

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PIERRE MARTINES DE ARRUDA

**PLANEJAMENTO DE CADEIAS GLOBAIS FARMACÊUTICAS INCORPORANDO  
ANÁLISE FINANCEIRA**

SOROCABA

2021

PIERRE MARTINES DE ARRUDA

**PLANEJAMENTO DE CADEIAS GLOBAIS FARMACÊUTICAS INCORPORANDO  
ANÁLISE FINANCEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Eli Angela Vitor Toso

Financiamento: CAPES

SOROCABA

2021

Martines de Arruda, Pierre

Planejamento de cadeias globais farmacêuticas  
incorporando análise financeira / Pierre Martines de  
Arruda -- 2021.  
101f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São  
Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba  
Orientador (a): Eli Angela Vitor Toso  
Banca Examinadora: Eli Angela Vitor Toso, Leandro  
Callegari Coelho, Naja Brandão Santana, José Geraldo  
Vidal Vieira  
Bibliografia

1. Cadeias de suprimentos globais. 2. Indústria  
farmacêutica. 3. Decisões financeiras. I. Martines de  
Arruda, Pierre. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -  
CRB/8 6979



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

---

### Folha de Aprovação

---

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Pierre Martines de Arruda, realizada em 03/08/2021.

#### Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Eli Angela Vitor Toso (UFSCar)

Prof. Dr. Leandro Callegari Coelho (ULaval)

Profa. Dra. Naja Brandão Santana (UFSCar)

Prof. Dr. José Geraldo Vidal Vieira (UFSCar)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais, Roseli e Carlos, pelo apoio incondicional*

*Aos meus avós maternos, Josepha e Francisco, pelo suporte cósmico*

*Aos meus avós paternos, Leontina e Adelino, pela ajuda infinita*

## **EPÍGRAFE**

*“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança toda a força de tua alma, todo o universo conspira a seu favor”*

Johann Wolfgang von Goethe

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço a Deus por ter me proporcionado uma excelente formação acadêmica durante toda a minha vida.*

*Agradeço aos meus pais e avós por sempre terem me apoiado em todos os momentos.*

*Agradeço especialmente à minha orientadora professora doutora Eli Angela Vitor Toso pelas excelentes orientações e suporte durante minha jornada no Mestrado.*

*Agradeço aos professores doutores Leandro Callegari Coelho, Naja Brandão Santana e José Geraldo Vidal Vieira por terem a disponibilidade de participar de minha banca.*

*Agradeço aos professores, funcionários, servidores e colegas da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, por me oferecerem a oportunidade de evoluir pessoalmente e profissionalmente.*

*Agradeço aos professores, funcionários, servidores e colegas da Universidade Federal de São Paulo, especialmente aos professores Emerson Gomes dos Santos, Pollyana de Carvalho Varrichio e Nildes Raimunda Pitombo Leite, pelo incentivo à carreira acadêmica.*

*Agradeço aos professores, funcionários, servidores e colegas da Universidade Estadual Paulista, Campus Jaboticabal, por terem contribuído na minha formação superior.*

*Agradeço à CAPES pela bolsa de mestrado, sem a qual não teria sido possível a realização deste trabalho.*

*Muito obrigado a todos*

## RESUMO

ARRUDA, Pierre M. Planejamento de cadeias globais farmacêuticas incorporando análise financeira. 101f. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2021.

Nas últimas décadas, a indústria farmacêutica vem passando por um processo de internacionalização das suas operações. Em razão da pandemia do coronavírus (COVID-19), o planejamento das empresas farmacêuticas globais foi diretamente afetado na busca por um imunizante. Nesse contexto, a complexidade da cadeia de suprimentos aumenta, pois aspectos econômicos e financeiros influenciam o planejamento da configuração física dessas redes. Até o momento, os modelos da literatura de otimização para cadeias de suprimentos globais, especificamente de produção farmacêutica, não incorporam aspectos de viabilidade financeira no planejamento das cadeias. Desta forma, este trabalho propõe um modelo de otimização para o problema de planejamento da cadeia de suprimentos global da indústria farmacêutica incorporando indicadores de análise financeira, principalmente de viabilidade de investimentos. São incorporados no modelo: (i) o valor presente líquido (VPL) na função objetivo; (ii) a possibilidade de usar capital próprio ou captar recursos por meio de empréstimos e financiamentos para abertura de plantas e centros de distribuição; (iii) a incorporação de juros compostos no cálculo de despesas financeiras e; (iv) a alternativa de investir o capital próprio da empresa no mercado financeiro. O problema abordado envolve decisões estratégicas como número e localização de plantas secundárias e de centros de distribuição para o atendimento da demanda dos mercados, bem como o fluxo de produtos na cadeia. O modelo é testado com dados baseados em duas empresas farmacêuticas com operações globais que estão produzindo vacinas para o vírus Sars-CoV-2. Os resultados gerados pelo modelo são coerentes, apresentando as seguintes características: a produção de vacinas apresenta VPL positivo, os resultados financeiros evidenciam o alto retorno dos investimentos e a escolha de centros de distribuição (CDs) terceirizados. A contribuição desse trabalho é a incorporação de aspectos financeiros, pouco utilizados em problemas de planejamento de cadeias de suprimentos globais, que permite aos gestores uma ferramenta de apoio a decisão baseada na interligação entre gestão operacional e finanças corporativas.

