção pode empregar pessoal em tempo parcial e temporário, exigir que os empregados permanentes trabalhem mais horas ou mesmo introduzir mais mão de obra contratada, porém o gerente de produção terá a difícil tarefa de assegurar que os padrões de qualidade e

os procedimentos de segurança ainda sejam seguidos em detalhe e que os níveis de serviço aos clientes sejam mantidos. Por isto, esta política em sua forma pura tem pouca probabilidade de atrair operações que fabricam produtos-padrão não perecíveis, (SLACK et al., 2010).

Alternativas para influenciar a produção

As alternativas para influenciar a produção servem para aumentar ou diminuir a taxa de produção em um determinado período; por sua vez, um aumento pode se destinar tanto a um atendimento imediato da demanda (no próprio período), como a um atendimento futuro, por meio de acumulação de estoques. De acordo com Slack et al. (2010) existem diferentes métodos para influenciar a produção:

Horas extras e tempo ocioso: é com frequência o método mais rápido e conveniente para ajustar a capacidade. Quando a demanda é mais alta que a capacidade nominal, o dia de trabalho pode ser estendido; quando a demanda é menor que a capacidade nominal, o tempo de trabalho despendido pelo pessoal pode ser reduzido. No último caso, o pessoal pode engajar-se em outras atividades como limpeza e manutenção.

Variar o tamanho da força de trabalho: Se a capacidade for fortemente dependente do tamanho da força de trabalho, uma forma de ajustar a capacidade é ajustar o número de pessoas. Isto é feito contratando pessoal extra no período de alta demanda e os dispensando-os quando a demanda diminui. Há, entretanto, para Slack et al. (2010) implicações de custo e éticas para considerar antes de adotar este método. Os custos de contratar pessoal extra incluem os associados ao recrutamento, assim como os custos de baixa produtividade, enquanto o pessoal novo passa pela curva de aprendizagem. Já os custos de dispensa podem incluir possíveis indenizações, perda moral na operação e perda da boa vontade no mercado de mão de obra local.

Uso de pessoal em tempo parcial: uma estratégia é contratar pessoal para trabalhar menos do que um dia normal. Esta estratégia também é usada para alocar pessoal ao turno noturno depois do dia normal de trabalho. Se, entretanto, os custos fixos do emprego de cada empregado forem altos, usar este método pode não valer a pena.

Subcontratação: em períodos de alta demanda, uma operação pode adquirir capacidade de outras organizações. Isto pode capacitar a operação a atender sua própria demanda sem custos extras de investimento em capacidade, que não será necessário depois que o pico de demanda tenha passado. Há os custos associados a este método. A subcontratação pode ser muito dispendiosa pois o subcontratante também deseja ter margem de lucro suficiente no negócio. Um subcontratante pode não estar tão motivado a fornecer no prazo ou nos níveis desejados de qualidade. Adicionalmente, há o risco de que os subcontratantes também decidam entrar no mesmo mercado.

Estocagem: estocar produtos em fases de demanda baixa para usa-los no atendimento da demanda em fases de alta é um recurso extremamente comum em empresas industriais. O uso de

estoques suaviza o ritmo de produção, permitindo uma utilização mais regular da mão de obra. Entretanto, a acumulação de estoques implica em custos, tanto pelo capital imobilizado como pelas próprias despesas de estocagem.

2.5.3. Política de gestão da demanda

A política de gestão da demanda busca mudar a demanda para ajustá-la à disponibilidade da capacidade. Embora a maioria das operações tentem se planejar para variações da previsão de demanda, uma demanda estável de uniforme pode permitir que uma organização reduza custos e melhore o serviço já que, para Slack et al. (2010), a capacidade pode ser mais bem utilizada e o lucro potencial pode ser melhorado. Muitas organizações reconhecem esses benefícios e tentam administrar a demanda de várias formas. O objetivo é transferir a demanda dos períodos de pico para períodos tranquilos. Isto normalmente está além da responsabilidade imediata dos gerentes de produção, sendo responsabilidade das funções de marketing ou vendas. O papel principal do gerente de produção é, portanto, identificar e avaliar os benefícios da gestão da demanda e assegurar que as mudanças resultantes na demanda sejam satisfatoriamente atendidas pelo sistema de produção. Para Slack et al. (2010) os mecanismos para alterar a demanda são:

- Alterando preço (este mecanismo é mais comum para serviço do que para produto).
- Realizando propagandas adequadas;
- Realizando oferta de preços e produtos modificados;
- Desenvolvimento de novos produtos com padrões de demanda diferentes ao longo do ano.

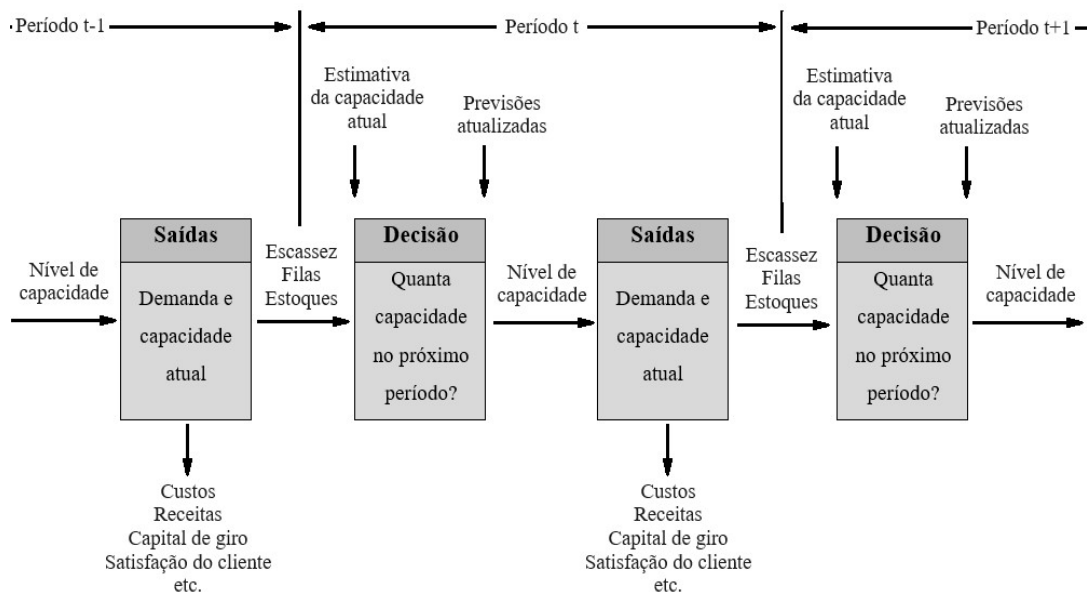
2.5.4. Políticas mistas

Cada uma dessas políticas só é aplicada quando suas vantagens compensam suas desvantagens. Para muitas organizações, entretanto, estas abordagens puras não atendem a sua combinação necessária de objetivos competitivos e operacionais. O gerente de produção deve fazer ponderações entre seus objetivos de desempenho. Espera-se que reduzam geralmente os custos e o estoque, para minimizar o investimento de capital e proporcionar uma abordagem ágil e orientada para o cliente. Por isso, a maioria das organizações escolhe adotar uma combinação das três estratégias, (SLACK et al., 2010).

2.6. Dinâmica do planejamento e controle da capacidade

A gestão da capacidade é um processo dinâmico, que envolve controlar e reagir à demanda real e à capacidade real à medida que ocorrem, (SLACK et al., 2010). Esse processo pode ser visto como uma sequência de processos de decisão de capacidade parcialmente reativos como mostra a Figura 13.

Figura 13: Planejamento e controle da capacidade como uma sequência dinâmica de decisões.



Fonte: Adaptado de (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009)

No início de cada período, a gerência da produção considera suas previsões de demanda, sua compreensão da capacidade atual e quanto estoque foi criado no período anterior. Baseado nessas informações, faz planos para a capacidade do período seguinte. Durante o próximo período a demanda pode, ou não, revelar-se como planejado e o mesmo tipo de decisão deverá ser tomado, mas em novas circunstâncias, (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Um fator importante para o gerente de produção tomar sua decisão sobre a capacidade do período, é sua confiança na coincidência da demanda futura com a capacidade futura. Se forem confiantes de que a demanda tem probabilidade de exceder a capacidade atual, serão mais tolerantes a respeito das políticas que levariam à sobre capacidade de curto prazo. Inversamente, se a demanda de longo prazo parecer baixa, será necessário iniciar implementando políticas que reduzem a capacidade de longo prazo. Sobrepondo-se a isto, há a necessidade da demanda atual. Mesmo se a demanda de longo prazo parecer baixa, pode ser necessário aumentar a capacidade, se houver necessidade de curto prazo. A Figura 14 mostra exemplos dos tipos de método que podem ser adotados para diferentes combinações de perspectiva de longo e curto prazos. Nesse caso, a perspectiva é definida abaixo na Equação 1.

$$Perspectiva = \frac{\text{demanda prevista}}{\text{capacidade prevista}} \quad \text{Equação 1}$$

Três situações de perspectiva são identificadas para curto e o longo prazos: “ruim”, quando a proporção entre demanda prevista e capacidade prevista é menor do que um; “normal”, quando essa razão é aproximadamente igual a um; “boa”, quando a razão é maior do que um. Este esquema é representado na Figura 14.

Figura 14: Planejamento e controle da capacidade como uma sequência dinâmica de decisões.

		Perspectiva de curto prazo		
		Perspectiva < 1 Ruim	Perspectiva = 1 Normal	Perspectiva > 1 Boa
Perspectiva de longo prazo	Perspectiva < 1 Ruim	Pessoal despedido	Adiar qualquer ação	Horas extras Contratar pessoal temporário
	Perspectiva = 1 Normal	Curto Prazo Tempo ocioso	Não fazer nada	Horas extras Contratar pessoal temporário
	Perspectiva > 1 Boa	Produzir para estoques Curto prazo	Contratar e produzir para estoques Iniciar recrutamento	Contratar pessoal

Fonte: Adaptado de (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009)

2.7. Planejamento agregado

O Planejamento agregado é o processo de balanceamento da produção com a demanda, projetada para horizontes de tempo em geral de seis a doze meses, (MOREIRA, 2012). Esse balanceamento pode ser feito atuando-se sobre os recursos produtivos. Nesse processo o que se procura é combinar esses recursos produtivos de maneira a simultaneamente atender a demanda e conseguir custo mínimo.