**Palavras-chave:** Cadeias de Suprimentos Globais. Indústria Farmacêutica. Decisões Financeiras. Modelos de Otimização.



## ABSTRACT

In the last decades, the pharmaceutical industry has been going through an internationalization process of its operations. Due to the coronavirus disease (COVID-19), the planning of global pharmaceutical companies was directly affected in the search for an immunizing agent. In this context, the complexity of the supply chain increases, as economic and financial aspects influence the planning of the physical configuration of these networks. To date, the literature on optimization models for global supply chains, specifically for pharmaceutical production, does not incorporate financial feasibility issues in planning. In this way, this dissertation proposes to develop an optimization model for the global supply chain planning problem of a pharmaceutical industry incorporating financial indicators, mainly of investment viability. The model incorporates: (i) the net present value (NPV) in the objective function; (ii) the possibility of using equity or raising funds through loans and financing to open plants and distribution centers; (iii) the incorporation of compound interest in the calculation of financial expenses and; (iv) the alternative of investing the company's equity in the financial market. The problem addressed involves strategic decisions such as number, and location of secondary plants and distribution centers to meet the demand of the final markets, as well as the flow of products in the network. The model is tested with data based on two pharmaceutical companies with global operations that are producing vaccines for the Sars-CoV-2 virus. The results generated by the model were adequate, the following characteristics: the production of vaccines presented positive NPV, the financial analysis shows the high return on investments, and the opening of distribution centers (DCs) were outsourced. The contribution of this work is the incorporation of little-used financial aspects in global supply chain planning problems, allowing managers to make a better strategic decision based on the interconnection between operational management and corporate finance.

**Keywords:** Global Supply Chain. Pharmaceutical Industry. Financial Decisions. Optimization Model.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escopo do problema.....	12
Figura 2 – Gastos em P&D do setor .....	17
Figura 3 – Fases de um novo medicamento.....	18
Figura 4 – Gasto global com medicamentos.....	19
Figura 5 – Vendas em risco pelo fim do direito de patentes.....	19
Figura 6 – <i>Market share</i> do setor farmacêutico .....	22
Figura 7 – Típica cadeia de suprimentos de uma indústria farmacêutica.....	26
Figura 8 - Cadeia de suprimentos considerada neste estudo.....	39
Figura 9 – Estrutura de custos da indústria farmacêutica .....	53
Figura 10 - Instalações candidatas da Empresa A .....	55
Figura 11 - Instalações candidatas da Empresa B.....	57
Figura 12 - Instalações abertas na Empresa A .....	58
Figura 13 - Capacidade de produção anual instalada e utilizada nas plantas da Empresa A.....	59
Figura 14 - Mapa de calor do atendimento da demanda na Empresa A .....	60
Figura 15 - Instalações abertas na Empresa B .....	62
Figura 16 – Capacidade de produção anual instalada e utilizada nas plantas da Empresa B .....	62
Figura 17 - Mapa de calor do atendimento da demanda na Empresa B .....	63
Figura 18 - Resultados das variações no capital próprio da Empresa A.....	67
Figura 19 - Resultados das variações no capital próprio da Empresa B.....	68
Figura 20 - Resultados das variações no preço de venda da Empresa A.....	69
Figura 21 - Resultados das variações no preço de venda da Empresa B.....	71
Figura 22 - Resultado dos testes alterando a demanda na Empresa A.....	78
Figura 23 - Resultado dos testes alterando a demanda na Empresa B.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Maiores empresas de medicamentos do mundo .....	21
Tabela 2 - Características dos Modelos da Revisão.....	36
Tabela 3 - Fluxo de caixa.....	40
Tabela 4 - Estatística descritiva dos dados da Empresa A.....	55
Tabela 5 - Estatística descritiva dos dados da Empresa B.....	56
Tabela 6 - Fluxo de caixa da Empresa A.....	61
Tabela 7 - Fluxo de caixa da Empresa B.....	64
Tabela 8 – Resultados sem impostos na Empresa A.....	72
Tabela 9 – Resultados sem impostos na Empresa B.....	73
Tabela 10 - Resultados desconsiderando a inflação na Empresa A.....	74
Tabela 11 - Resultados desconsiderando a inflação na Empresa B.....	74
Tabela 12 - Resultados com os CDs próprios da Empresa A.....	75
Tabela 13 - Resultados com os CDs próprios da Empresa B.....	76
Tabela 14 - Síntese do desempenho financeiro dos testes na Empresa A.....	81
Tabela 15 - Síntese do desempenho financeiro dos testes na Empresa B.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CD	Centro de Distribuição
DRE	Demonstração de Resultados
F&A	Fusões e Aquisições
FO	Função Objetivo
IL	Índice de Lucratividade
NPV	<i>Net Present Value</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PFA	<i>Product Frames Algorithm</i>
PA	Princípio Ativo
PL	Programação Linear
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PNL	Programação Não Linear
PNLIM	Programação Não Linear Inteira Mista
ROE	Retorno sobre o Patrimônio Líquido
ROI	Retorno sobre os Investimentos
R&D	<i>Research and Development</i>
SC	<i>Supply Chain</i>
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VEA	Valor Econômico Agregado
VPL	Valor Presente Líquido
WACC	Custo Médio Ponderado de Capital