Para ser calculado, precisa-se definir uma medida geral. Por exemplo, para o caso de um estaleiro náutico pode ser pensado: unidades por mês, toneladas de resina, comprimento linear de barcos produzidos etc. O Planejamento agregado não se preocupa com todo o *mix* de produtos, mas assume que ele é constante durante o período do planejamento, tratando-se, portanto, de uma medida agregada.

2.7.1. Etapas do planejamento agregado

De forma geral o planejamento agregado deve cumprir as fases seguintes:

a) Previsão da demanda: feita para um período que vai comumente de 6 a 12 meses, a previsão pode ser obtida usando-se os métodos citados na Seção 2.3.1.

b) Escolha do conjunto possível de alternativas que serão usadas para influenciar a demanda e os níveis de produção; tais alternativas estarão sujeitas às restrições estabelecidas pela gerência e são citadas na Seção 2.4.2.

c) Determinar, a cada período, quais as particulares alternativas, dentre as previamente selecionadas, que serão usadas para influenciar a demanda e/ou os níveis de produção; a escolha entre as várias alternativas disponíveis obedecerá a critérios de minimização de custos de produção ou maximização de lucros.

2.7.2. Métodos de montagem do planejamento agregado

O planejamento agregado para Moreira (2012) parte de uma previsão da demanda para uma série relativamente curta de períodos futuros; devemos determinar para cada período, quanto será produzido – e como será produzido – para atender essa demanda. Esta resposta envolve uma composição de alternativas para alterar os níveis de produção. Para cada composição possível, em um dado período t , a produção terá custos associados os quais já foram detalhados e que podem ser expressos por CP_t (Custo de produção no período t). Se a previsão de demanda abrange n períodos no futuro, o custo total de produção CP é mostrado na Equação 2.

$$CP = \sum_{t=1}^n CP_t \quad \text{Equação 2}$$

A solução do problema do planejamento agregado consiste em determinar, em cada período, a combinação de alternativas de produção tal que, ao mesmo tempo em que atende à demanda, o custo total de produção CP tenha o menor valor possível.

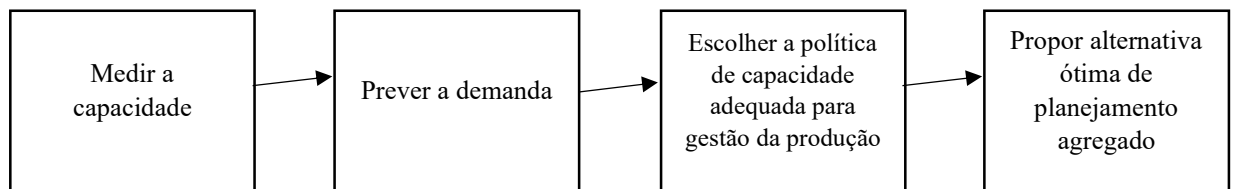
Os modelos que procuram a solução ao problema de Planejamento Agregado podem ser pensados em duas dimensões: existem aqueles que assumem ou não variação linear dos custos e existem aqueles que levam ou não à solução ótima. Por “solução ótima” entende-se aquela que leva efetivamente o custo total de produção mínimo, em face das alternativas de produção disponíveis.

Moreira (2012) faz a exposição de dois desses modelos, ambos assumindo que a variação de custo é linear. Um dos modelos, chamado “Modelo de tentativa e erro” leva a uma solução não necessariamente ótima, ou seja, não conduz necessariamente ao Planejamento Agregado com mínimo custo total de produção, enquanto o outro, conhecido como “Modelo de Programação Linear” realmente chega a esse tipo de solução.

3. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta possui similaridades com a metodologia de “Etapas do planejamento agregado” de Moreira (2012) para planejamento agregado. Entretanto, foram feitas adaptações de forma que a metodologia apresentada traz orientações específicas para estaleiros náuticos. Tem-se então a seguinte metodologia proposta, composta por 4 passos (Figura 15), i.e.: (i) medir a capacidade; (ii) Prever a demanda; (iii) escolher a política de capacidade adequada para gestão da produção e (iv) propor alternativa ótima de planejamento agregado.

Figura 15: Passos para a metodologia proposta.



Fonte: Autora, 2024.

3.1. Medir a capacidade

Nesta etapa inicialmente deve-se escolher a forma de medir a capacidade agregada, que pode ser feita por meio de unidades produtivas (unidade de produtos, por exemplo, barcos) ou dos insumos. Adotar a medida pela produção é interessante quando só existe um produto em questão. No caso de se possuir muitos produtos, pode-se expressar a capacidade por meio dos insumos utilizados para produção dos bens ou serviços. Para este último caso, é importante destacar que é impraticável misturar medidas de insumos durante o trabalho, tais como toneladas, quilos de resina, unidade de barcos etc.

Medir a capacidade se trata de definir a quantidade máxima de produtos ou serviços que podem ser produzidos em uma unidade produtiva, em um dado intervalo de tempo – por exemplo, cada período poderá corresponder a um mês. Não deverá ser violada a referência básica da definição de capacidade, de forma que não será possível ter capacidade maior que 100% em regime regular, (MOREIRA, 2012).

Para calcular a capacidade do estaleiro deve-se identificar primeiramente qual recurso limita a capacidade de produção do mesmo. Este recurso limitante pode ser a mão de obra, equipamento, matéria prima, espaço físico ou tecnologia. Escolhido o recurso, deve-se identificar quantas unidades de produto este recurso pode produzir por hora, i.e. sua taxa de produção T' (Equação 3).

$$T' = \frac{\text{Total produzido}}{\text{Tempo decorrido}} \quad \text{Equação 3}$$

Para calcular a capacidade de produção deve-se multiplicar a taxa de produção do recurso pelas horas disponíveis desse recurso no período (Equação 4) $Capacidade = Tempo\ disponível \times Taxa\ de\ produção$. A formulação da equação da capacidade quando o recurso limitante é a mão de obra pode ser vista abaixo (Equação 5), onde F corresponde ao número de funcionários e CH representa a quantidade de horas trabalhadas no período por funcionário (h/mês).

$$Capacidade = Tempo\ disponível \times Taxa\ de\ produção \quad \text{Equação 4}$$

$$Capacidade = F \times CH \times T' \quad \text{Equação 5}$$

3.2. Prever a demanda para o ano seguinte

Nesta etapa deve-se escolher um método para prever a demanda do período desejado. Os principais fatores para a escolha de um método são, de acordo com Moreira (2012), a disponibilidade de dados, tempo e recursos e o horizonte de previsão. Moreira (2012) apresenta em sua literatura mais de um método para previsão de demanda. Eles podem ser divididos entre Qualitativos, Causais e Séries temporais.

- *Métodos qualitativos* para previsão de demanda: opinião de executivos, opinião da força de vendas, pesquisa junto a consumidores e o Método Delphi.
- *Métodos causais* para previsão de demanda: Regressão linear simples, Coeficientes de correlação e de determinação, Regressões simples não lineares e Regressão linear múltipla.
- *Séries temporais* para previsão de demanda: Modelo de decomposição das séries temporais e Métodos das médias.

3.2.1. Modelo de decomposição das séries temporais

Sugere-se para futuras aplicações a utilização do Modelo de decomposição das séries temporais, pois ele permite de forma opcional considerar o fator sazonalidade e fatores aleatórios para a previsão da demanda (MOREIRA, 2012). Tais fatores se mostram relevantes no contexto de atuação de uma fábrica do ramo náutico. Este modelo pode ser representado pela

$$Y = (T) \cdot (S) \quad \text{Equação 6}$$

Onde temos:

Y = Valor da série (demanda prevista)

T = Componente de tendência

S = Componente de sazonalidade

Neste modelo também é necessário definir uma função para representar a linha de tendência da demanda ($\hat{Y}$). Sugere-se a função de uma reta (Equação 7). Para isso, coloca-se os valores do tempo t representando os períodos (aqui serão escolhidos os meses) e determina-se a equação da reta de tendência pelo método dos mínimos quadrados ou utilizando sugestão do Excel, obtendo-se, portanto, os valores de a e b.

$$\hat{Y} = a + b.t \quad \text{Equação 7}$$

Definindo a equação da reta, para Moreira (2012), o próximo passo consiste em calcular o coeficiente de determinação (Equação 8). O coeficiente de determinação possui intervalo entre 0 e +1. Ele é interpretado como sendo a proporção de variância comum entre y e t, ou seja, a proporção da variação de y explicada pela variação de t.

$$r^2 = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2} \quad \text{Equação 8}$$

Onde temos:

Y = Valores reais da demanda

$\hat{Y}$ = Valores previstos da demanda

$\bar{Y}$ = Média dos valores reais da demanda

Em seguida, deve-se calcular o o valor da componente de tendência para cada período futuro, onde n representa a quantidade de períodos do passado utilizados como amostra. Neste caso, faremos a previsão mensal para o ano seguinte, portanto, devemos calcular até o 12º período.

$$1^\circ \text{ Período (t = n + 1): } \hat{Y}_{n+1} = T_{n+1} = a + b.(n + 1) \quad \text{Equação 9}$$

$$2^\circ \text{ Período (t = n + 2): } \hat{Y}_{n+2} = T_{n+2} = a + b.(n + 2) \quad \text{Equação 10}$$

$$3^\circ \text{ Período (t = n + 3): } \hat{Y}_{n+3} = T_{n+3} = a + b.(n + 3) \quad \text{Equação 11}$$

Já para o cálculo dos índices sazonais (S), devemos designar um para cada período. Ele corresponde à média aritmética dos afastamentos (Y'_k/T_k) do respectivo período, para todo o banco de dados, onde Y'_k foi a demanda real do período do passado e T_k o resultado obtido pela linha de tendência (Equação 12) para aquele período.

$$S = Y'_1/T_1 + Y'_2/T_2 + \dots + Y'_n/T_n \quad \text{Equação 12}$$

Por fim, em posse dos valores de T e S de cada período, para obter as previsões corrigidas pelo efeito sazonal para os períodos seguintes, basta realizar o produto das componentes de tendência pelos respectivos índices sazonais (Equação 6). Vale observar que os afastamentos (Y'_k/T_k) indicam quão influente são as flutuações ao acaso para o exemplo em pauta. Não é por acaso que a obtenção do índice sazonal por meio da média desses afastamentos passados representa uma tentativa válida de amortecer os efeitos aleatórios (MOREIRA, 2012).