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA .....	11
1.1 OBJETIVOS .....	13
1.2 MÉTODOS .....	14
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	15
<b>2 O SETOR FARMACÊUTICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR.....	16
2.2 ESTRUTURA.....	20
2.3 GERENCIAMENTO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS GLOBAIS NO SETOR .....	24
2.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	27
<b>3 REVISÃO DOS MODELOS DA LITERATURA .....</b>	<b>29</b>
3.1 MODELOS QUE INCORPORAM MÉTODOS FINANCEIROS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	29
3.2 MODELOS PARA CADEIAS DE MEDICAMENTOS.....	31
3.3 MODELOS PARA CADEIAS GLOBAIS DE MEDICAMENTOS .....	32
3.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	35
<b>4 DESCRIÇÃO E MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA .....</b>	<b>37</b>
4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	37
4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA .....	44
<b>5 TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
5.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS .....	51
5.2 RESULTADOS DOS TESTES COM DADOS DAS EMPRESAS.....	57
5.2.1 RESULTADOS DA EMPRESA A .....	57
5.2.2 RESULTADOS DA EMPRESA B.....	61
5.2.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENTRE AS EMPRESAS.....	65
5.3 ANÁLISE DE CENÁRIOS .....	66
5.3.1 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO CAPITAL PRÓPRIO.....	66
5.3.2 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO PREÇO DE VENDA .....	68
5.3.3 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NOS IMPOSTOS.....	71
5.3.4 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES DESCONSIDERANDO A INFLAÇÃO .....	73
5.3.5 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES CONSIDERANDO APENAS CDS PRÓPRIOS .....	75
5.3.6 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NA DEMANDA .....	76
5.4 ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO FINANCEIRO NOS TESTES.....	79
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor farmacêutico tem passado por várias mudanças em decorrência da complexidade da economia moderna, onde a internacionalização do negócio, a diversidade de medicamentos, a complexidade do desenvolvimento de novos medicamentos e a diminuição da proteção proporcionada pelas patentes são fatores que impulsionam essas mudanças. Diante disso, as etapas da cadeia de valor das empresas são afetadas, desde o desenvolvimento de novos medicamentos ao gerenciamento das cadeias de suprimentos (PAPAGEORGIOU; ROTSTEIN; SHAH, 2001). Da mesma forma, a pandemia do COVID-19 impactou profundamente o setor, onde o esforço global das empresas por medicamentos fez com que elas mudassem seus objetivos num curto período de tempo (AYATI; SAIYARSARAI; NIKFAR, 2020). Nesse sentido, principalmente em decorrência da produção e distribuição de vacinas para o Sars-CoV-2, as farmacêuticas que atuam globalmente tiveram suas operações impactadas repentinamente, afetando ainda o planejamento dos próximos anos.

Devido à internacionalização das operações, muitas empresas farmacêuticas buscam gerenciar seus recursos em escala global (SUSARLA; KARIMI, 2012). Assim, estas empresas começaram a concentrar seus esforços na gestão das operações, particularmente no aperfeiçoamento de suas redes de suprimentos (SOUSA; SHAH; PAPAGEORGIOU, 2008).