3.3. Escolher a política de capacidade adequada para gestão da produção

Esta é uma etapa ainda qualitativa. Aqui serão consideradas as opções de alternativas para influenciar a produção, ou seja, a gestão deve avaliar as opções:

- Regime de horas extras;
- Contratação e demissão de funcionários;
- Subcontratação;
- Criação de estoques.

A viabilidade e as limitações atribuídas a estas opções representam a política de capacidade para alterar a produção. Deverão ser avaliadas quais dessas opções funcionam diante do contexto em que cada empresa está inserida, isto é, se a empresa possui regime de horas extras e como o sindicato designado regulariza esta atividade, se o estaleiro está localizado numa região onde há mão de obra disponível e apta para a contratação com facilidade, se há espaço físico para guardar estoque e quais os riscos e custos envolvidos e se existem empresas que estariam aptas a fornecer mão de obra subcontratada na região, por exemplo.

Assim, nesta etapa tem-se como entrada quais dessas variações no sistema produtivo poderão ser adotadas para o Planejamento Agregado do ano seguinte. Essas serão causas chaves para o aumento ou diminuição da taxa de produção em cada período.

3.4. Propor alternativa ótima de planejamento agregado para o próximo ano

Os modelos existentes que procuram a solução ao problema do Planejamento agregado podem ser pensados em duas dimensões: existem aqueles que assumem ou não a variação linear dos custos e existem aqueles que levam ou não a solução ótima. Por solução ótima entende-se aquela que leva efetivamente ao custo total de produção mínimo em face das alternativas de produção disponíveis. A metodologia deste trabalho assume que a variação do custo é linear e seu foco é conduzir a uma solução ótima, ou seja, com mínimo custo total de produção.

3.4.1. Construção do modelo

A construção do modelo de otimização é proposta abaixo em três passos gerais (Definição de constantes, definição de restrições e representação das variáveis de decisão e função objetivo. Por fim, é apresentada uma metodologia para a construção do algoritmo de otimização de forma sucinta, mas exemplificada.

Passo 1: Definir constantes

Para construir o modelo é necessário primeiramente atribuir valores às constantes. Todas as constantes devem ter seus valores definidos pelo autor com base em investigação interna e troca de informações entre os setores da empresa. As constantes e suas respectivas descrições são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Constantes utilizadas na construção do modelo.

Constante	Simbologia	Descrição	Equação
Demanda prevista	D_t	Unidades de produtos ou insumos por período. Corresponde à componente de tendência (T_t) multiplicada pela componente de sazonalidade do período (S_t).	$Y_t = (T_t) \cdot (S_t)$
Capacidade máxima em produção regular	R	Número máximo de unidades de produtos ou insumos produzidas em regime regular em um período. Corresponde ao produto do número de funcionários (F), da carga horária do período (CH) e da taxa de produção (T')	$F \times CH \times T'$
Capacidade máxima para a produção em horas extras	H	Número máximo de unidades de produtos ou insumos produzidas quando há regime de hora extra em um período. Soma-se à CH a quantidade de horas extras trabalhadas no período (he).	$F \times (CH + he) \times T'$
Capacidade máxima para a produção subcontratada	S	Número máximo de unidades de produtos ou insumos produzidas quando há produção subcontratada em um período. Soma-se a F a quantidade de funcionários subcontratados (u).	$(F + u) \times CH \times T'$
Produção regular ao início do primeiro período	R_0	É a produção em unidades de produtos ou insumos ao iniciar o primeiro período do planejamento. O número inicial de funcionários é representado por F_0 .	$F_0 \times CH \times T'$
Estoque inicial (ao início do primeiro período)	I_0	É o estoque em unidades de produtos ou insumos ao iniciar o primeiro período do planejamento. Corresponde à soma de produtos produzidos em regime normal (R_0), de hora extra (H_0) e subcontratados (S_0) no período inicial, menos a demanda (D_0) deste período.	$(R_0 + H_0 + S_0) - D_0$

Custo unitário da unidade produzida em regime regular	r	Se refere ao custo em reais de produzir cada unidade de produto ou insumo.	$\frac{C_{material} + C_{mão\ de\ obra} + C_{indiretos}}{unidades\ produzidas}$
Custo unitário da unidade produzida em horas extras	h	Se refere ao custo em reais de produzir cada unidade de produto ou insumo utilizando regime de hora extra.	$\frac{C_{material} + C_{mão\ de\ obra} \cdot (1 + \frac{he}{CH} \cdot 1,5) + C_{indiretos}}{unidades\ produzidas}$
Custo unitário da produção subcontratada	s	Se refere ao custo em reais de produzir cada unidade de produto ou insumo utilizando produção subcontratada.	$\frac{Custo\ total\ de\ subcontratação}{unidades\ adicionadas}$
Custo de adicionar uma unidade à produção regular, por meio de contratação de funcionários	a	Se refere ao custo de contratar funcionários suficientes para aumentar uma unidade de produto ou insumo. Este custo engloba as horas dos funcionários envolvidos na contratação (diretor, recrutador, RH, contabilidade, funcionário treinador etc.) e a estimativa de horas de aprendizado.	$\frac{Custo\ total\ de\ contratação}{unidades\ adicionadas}$
Custo de se cancelar uma unidade de produção regular, por meio da demissão de funcionários	c	Se refere ao custo de demitir funcionários suficientes para diminuir uma unidade de produto ou insumo. Este custo engloba aviso prévios, férias proporcionais, adicional de 1/3 de férias, 13º proporcional, 40% do FGTS e custo das horas dos funcionários envolvidos (RH, contabilidade, diretor etc.)	$\frac{Custo\ total\ de\ demissão}{unidades\ canceladas}$
Custo de se manter uma unidade em estoque por um período	i	Esse custo envolve o custo do capital (custo de oportunidade) e o custo de armazenagem (custo do espaço, seguros, taxas, perdas, obsolescência do material e deterioração) (MOREIRA, 2012).	$\frac{C_{oportunidade} + C_{armazenagem}}{unidades\ em\ estoque}$

Fonte: Autora, 2024.

Passo 2: Definir restrições

O passo seguinte será definir as restrições. Elas são equações ou inequações que ligam as variáveis de decisão e as constantes (Tabela 3). Para qualquer período t, são as seguintes:

Tabela 3: Restrições utilizadas para a construção do Modelo de otimização para cada período t.

Restrições	Simbologia	Descrição	Equação/Inequação
O teto da produção regular	R	Define o valor máxima para a produção regular no período.	$R_t \leq R$
O teto da produção em horas extras	H	Define o valor máxima para a produção em horas extras no período.	$H_t \leq H$
O teto da produção em horas subcontratada	S	Define o valor máxima para a produção subcontratada no período.	$S_t \leq S$

Composição da produção regular do período	R_t	A produção regular no período t é igual à produção regular do período anterior, somando às unidades produzidas devido às contratações de funcionários, subtraindo-se a produção perdida devido à demissão de funcionários.	$R_t = R_{t-1} + A_t - C_t$
Limite de cancelar uma unidade	R	não se pode cancelar mais do que a capacidade máxima de produção regular.	$C_t \leq R$
Composição do estoque do período	I_t	O estoque final do período t é igual ao estoque final do período anterior, somado a tudo que foi produzido no período t e subtraído do que foi consumido, ou seja, a demanda.	$I_t = I_{t-1} + ProdTot_t - D_t$
Definição da produção total do período	$ProdTot$	Consiste na soma da produção regular e produção em horas extras	$ProdTot_t = R_t + H_t$
Condições de não negatividade	> 0	Define que as variáveis não podem ser negativas.	$I_t, R_t, H_t, S_t, A_t, C_t > 0$
Define como número inteiro	$\in Z$	Define que as variáveis têm que ser inteiras	$I_t, R_t, H_t, S_t, A_t, C_t \in Z$

Fonte: Autora, 2024.

Passo 3: Representar as Variáveis de decisão e a Função objetivo

As variáveis de decisão são as variáveis cujos valores são desconhecidos e que representam a solução do problema de programação linear (Tabela 4). Cada uma das variáveis de decisão terá que receber tantos valores quantos sejam os períodos considerados no Planejamento Agregado. Elas devem ser definidas no modelo, porém seus valores serão atribuídos pelo programa. Em cada período t , são as seguintes:

Tabela 4: Variáveis de decisão utilizadas na construção do Modelo de programação Linear.

Variáveis de decisão	Simbologia	Descrição
Estoque final	I_t	Representa o que restou em estoque no período
Produção em regime regular	R_t	Representa as unidades de insumos ou produtos produzidas em regime regular naquele período
Produção em horas extras	H_t	Representa as unidades de insumos ou produtos produzidas em regime de horas extras naquele período
Produção subcontratada	S_t	Representa as unidades de insumos ou produtos produzidas por subcontratação naquele período

Unidades adicionadas por meio da contratação de funcionários	A_t	Representa a quantidade de insumo ou produto adicionado a produção devido ao funcionário que foi contratado naquele período
Unidades canceladas por meio da demissão de funcionários	C_t	Representa a quantidade de insumo ou produto diminuídos da produção devido ao funcionário que foi demitido naquele período

Fonte: Autora, 2024.