As cadeias de suprimentos na indústria farmacêutica, uma indústria com alto valor agregado, compreendem duas principais etapas de fabricação: (i) plantas primárias que são responsáveis pela produção dos princípios ativos (PA) dos medicamentos e; (ii) plantas secundárias para formulação e embalagem dos medicamentos (SOUSA; SHAH; PAPAGEORGIOU, 2008). Uma típica cadeia de suprimentos de uma empresa farmacêutica envolve funções como fornecimento de matérias-primas, plantas primárias, plantas secundárias, centros de distribuição (que também podem ser divididos em CDs centrais e regionais) e clientes (que podem ser distribuidores de produtos farmacêuticos, redes de saúde privada, órgãos governamentais ligados a sistemas de saúde pública, dentre outros).

Um dos desafios para o gerenciamento de cadeias de suprimentos globais é o planejamento da configuração física da rede, pois envolve decisões como: (i) localização de plantas de produção e de armazenagem; (ii) seleção de fornecedores; (iii) alocação da demanda

dos clientes, dentre outros (NARASIMHAN; MAHAPATRA, 2004). Ainda, ao configurar cadeias de suprimentos globais, surgem fatores complicadores adicionais no planejamento como: (i) impostos; (ii) taxas (importação, exportação, alfandegárias, cambiais, dentre outras) e; (iii) questões comerciais entre blocos econômicos. Diante disso, as decisões de localização geográfica influenciam o planejamento dessas redes, pois questões econômicas e financeiras de diferentes países impactam diretamente na rentabilidade das empresas (GOETSCHALCKX; VIDAL; DOGAN, 2002).

Uma das abordagens encontradas na literatura para apoiar o planejamento da configuração física de cadeias de suprimentos é a modelagem matemática do problema, que inclui modelos clássicos de localização de facilidades e definição de fluxo de material entre os pontos da cadeia. No entanto, a literatura que trata sobre modelos para cadeias de suprimentos incorporando o planejamento no ambiente global é relativamente recente. Alguns trabalhos que abordam cadeias de suprimentos globais em diferentes contextos são: seleção de fornecedores (TABRIZI; RAZMI, 2013), localização de plantas de produção (SOUSA *et al.*, 2011), redução de riscos da cadeia (SONI; KODALI, 2013), redução de emissão de poluentes (URATA *et al.*, 2016), dentre outros. Ainda, algumas revisões sobre cadeias de suprimentos globais são apresentadas pela literatura, dentre eles os trabalhos de Meixell e Gargeya (2005), Goetschalckx, Vidal e Dogan (2002) e Koberg e Longoni (2019).

Em relação ao planejamento das cadeias de suprimentos globais para o setor farmacêutico, três trabalhos se destacam na literatura. Sousa, Shah e Papageorgiou (2005) propõem um modelo que busca alocar os produtos às localizações finais, maximizando o lucro líquido da empresa. Susarla e Karimi (2012) desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) para o planejamento da cadeia de suprimentos de duas empresas farmacêuticas incorporando efeitos de diferentes impostos internacionais no lucro após impostos da empresa. Sousa *et al.* (2011) analisam o problema de planejamento da cadeia de suprimento global de uma indústria farmacêutica, desde os estágios primários e secundários de produção até a distribuição do produto aos mercados. Entretanto, não foram encontrados trabalhos na literatura que incorporam aspectos de viabilidade de investimento no planejamento dessas redes. Particularmente, decisões como capital próprio a ser utilizado e quantidade de capital proveniente de terceiros (empréstimos ou financiamentos), uso de indicadores como valor presente líquido (VPL), valor econômico agregado (VEA), taxa interna de retorno (TIR), índice de lucratividade (IL), retorno sobre o patrimônio líquido (ROE), retorno sobre o investimento (ROI), taxas, impostos, taxas de câmbio, dentre outros aspectos.