A função objetivo (Tabela 5) é composta pelos custos e as variáveis de decisão; trata-se de minimizar o custo total de produção para os períodos considerados. A expressão $(rR_t + hH_t + sS_t + aA_t + cC_t + iI_t)$ representa o custo de produção no período t , levando em conta as opções consideradas de produção regular em horas extras e via subcontratação, bem como a estocagem e o acréscimo/decréscimo de produção regular via contratação/demissões. Ela deve ser representada no programa para que seu valor final seja obtido como resposta.

Tabela 5: Representação da função objetivo.

	Simbologia	Descrição
Função objetivo	$\sum_{t=1}^n (rR_t + hH_t + sS_t + aA_t + cC_t + iI_t)$	Representa o somatório de custos de produção dos períodos. Deve ser minimizada.

Fonte: Autora, 2024.

3.4.2. Algoritmo de otimização

Com o intuito de facilitar a replicação do modelo, esta seção apresenta de forma clara e objetiva um algoritmo para o modelo de otimização na forma de linguagem matemática clássica (Figura 9). Para a construção do programa de otimização do Planejamento Agregado inicia-se por definir as constantes e representar as variáveis. Em seguida define-se as restrições e por último pede-se a minimização da função objetivo. Como resultado, será obtido os valores das variáveis para cada período que minimizam a função objetivo.

Existem vários softwares para construção e simulação de modelos de otimização, como o LINGO, SOLVER e o CPLEX, cada um com suas próprias capacidades e usos específicos. Vale ressaltar que estas ferramentas não contêm modelos de otimização prontos para o problema abordado. São apenas ferramentas com interface gráfica que facilitam a construção e simulação de modelos de otimização.

1. Definição de Contantes:

D_i : Demanda no período i .

R : Capacidade máxima de produção regular.

H : Capacidade máxima de produção em horas extras.

R_0 : Produção regular inicial.

I_0 : Estoque inicial.

r : Custo de produção regular.

h : Custo de produção em horas extras.

a : Custo de adicionar uma unidade à produção regular através de contratação.

c : Custo de cancelar uma unidade à produção regular através de demissão.

s : Custo de adicionar uma unidade à produção regular através de subcontratação.

i : Custo de manter uma unidade em estoque durante um período.

2. Representação de variáveis:

A_i : Unidades adicionadas através de contratação no período i .

C_i : Unidades canceladas através de demissão no período i .

S_i : Unidades adicionadas através de subcontratação no período i .

I_i : Estoque no período i .

3. Representação das restrições:

$0 \leq R_i \leq R$: Capacidade máxima de produção regular e em horas extras.

$0 \leq H_i \leq H$: Capacidade máxima de produção em horas extras no período i .

$0 \leq C_i \leq R$: Não se pode cancelar mais do que a capacidade máxima de produção regular.

$R_i = R_{(i-1)} + S_i - A_i - C_i$: Produção regular no período i .

$ProdTot_i = R_i + H_i$: Produção total no período i .

$I_i = I_{i-1} + ProdTot_i - D_i$: Estoque no período i .

4. Definição da Função Objetivo:

$$Custo = \sum_{i=1}^n (rR_i + hH_i + sS_i + aA_i + cC_i + iI_i)$$

5. Minimização:

Minimizar a função objetivo Custo.

4. RESULTADOS

Aqui apresentam-se os resultados obtidos através da aplicação da metodologia proposta em um caso real, i.e.: estaleiro náutico do estado de Santa Catarina com número de 10 funcionários na produção. O produto principal do estaleiro se trata de um veleiro de pequeno porte que possui suas dimensões principais mostradas na Tabela 6 e cuja finalidade é a competição em regatas e aulas de vela. O nome do seu modelo não será citado por questões confidenciais. Já que o barco se trata do produto principal do estaleiro, será utilizado como medida para o cálculo do Planejamento Agregado. Esta aplicação foi feita em dezembro de 2023 para gerar resultados para o planejamento de janeiro a dezembro de 2024.

Tabela 6: Dimensões principais do barco abordado no trabalho.

Boca	1,66m
Comprimento	4,16m
Calado	0,18m
Pontal	0,52m

Fonte: Autora, 2024.

4.1. Medir a capacidade

A forma escolhida para medir a capacidade do estaleiro foi em unidades produzidas, ou seja, número de barcos. O período escolhido foi mês. Dessa forma, a capacidade foi dada em barcos por mês.

O recurso limitante para a construção de barcos do estaleiro em questão, isto é, aquele que limita sua capacidade produtiva é o número de moldes disponíveis no estaleiro (equipamentos). Sua Taxa de produção (T') pode ser encontrada através da Equação 3. O total de sete barcos podem ser produzidos no período de um mês e o tempo decorrido corresponde ao produto do número de moldes (1) pela carga horária do período (174h/mês). Definida a Taxa de produção, Através da Equação 5 é possível calcular a capacidade do estaleiro.

$$T' = \frac{\text{Total produzido}}{\text{Tempo decorrido}} = \frac{7 \text{ barcos}}{1 \text{ molde} * 174h} = 0,04 \text{ barco/h}$$

$$\text{Capacidade} = 174h \times 0,04 \text{ barco/h} = 7 \text{ barcos/mês}$$

4.2. Prever a demanda para o ano seguinte

Para prever a demanda da empresa em 2024 será adotado o método de Decomposição das Séries Temporais (Seção 3.2). Este modelo será escolhido por necessitar de dados de entradas que podem ser facilmente obtidos da empresa - isto é, seu histórico de demanda.

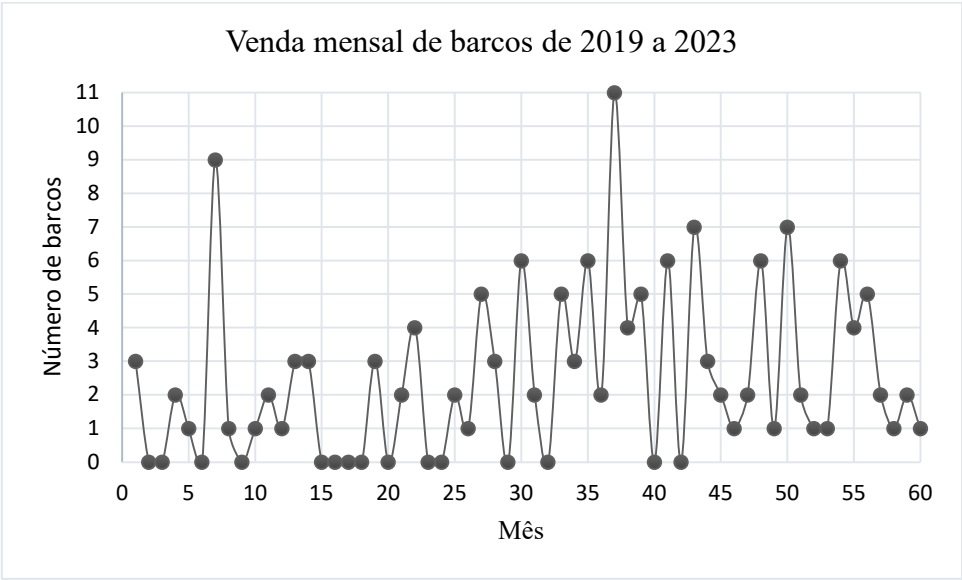
A empresa estudada possui o registro das suas vendas de janeiro de 2019 a dezembro de 2023 como mostra a Tabela 7 e a Figura 16. Ambos mostram os dados originais e a reta de tendência. Embora possam ser pesquisadas várias funções para a linha de tendência, a linha reta foi escolhida por permitir uma boa visualização do efeito sazonal. É possível notar na Figura 20 que a reta fica sempre a cima dos valores reais nos meses de baixa e sempre abaixo nos de alta.

Tabela 7: Barcos vendidos de janeiro de 2019 a dezembro de 2023.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2019	3	0	0	2	1	0	9	1	0	1	2	1	20
2020	3	3	0	0	0	0	3	0	2	4	0	0	15
2021	2	1	5	3	0	6	2	0	5	3	6	2	35
2022	11	4	5	0	6	0	7	3	2	1	2	6	47
2023	1	7	2	1	1	6	4	5	2	1	2	1	33

Fonte: Autora, 2023.

Figura 16: Venda mensal de barcos de 2019 a 2023.



Fonte: Autora, 2023.

Para a determinação da reta os valores do tempo t foram considerados em escala ao tomarmos o primeiro mês de 2019 como $t = 0$, o segundo como $t = 2$ e assim por diante. O último dado corresponde

a dezembro de 2023, quando $t = 59$. Sendo y a previsão pela reta de tendência e t o tempo, temos seu valor representado na Equação 5.

$$\hat{Y} = 0,0076t + 3,0752$$

Em seguida foi calculado coeficiente de determinação r^2 , mostrado na Equação 6. Seu cálculo pode ser visto na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8: Valores para cálculo do coeficiente de determinação.

X	Y	$\hat{Y}$	$(Y - \hat{Y})$	$(Y - \hat{Y})^2$	$(\hat{Y} - \bar{Y})$	$(\hat{Y} - \bar{Y})^2$
0	3	3,075	0,500	0,250	0,575	0,331
1	0	3,083	-2,500	6,250	0,583	0,340
2	0	3,090	-2,500	6,250	0,590	0,349
3	2	3,098	-0,500	0,250	0,598	0,358
4	1	3,106	-1,500	2,250	0,606	0,367
5	0	3,113	-2,500	6,250	0,613	0,376
6	9	3,121	6,500	42,250	0,621	0,385
7	1	3,128	-1,500	2,250	0,628	0,395
8	0	3,136	-2,500	6,250	0,636	0,404
9	1	3,144	-1,500	2,250	0,644	0,414
10	2	3,151	-0,500	0,250	0,651	0,424
11	1	3,159	-1,500	2,250	0,659	0,434
12	3	3,166	0,500	0,250	0,666	0,444
13	3	3,174	0,500	0,250	0,674	0,454
14	0	3,182	-2,500	6,250	0,682	0,465
15	0	3,189	-2,500	6,250	0,689	0,475
16	0	3,197	-2,500	6,250	0,697	0,486
17	0	3,204	-2,500	6,250	0,704	0,496
18	3	3,212	0,500	0,250	0,712	0,507
19	0	3,220	-2,500	6,250	0,720	0,518
20	2	3,227	-0,500	0,250	0,727	0,529
21	4	3,235	1,500	2,250	0,735	0,540
22	0	3,242	-2,500	6,250	0,742	0,551
23	0	3,250	-2,500	6,250	0,750	0,563
24	2	3,258	-0,500	0,250	0,758	0,574
25	1	3,265	-1,500	2,250	0,765	0,586
26	5	3,273	2,500	6,250	0,773	0,597
27	3	3,280	0,500	0,250	0,780	0,609
28	0	3,288	-2,500	6,250	0,788	0,621
29	6	3,296	3,500	12,250	0,796	0,633
30	2	3,303	-0,500	0,250	0,803	0,645
31	0	3,311	-2,500	6,250	0,811	0,657
32	5	3,318	2,500	6,250	0,818	0,670
33	3	3,326	0,500	0,250	0,826	0,682
34	6	3,334	3,500	12,250	0,834	0,695
35	2	3,341	-0,500	0,250	0,841	0,708
36	11	3,349	8,500	72,250	0,849	0,720
37	4	3,356	1,500	2,250	0,856	0,733
38	5	3,364	2,500	6,250	0,864	0,746
39	0	3,372	-2,500	6,250	0,872	0,760
40	6	3,379	3,500	12,250	0,879	0,773
41	0	3,387	-2,500	6,250	0,887	0,786

42	7	3,394	4,500	20,250	0,894	0,800
43	3	3,402	0,500	0,250	0,902	0,814
44	2	3,410	-0,500	0,250	0,910	0,827
45	1	3,417	-1,500	2,250	0,917	0,841
46	2	3,425	-0,500	0,250	0,925	0,855
47	6	3,432	3,500	12,250	0,932	0,869
48	1	3,440	-1,500	2,250	0,940	0,884
49	7	3,448	4,500	20,250	0,948	0,898
50	2	3,455	-0,500	0,250	0,955	0,912
51	1	3,463	-1,500	2,250	0,963	0,927
52	1	3,470	-1,500	2,250	0,970	0,942
53	6	3,478	3,500	12,250	0,978	0,956
54	4	3,486	1,500	2,250	0,986	0,971
55	5	3,493	2,500	6,250	0,993	0,986
56	2	3,501	-0,500	0,250	1,001	1,002
57	1	3,508	-1,500	2,250	1,008	1,017
58	2	3,516	-0,500	0,250	1,016	1,032
59	1	3,524	-1,500	2,250	1,024	1,048
	150	$\bar{Y} = 150/60 = 2,5$		1305746		39,382

Fonte: Autora, 2023.

Aplicando os valores obtidos na Tabela 8 na Equação 6, obtém-se para o coeficiente de determinação $r^2 = 0,106$, isso significa que 11% da variação de y é aplicada pela variação de t , sendo os restantes 89% de variação devidos a explicações desconhecidas. Pelo valor de r^2 verifica-se que o ajuste imediato possui baixa correlação. Adicionalmente, os valores da componente de tendência para 2024, calculados de acordo com a Equação 7, serão:

$$\text{Mês 1 (t = 60): } y_{60} = T_{60} = 0,0076(60) + 3,0752 = 3,531$$

$$\text{Mês 2 (t = 61): } y_{61} = T_{61} = 0,0076(61) + 3,0752 = 3,539$$

$$\text{Mês 3 (t = 62): } y_{62} = T_{62} = 0,0076(62) + 3,0752 = 3,546$$

$$\text{Mês 4 (t = 63): } y_{63} = T_{63} = 0,0076(63) + 3,0752 = 3,544$$

$$\text{Mês 5 (t = 64): } y_{64} = T_{64} = 0,0076(64) + 3,0752 = 3,561$$

$$\text{Mês 6 (t = 65): } y_{65} = T_{65} = 0,0076(65) + 3,0752 = 3,569$$

$$\text{Mês 7 (t = 66): } y_{66} = T_{66} = 0,0076(66) + 3,0752 = 3,577$$

$$\text{Mês 8 (t = 67): } y_{67} = T_{67} = 0,0076(67) + 3,0752 = 3,584$$

$$\text{Mês 9 (t = 68): } y_{68} = T_{68} = 0,0076(68) + 3,0752 = 3,592$$

$$\text{Mês 10 (t = 69): } y_{69} = T_{69} = 0,0076(69) + 3,0752 = 3,600$$

$$\text{Mês 11 (t = 70): } y_{70} = T_{70} = 0,0076(70) + 3,0752 = 3,607$$

$$\text{Mês 12 (t = 71): } y_{71} = T_{71} = 0,0076(71) + 3,0752 = 3,615$$

Para a definição dos índices sazonais, utiliza-se a Equação 10 que tem seus valores representados na Tabela 9. Para cada mês, possuímos 5 observações do passado (de 2019 a 2023), o que

nos permite calcular o seu índice sazonal como uma média dos afastamentos já verificados entre o valor real e a componente de tendência.

Tabela 9: Cálculo dos índices sazonais.

Período	Demanda real (Y)	Tendência T_k	Y/T_k	Período	Demanda real (Y)	Tendência T_k	Y/T_k
1	3	3,083	0,973	31	2	3,311	0,604
2	0	3,090	0,000	32	0	3,318	0,000
3	0	3,098	0,000	33	5	3,326	1,503
4	2	3,106	0,644	34	3	3,334	0,900
5	1	3,113	0,321	35	6	3,341	1,796
6	0	3,121	0,000	36	2	3,349	0,597
7	9	3,128	2,877	37	11	3,356	3,277
8	1	3,136	0,319	38	4	3,364	1,189
9	0	3,144	0,000	39	5	3,372	1,483
10	1	3,151	0,317	40	0	3,379	0,000
11	2	3,159	0,633	41	6	3,387	1,772
12	1	3,166	0,316	42	0	3,394	0,000
13	3	3,174	0,945	43	7	3,402	2,058
14	3	3,182	0,943	44	3	3,410	0,880
15	0	3,189	0,000	45	2	3,417	0,585
16	0	3,197	0,000	46	1	3,425	0,292
17	0	3,204	0,000	47	2	3,432	0,583
18	0	3,212	0,000	48	6	3,440	1,744
19	3	3,220	0,932	49	1	3,448	0,290
20	0	3,227	0,000	50	7	3,455	2,026
21	2	3,235	0,618	51	2	3,463	0,578
22	4	3,242	1,234	52	1	3,470	0,288
23	0	3,250	0,000	53	1	3,478	0,288
24	0	3,258	0,000	54	6	3,486	1,721
25	2	3,265	0,613	55	4	3,493	1,145
26	1	3,273	0,306	56	5	3,501	1,428
27	5	3,280	1,524	57	2	3,508	0,570
28	3	3,288	0,912	58	1	3,516	0,284
29	0	3,296	0,000	59	2	3,524	0,568
30	6	3,303	1,816	60	1	3,531	0,283

Fonte: Autora, 2023.

O afastamento Y/T_k que se referem ao mês de janeiro correspondem aos períodos 1, 13, 25, 37, 49; de acordo com a Equação 10, fazendo a média aritmética entre eles, teremos S_n , ou seja, o índice sazonal do primeiro mês S_1 . Da mesma forma foi calculado de S_1 a S_{12} na Tabela 10.

Tabela 10: Cálculo dos índices sazonais.

	n	2019	2020	2021	2022	2023	Média (S_n)
Janeiro	1	0,973	0,945	3,265	3,277	0,290	1,750
Fevereiro	2	0,000	0,943	0,306	1,189	2,026	0,893
Março	3	0,000	0,000	1,524	1,483	0,578	0,717
Abril	4	0,644	0,000	0,912	0,000	0,288	0,369
Maio	5	0,321	0,000	0,000	1,772	0,288	0,476
Junho	6	0,000	0,000	1,816	0,000	1,721	0,708
Julho	7	2,877	0,932	0,604	2,058	1,145	1,523
Agosto	8	0,319	0,000	0,000	0,880	1,428	0,525
Setembro	9	0,000	0,618	1,503	0,585	0,570	0,655
Outubro	10	0,317	1,234	0,900	0,292	0,284	0,605
Novembro	11	0,633	0,000	1,796	0,583	0,568	0,716
Dezembro	12	0,316	0,000	0,597	1,744	0,283	0,588

Fonte: Autora, 2023.

Para obter as previsões corrigidas pelo efeito sazonal para os 12 meses de 2024, basta fazermos o produto das componentes de tendência pelos respectivos índices sazonais (Equação 4). Os valores dos cálculos são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11: Cálculo da previsão corrigida pelo índice sazonal.

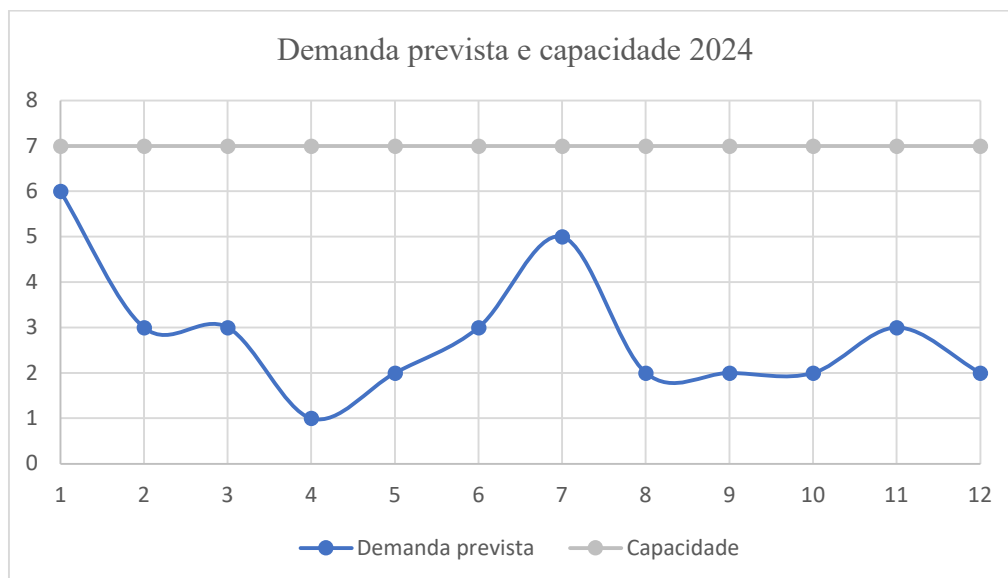
	T_k	S_n	Previsão corrigida
Janeiro 2024	3,531	1,750	6
Fevereiro 2024	3,539	0,893	3
Março 2024	3,546	0,717	3
Abril 2024	3,554	0,369	1
Maio 2024	3,562	0,476	2
Junho 2024	3,569	0,708	3
Julho 2024	3,577	1,523	5
Agosto 2024	3,584	0,525	2
Setembro 2024	3,592	0,655	2
Outubro 2024	3,600	0,605	2
Novembro 2024	3,607	0,716	3
Dezembro 2024	3,615	0,588	2

Fonte: Autora, 2023.

Como última observação, os afastamentos Y/T_k ao longo dos anos e dentro de cada mês, são consideráveis. Essa inconstância na relação entre demanda real e a componente de tendência, para cada mês, indica que as flutuações ao acaso são influentes na empresa em questão. A própria obtenção do índice sazonal por meio da média dos afastamentos passados representa uma tentativa válida de

amortecer esses efeitos aleatórios. Uma representação simplificada da demanda para o ano seguinte e da capacidade da empresa podem ser visos na Tabela 12.

Tabela 12: Gráfico que mostra previsão de demanda para o ano de estudo.



Fonte: Autora, 2023.

4.3. Escolher a política de capacidade adequada para gestão da produção

Entre as alternativas disponíveis para influenciar a produção, buscou-se representar no modelo as alternativas com que a empresa já trabalha. Já é comum na empresa, e, portanto, serão considerados:

- Horas extras.
- Contratação e demissão de funcionários.
- Estoque de produtos finalizados.

Embora a geração de estoques ocorra com menos frequência, ela será considerada pois na fábrica há espaço e estrutura disponível para armazenagem de barcos finalizados. A opção de subcontratação não será considerada para os cálculos dessa empresa pois o modo de fabricação do produto (mais especificamente o plano de laminação do barco) é sigiloso, não interessando à administração da empresa compartilhar com terceiros para evitar concorrência. Adicionalmente, não há mão de obra disponível para prestar esse tipo de serviço na região.

4.4. Propor alternativa ótima de planejamento agregado para o próximo ano

Para o caso em questão, o Planejamento Agregado da empresa deve ser feito para um horizonte total de 12 meses. Para a construção do modelo de otimização linear do Planejamento Agregado, seguiremos os quatro passos para construção do modelo seguida pela construção do algoritmo de

otimização, conforme proposto na Seção 3.4. A coluna “Valor atribuído” na Tabela 13 corresponde ao Passo 1 (Definição das constantes), a Tabela 14 corresponde ao Passo 2 (Definição das restrições) e a Tabela 15 corresponde ao Passo 3 (Representação das variáveis de decisão e função objetivo).

Tabela 13: Definição das constantes.

Constante	Simbologia adotada no modelo	Valor atribuído
Demanda prevista (D_t)	D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12	$D_1 = 6, D_2 = 3, D_3 = 6, D_4 = 1, D_5 = 2, D_6 = 3, D_7 = 5, D_8 = 2, D_9 = 2, D_{10} = 2, D_{11} = 3, D_{12} = 2$
Capacidade máxima em produção regular (R)	R	7
Capacidade máxima para a produção em horas extras (H)	H	9
Produção regular ao início do primeiro período (R_0)	R0	4,3
Estoque inicial (ao início do primeiro período) (I_0)	I0	0
Custo unitário da unidade produzida em regime regular (r)	rk	14.000
Custo unitário da unidade produzida em horas extras (h)	hk	16.000
Custo de adicionar uma unidade à produção regular, por meio de contratação de funcionários (a)	ak	1.022
Custo de se cancelar uma unidade de produção regular, por meio da demissão de funcionários (c)	ck	11.413
Custo de se manter uma unidade em estoque por um período (i)	ik	600

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 14: Definição das restrições.

Restrições	Equação/Inequação	Exemplo de simbologia adotada no modelo
O teto da produção regular (R)	$0 \leq R_t \leq R$	@BND(0,R1,R);
O teto da produção em horas extras (H)	$0 \leq H_t \leq H$	@BND(0,H1,H);
Limite de cancelar uma unidade (R)	$0 \leq C_t \leq R$	@BND(0,C1,R);
Composição da produção regular do período (R_t)	$R_t = R_{t-1} + A_t - C_t$	R1=R0+A1-C1;
Composição do estoque do período (I_t)	$I_t = I_{t-1} + ProdTot_t - D_t$	I1=I0+ProdTot1-D1;
Definição da produção total do período (ProdTot)	$ProdTot_t = R_t + H_t$	ProdTot1=R1+H1;
Condições de não negatividade (> 0)	$I_t, R_t, H_t, A_t, C_t > 0$	@BND(0,I1,99999);
Definição de número inteiro ($\in Z$)	$I_t, R_t, H_t, S_t, A_t, C_t \in Z$	@GIN(R1);

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 15: Representação das variáveis de decisão e função objetivo.

Variáveis de decisão	Simbologia adotada no modelo
Estoque final (I_t)	I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12
Produção em regime regular (R_t)	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12
Produção em horas extras (H_t)	H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8, H9, H10, H11, H12
Unidades adicionadas por meio da contratação de funcionários (A_t)	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12
Unidades canceladas por meio da demissão de funcionários (C_t)	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12
Função objetivo	Custo = $rk * (R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6 + R7 + R8 + R9 + R10 + R11 + R12)$ $+ hk * (H1 + H2 + H3 + H4 + H5 + H6 + H7 + H8 + H9 + H10 + H11 + H12)$ $+ ak * (A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 + A7 + A8 + A9 + A10 + A11 + A12)$ $+ ck * (C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8 + C9 + C10 + C11 + C12)$ $+ ik * (I1 + I2 + I3 + I4 + I5 + I6 + I7 + I8 + I9 + I10 + I11 + I12);$ MIN = Custo;

Fonte: Autora, 2024.

4.5. Algoritmo de otimização

Após todos esses valores terem sido devidamente representados como *input* no algoritmo de otimização (Anexo I), foi feita a simulação e como *output* tem-se os resultados do planejamento agregado representado no Anexo II e na Tabela 166, o qual representa um Custo de Produção mínimo de R\$500.213,00 (Equação 2). Nesta etapa foi utilizado o software LINGO para simulação do modelo. O download do arquivo com o algoritmo pode ser feito através da referência (LEMOS, 2024).

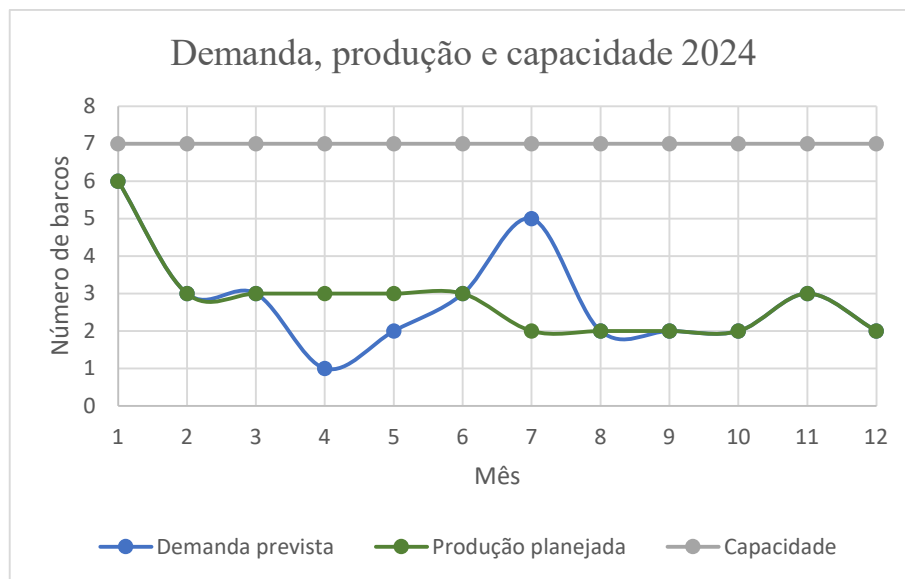
Tabela 16: Resultado ótimo da Programação linear do planejamento agregado da empresa em questão.

	Período											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda	6	3	3	1	2	3	5	2	2	2	3	2
Estoque inicial	0	0	0	0	2	3	3	0	0	0	0	0
Estoque final	0	0	0	2	3	3	0	0	0	0	0	0
Nº inicial de funcionários	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4
Contratações	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demissões	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Nº final de funcionários	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4
Produção regular	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
Produção horas extras	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Produção subcontratação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produção total	6	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2

Fonte: Autora, 2024.

A representação da produção obtida no cálculo do planejamento agregado, bem como a demanda prevista para o ano em questão e a capacidade podem ser vistos abaixo na Figura 17. É possível notar que a fábrica estará operando abaixo de sua capacidade no período.

Figura 17: Gráfico de demanda, produção planejada e capacidade para o ano seguinte.



Fonte: Autora, 2024.

5. DISCUSSÃO

A metodologia utilizada neste estudo revelou-se adequada para o contexto da indústria em questão, oferecendo diretrizes claras para a realização do planejamento agregado em estaleiros de pequeno porte. Abaixo apresenta-se uma discussão da metodologia e do resultado obtido, evidenciando seus pontos mais relevantes e suas limitações.

5.1. Discussão da metodologia

A metodologia utilizada se mostrou viável em caso real, demonstrando que pode ser útil para o tipo de indústria em questão. O tempo necessário para aplicar esta metodologia em um estaleiro de pequeno porte (com menos de 20 funcionários) pode ser estimado em 1 a 2 semanas. Esta metodologia pode ser inclusive implantada como forma de consultoria para as indústrias do seguimento, devido aos seus vários benefícios.

Esta metodologia foi desenvolvida para estaleiros de pequeno porte, mas nada impede que seja também implantada para outros seguimentos de produção de bens. Porém é possível que em alguns casos sejam necessárias algumas adaptações como mudança da quantidade de períodos, para bens que possuam um tempo de fabricação significativamente maior ou menor.

Também é possível adotar um método diferenciado para a estimativa da demanda. Como pode ser o caso por exemplo da empresa não possuir um registro significativo da demanda passada, ou preferir trabalhar com uma estimativa mais qualitativa. A escolha de um método diferente para estimar a demanda não interfere na execução das demais etapas da metodologia.

Quanto às limitações da metodologia, tem-se:

- O modelo proposto é determinístico. Não considera a variabilidade e incerteza nas variáveis;
- Algumas ferramentas computacionais para construção e simulação de modelos de otimização são pagas (e.g., LINGO e CPLEX). Para a modelagem no LINGO, foi necessário solicitar ao fabricante do programa uma licença estudantil através de e-mail, pois, para o cálculo realizado para o ano seguinte é necessária a criação de 73 variáveis, enquanto a versão Demo gratuita do programa, permite no máximo 40 variáveis;
- Os resultados do Planejamento Agregado são baseados em uma previsão da demanda, portanto há incertezas. Para amenizar este problema pode-se fazer reajustes no *input* do Modelo de Planejamento Agregado tanto quanto necessário;
- Quanto mais dados houver sobre o histórico de demanda da empresa, maior a precisão da previsão da demanda, de forma que, de uma forma geral, o Planejamento Agregado encontraria dificuldades de ser efetuado em uma empresa recém criada.

Como proposta de trabalhos futuros propõe-se o desenvolvimento de um modelo probabilístico através da incorporação de técnicas de modelagem e simulação estocástica (e.g., Monte Carlo) que considerem a variabilidade e incerteza nas variáveis. Além disso, diante das restrições financeiras impostas por ferramentas pagas, recomenda-se buscar alternativas de código aberto; por exemplo, explorar bibliotecas de otimização em linguagens de programação como Python, que oferecem diversas funcionalidades sem custos adicionais.

Quanto à incerteza nos resultados do Planejamento Agregado devido às previsões de demanda, é recomendável para um trabalho futuro implementar estratégias de revisão contínua do modelo, incorporando ajustes frequentes com base em dados reais. Ademais, para empresas com histórico de demanda limitado ou recém-criadas, recomenda-se um trabalho que possa recorrer a métodos de previsão baseados em dados externos, como análises de mercado e tendências do setor.

5.2. Discussão dos resultados

A aplicação da metodologia na prática foi ilustrada através de sua aplicação no desenvolvimento do Planejamento Agregado de um estaleiro náutico de Santa Catarina. Neste caso específico, foi possível chegar aos seguintes resultados mais relevantes para a produção do ano seguinte:

- Durante o mês de janeiro será necessário produzir três barcos no regime de horas extras para atender a demanda prevista do período;
- Durante três meses do ano (abril, maio e junho) está planejado manter produtos acabados em estoque (2, 3 e 3 barcos, respectivamente). Isso indica que a empresa precisará ter espaço físico disponível para armazenagem de até 3 barcos;
- No mês de julho, está planejado a demissão de um funcionário, o que indica, por exemplo, que o gestor de produção terá mais tempo para avaliar qual setor da produção deverá ter seu número de funcionários reduzidos; além disso, o setor financeiro pode planejar o fluxo de caixa para o pagamento de aviso-prévio e indenizações.
- Com base na estimativa desse custo, a gerência do estaleiro pode fazer um planejamento financeiro mais eficaz para o ano seguinte, o que inclui alocação de recursos, definição de preços e melhor tomada de decisões sobre planejamentos futuros. Também auxilia na tomada de decisões sobre expansão, investimento em novas tecnologias, melhor tomada de decisão em negociações contratuais e gestão de riscos. Qualquer que seja o planejamento, este não deve ser tomado como uma regra fielmente a ser seguida. Ao longo de todo o ano, deve-se monitorar a execução do planejamento e replanejar se necessário. A mesma metodologia pode ser usada para o replanejamento dos períodos restantes.

Como limitações, vale pontuar, que:

- Os resultados não especificam detalhes sobre a função exata dos funcionários a serem contratados ou demitidos durante os períodos previstos, cabendo ao gestor de produção utilizar seus conhecimentos para a tomada desta decisão.

Como propostas para aplicações futuras de planejamento agregado de 2025 neste estaleiro, propõe-se uma atualização das informações do custo do produto (verificar se os custos com mão de obra, matéria prima e indiretos aumentaram ou diminuíram). Também se sugere uma verificação e atualização dos demais dados que funcionam como *input* ao Modelo de otimização, como por exemplo a taxa de produção, o custo do estoque e cálculo da capacidade. Aliado a isso, deve-se continuar alimentando o banco de dados da demanda para que seja possível realizar uma previsão com mais precisão.

6. CONCLUSÃO

A metodologia proposta neste estudo marca um avanço significativo em direção ao aprimoramento tecnológico na indústria náutica brasileira. Embora o setor tenha crescido em importância no Brasil, o planejamento e controle da produção em estaleiros náuticos ainda carecem de conhecimento técnico. Este trabalho oferece uma abordagem promissora para superar essa lacuna, contribuindo para a eficiência e competitividade do setor.

Como principal resultado este TCC obteve uma Metodologia genérica, que pode ser aplicada em qualquer estaleiro náutico (especialmente aqueles com menos de 20 funcionários), para um planejamento agregado otimizado. A metodologia fornece como principal resultado uma tabela de planejamento ótimo conforme critério de minimização do custo total de produção, para produção mensal do ano seguinte, e prevê qual será o custo total de produção. Como principal vantagem, permite a gerência do estaleiro fazer um planejamento dos recursos (humanos, financeiros e máquinas) mais eficaz para o próximo ano. Como principal limitação, baseia-se na previsão de demanda para o ano seguinte, possuindo incertezas.

A metodologia surgiu a partir de uma necessidade prática, destacando-se por ter sido impulsionada pelas demandas reais do campo, ao invés de se originar a partir da teoria, como é comum em muitos estudos acadêmicos. Essa abordagem prática e orientada para a aplicação direta no ambiente real proporciona uma compreensão mais clara da teoria, tornando-a mais didática e acessível aos leitores. A aplicação da metodologia em um caso real não apenas facilita a compreensão, mas também demonstra sua viabilidade e relevância prática. No contexto específico de um estaleiro, a implantação do planejamento agregado resultou em direcionamento mais sólido para atender às demandas do mercado de forma competitiva e eficaz. Isso significa que a empresa está mais bem preparada para lidar com flutuações na demanda, otimizando seus recursos e garantindo maior eficiência em suas operações.

Para trabalhos futuros, sugere-se explorar a adoção de técnicas de modelagem estocástica para incorporar a variabilidade e a incerteza nas variáveis do modelo proposto, atualmente determinístico. Ademais, recomenda-se a abordagem de uma metodologia que contemple mais opções de cálculos para previsão da demanda, possibilitando assim, que o leitor escolha o método mais apropriado para o seu caso.

7. REFERÊNCIAS

ACOBAR. **Indústria náutica brasileira: fatos e números 2012**. Rio de Janeiro. Disponível em: <www.acobar.org.br>.

AURÉLIO SCHMIDT, M.; EVERLING, M.; SHIBATA SANTOS, A. Materiais e processos na indústria náutica: o delineamento de um desenvolvimento projetual. **DATJournal**, v. 2, n. 2, p. 34–51, 2017.

BARBOSA, E. G. et al. Project management methodology for boat designing: the case of an as-built project of a 33-foot boat in a Brazilian shipyard. **Trans RINA**, v. 158, p. 1–13, 2016.

CORDEIRO, D. R. et al. **Modelagem Matemática para o Planejamento Agregado da Produção: Estratégia de Produção Constante e Estratégia de Acompanhamento da Demanda**. IX Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. **Anais...**2015.

DPC. NORMAM-211/DPC Normas de autoridade marítima para atividades de esporte e recreio. **Marinha do Brasil, Diretoria de Portos e Costas (DPC)**, p. 1–227, 2023.

FILHO, O. S. S. et al. Planejamento agregado da produção ótimo com limite mínimo de estoque influenciado pelas incertezas de demanda. **Gestão & Produção**, v. 2, n. 1, p. 8–24, abr. 1995.

GASSEN, G. et al. Proposta de um modelo de programação linear para otimização do planejamento agregado de produção de brocas para empresa multinacional. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção**, v. 19, n. 1, p. 21–43, 2019.

JESUS, M. L. **Planejamento agregado de produção em uma indústria de manufatura de equipamentos: produção versus demanda**. Monografia—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

JÚNIOR, E. G. B. **Gestão de tempo e recursos no projeto de embarcações de esporte e recreio: metodologia proposta e exemplo de aplicação**. Trabalho de conclusão de curso—Recife: Universidade Federal de Pernambuco, out. 2018.

JUNQUEIRA, R. DE Á. R.; MORABITO, R. Um modelo de otimização linear para o planejamento agregado da produção e logística de sementes de milho. **Produção**, v. 16, n. 3, p. 510–525, 2006.

LEMOS, C. Z. DE M. **Algoritmo de otimização do Planejamento Agregado no programa LINGO**. Disponível em: <<https://11nk.dev/iKEI2>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

MATHEUS, M. A. **Fiberglass: aprenda fibra de vidro**. 1. ed. Ribeirão Preto: Editora Legis Summa, 2002. v. 1

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MUNHOZ, J. R.; MORABITO, R. Otimização no planejamento agregado de produção em indústrias de processamento de suco concentrado congelado de laranja. **Gestão da produção**, v. 17, n. 3, p. 465–481, 2010.

NASSEH, J. **Manual de construção de barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2011. v. 1

NASSEH, J. **Manual de construção de barcos**. Disponível em: <<https://www.manualdeconstrucaodebarcos.com.br/aplicacao-de-gelcoat/>>. Acesso em: 13 mar. 2024.

NASSEH, J. **Manual de construção de barcos**. Disponível em: <<https://www.manualdeconstrucaodebarcos.com.br/custo-laminacao-manual-x-vacuum-bag/>>. Acesso em: 12 mar. 2024a.

NASSEH, J. **Manual de construção de barcos**. Disponível em: <https://www.manualdeconstrucaodebarcos.com.br/agentes_desmoldantes/>. Acesso em: 13 mar. 2024b.

OLIVEIRA, J. P. N. DE. Avaliação do Nível de Maturidade em Gerenciamento de Projetos no Setor de Engenharia de Projetos de um Estaleiro de Grande Porte no Nordeste Brasileiro. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 5, n. 3, p. 01–13, 1 dez. 2014.

OLIVEIRA, L. H. S. **Planejamento agregado da produção: um estudo de caso na indústria têxtil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011a.

OLIVEIRA, V. A. **Programação da produção em um estaleiro náutico**. Programa de pós-graduação e mestrado—Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011b.

PAIVA, R. P. O. DE; MORABITO, R. Um modelo de otimização para o planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e álcool. **Gestão de produção**, v. 14, n. 1, p. 25–41, jan. 2007.

PASA, V. C.; OLIVO, C. J.; RADHARAMANAN, R. Maximização do lucro de uma empresa através do planejamento agregado: uma nova proposta. p. 1–8, 12 jan. 2017.

PRADO, D. **Maturidade em Gerenciamento de Projetos**. 2. ed. INDG, 2010. v. 7

SLACK, N. et al. **Administração da produção Edição compacta**. 1. ed. London: Atlas, 2010.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed. Atlas, 2009. v. 1

8. ANEXO I – PROGRAMAÇÃO LINEAR NO SOFTWARE LINGO

MODEL:

DATA:

!Definição de Contantes;

D1 = 6; D2 = 3; D3 = 3; D4 = 1; D5 = 2; D6 = 3; D7 = 5; D8 = 2; D9 = 2; D10 = 2;

D11 = 3; D12 = 2; !demanda;

R = 7; !capacidade max prod regular;

H = 9; !capacidade max prod hr extras;

R0 = 3; !produção regular inicial;

I0 = 0; !estoque inicial;

!Custos unitários;

rk=14000; !produção regular;

hk=16000; !produção em horas extras;

ak=1022; !custo de adicionar uma unidade à produção regular através de contratação;

ck=11413; !custo de cancelar uma unidade à produção regular através de demissão;

ik=600; !custo de manter uma unidade em estoque durante um período;

ENDDATA

!Restrições de produção;

@GIN(R1);@BND(0,R1,R); !Capacidade máxima de produção regular; !@GIN cria var
inteira;

@GIN(R2);@BND(0,R2,R);

@GIN(R3);@BND(0,R3,R);

@GIN(R4);@BND(0,R4,R);

@GIN(R5);@BND(0,R5,R);

@GIN(R6);@BND(0,R6,R);

@GIN(R7);@BND(0,R7,R);

@GIN(R8);@BND(0,R8,R);

@GIN(R9);@BND(0,R9,R);

@GIN(R10);@BND(0,R10,R);

@GIN(R11);@BND(0,R11,R);

@GIN(R12);@BND(0,R12,R);

@GIN(H1);@BND(0,H1,H); !Capacidade máxima de produção em horas extras;

@GIN(H2);@BND(0,H2,H);

@GIN(H3);@BND(0,H3,H);

@GIN(H4);@BND(0,H4,H);

@GIN(H5);@BND(0,H5,H);

```

@GIN (H6) ; @BND (0, H6, H) ;
@GIN (H7) ; @BND (0, H7, H) ;
@GIN (H8) ; @BND (0, H8, H) ;
@GIN (H9) ; @BND (0, H9, H) ;
@GIN (H10) ; @BND (0, H10, H) ;
@GIN (H11) ; @BND (0, H11, H) ;
@GIN (H12) ; @BND (0, H12, H) ;

!Produção regular em função de unidades
adicionadas através de contratação (A)
e unidades canceladas através de demissão (C);
R1=R0+A1-C1;
R2=R1+A2-C2;
R3=R2+A3-C3;
R4=R3+A4-C4;
R5=R4+A5-C5;
R6=R5+A6-C6;
R7=R6+A7-C7;
R8=R7+A8-C8;
R9=R8+A9-C9;
R10=R9+A10-C10;
R11=R10+A11-C11;
R12=R11+A12-C12;

!não se pode cancelar mais do que a capacidade
maxima de produção regular;
@GIN (C1) ; @BND (0, C1, R) ;
@GIN (C2) ; @BND (0, C2, R) ;
@GIN (C3) ; @BND (0, C3, R) ;
@GIN (C4) ; @BND (0, C4, R) ;
@GIN (C5) ; @BND (0, C5, R) ;
@GIN (C6) ; @BND (0, C6, R) ;
@GIN (C7) ; @BND (0, C7, R) ;
@GIN (C8) ; @BND (0, C8, R) ;
@GIN (C9) ; @BND (0, C9, R) ;
@GIN (C10) ; @BND (0, C10, R) ;
@GIN (C11) ; @BND (0, C11, R) ;
@GIN (C12) ; @BND (0, C12, R) ;

!Estoques;
@GIN (I1) ; @BND (0, I1, 99999) ;
@GIN (I2) ; @BND (0, I2, 99999) ;
@GIN (I3) ; @BND (0, I3, 99999) ;
@GIN (I4) ; @BND (0, I4, 99999) ;
@GIN (I5) ; @BND (0, I5, 99999) ;

```



```

@GIN(I6);@BND(0,I6,99999);
@GIN(I7);@BND(0,I7,99999);
@GIN(I8);@BND(0,I8,99999);
@GIN(I9);@BND(0,I9,99999);
@GIN(I10);@BND(0,I10,99999);
@GIN(I11);@BND(0,I11,99999);
@GIN(I12);@BND(0,I12,99999);

!Produção total por período;
ProdTot1=R1+H1;
ProdTot2=R2+H2;
ProdTot3=R3+H3;
ProdTot4=R4+H4;
ProdTot5=R5+H5;
ProdTot6=R6+H6;
ProdTot7=R7+H7;
ProdTot8=R8+H8;
ProdTot9=R9+H9;
ProdTot10=R10+H10;
ProdTot11=R11+H11;
ProdTot12=R12+H12;

!Estoque em t = estoque em (t-1) + produção total
- demanda;
I1=I0+ProdTot1-D1;
I2=I1+ProdTot2-D2;
I3=I2+ProdTot3-D3;
I4=I3+ProdTot4-D4;
I5=I4+ProdTot5-D5;
I6=I5+ProdTot6-D6;
I7=I6+ProdTot7-D7;
I8=I7+ProdTot8-D8;
I9=I8+ProdTot9-D9;
I10=I9+ProdTot10-D10;
I11=I10+ProdTot11-D11;
I12=I11+ProdTot12-D12;

!Função objetivo;

Custo =
rk*(R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7+R8+R9+R10+R11+R12)+hk*(H1+H2+H3+H4+H5+H6+H7+H8+H9+H10+H11+
H12)
+ak*(A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7+A8+A9+A10+A11+A12)+ck*(C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C10+C11
+C12)
+ik*(I1+I2+I3+I4+I5+I6+I7+I8+I9+I10+I11+I12); !somatório de custos;

```

MIN = Custo;

END

9. ANEXO 2 – *OUTPUT* COM SOLUÇÕES DO PROGRAMA LINGO

Solution Report - Programação TCC Catarina Lemos FINAL 3		
LINGO/WIN64 20.0.23 (5 Sep 2023), LINDO API 14.0.5099.295		
Licensee info: catarina.zmlemos@ufpe.br		
License expires: 23 JUL 2024		
Global optimal solution found.		
Objective value:	500213.0	
Objective bound:	500213.0	
Infeasibilities:	0.000000	
Extended solver steps:	1	
Total solver iterations:	109	
Elapsed runtime seconds:	0.05	
Model Class:	MILP	
Total variables:	73	
Nonlinear variables:	0	
Integer variables:	48	
Total constraints:	38	
Nonlinear constraints:	0	
Total nonzeros:	180	
Nonlinear nonzeros:	0	
Variable	Value	Reduced Cost
D1	6.000000	0.000000
D2	3.000000	0.000000
D3	3.000000	0.000000
D4	1.000000	0.000000
D5	2.000000	0.000000
D6	3.000000	0.000000
D7	5.000000	0.000000
D8	2.000000	0.000000
D9	2.000000	0.000000
D10	2.000000	0.000000
D11	3.000000	0.000000
D12	2.000000	0.000000
I0	0.000000	0.000000
R0	3.000000	0.000000
R	7.000000	0.000000
H	9.000000	0.000000
RK	14000.00	0.000000
HK	16000.00	0.000000
AK	1022.000	0.000000
CK	11413.00	0.000000
IK	600.0000	0.000000
R1	3.000000	14000.00
R2	3.000000	14000.00
R3	3.000000	14000.00
R4	3.000000	14000.00
R5	3.000000	14000.00
R6	3.000000	14000.00