Por outro lado, existem alguns trabalhos na literatura que incorporam métodos financeiros em outros contextos, sobressaindo-se a prevalência da utilização do valor presente líquido (VPL) na formulação dos modelos. Particularmente em relação ao planejamento de cadeias de suprimentos, Láines *et al.* (2009) desenvolveram um modelo que busca maximizar o valor presente líquido (VPL) considerando uma estrutura de cadeia flexível. O trabalho de Nobil e Taleizadeh (2016) busca maximizar o valor presente líquido (VPL) de uma cadeia de suprimentos regional integrada de estoque, produção e distribuição. Farahani e Rahmani (2017) desenvolvem um modelo de programação linear inteira mista (PLIM), maximizando o valor presente líquido (NPV) de uma rede de petróleo bruto. Ogumerem *et al.* (2018) desenvolvem um modelo multiobjetivo para uma cadeia de suprimentos de hidrogênio, buscando a maximização do Valor Presente Líquido (VPL) e a minimização das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Kostin *et al.* (2018) desenvolvem um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) que maximiza o valor presente líquido (NPV) das cadeias produtivas brasileiras de etanol. O trabalho de Nobil *et al.* (2018) apresenta um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) que incorpora decisões de capital e investimento no planejamento de uma cadeia de suprimentos regional para maximizar o valor presente líquido (VPL) da empresa. Aggarwal e Singh (2019) apresentam um modelo de otimização multiobjetivo que busca a maximização do valor presente líquido (VPL) e a minimização do custo total de uma empresa de manufatura considerando a demanda incerta. Por fim, Polo *et al.* (2019) formulam um modelo de Programação Não Linear Inteira Mista (PNLIM) que incorpora medidas de riscos financeiros no projeto robusto de uma cadeia de suprimentos, diferenciando-se dos outros modelos da literatura ao maximizar o valor econômico agregado (EVA).

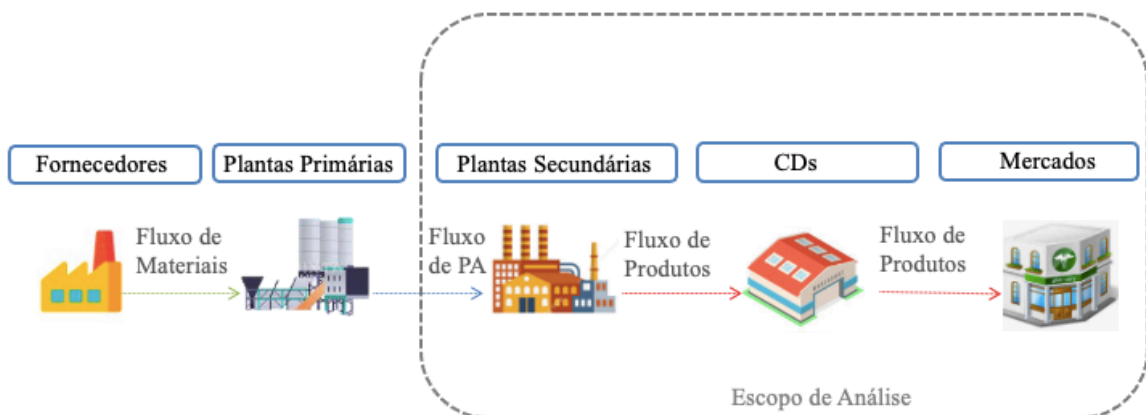
## 1.1 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

O objeto de estudo desta dissertação é o planejamento de cadeias de suprimentos globais de medicamentos, mais especificamente para produção e distribuição de novos produtos, como as vacinas para o vírus Sars-CoV-2, focando em modelos de otimização para apoiar as decisões de configuração física das redes e incorporando a análise de indicadores financeiros. Diante da especificidade do setor global, o setor da indústria farmacêutica que esta dissertação foca é o de grandes multinacionais baseadas em pesquisa e desenvolvimento (P&D), que possuem plantas e CDs em várias regiões do globo.



O problema estudado neste trabalho envolve decisões estratégicas e financeiras como o número e localização e das plantas secundárias e centros de distribuição (CDs), bem como os investimentos para P&D e para o desenho da cadeia. A Figura 1 ilustra o escopo do problema desta dissertação. Observa-se na figura que são consideradas três camadas da cadeia de suprimentos global no problema: (i) plantas secundárias; (ii) os CDs e; (ii) os mercados. São considerados diversos candidatos a instalação de plantas secundárias e CDs em vários países, com diferentes investimentos necessários para início da operação (ampliação ou construção de novas plantas). Ainda, há diferentes custos e despesas nesses locais candidatos, em razão das especificidades econômicas dos países. Em relação à produção de medicamentos, existe um limite de princípio ativo (PA) disponibilizado pelas plantas primárias em cada período, restringindo assim a produção nas plantas secundárias. Ainda, as plantas secundárias candidatas e CDs candidatas apresentam diferentes capacidades de produção e armazenamento, respectivamente. Ademais, em razão da perecibilidade das vacinas, no problema não é possível a estocagem para períodos subsequentes.

Figura 1 - Escopo do problema



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos aspectos financeiros, o objetivo do modelo é maximizar o valor presente líquido (VPL) da produção e distribuição de medicamentos aos mercados. Assim, o custo médio ponderado de capital (WACC) foi utilizado para trazer a valor presente os fluxos de caixa dos períodos. No problema, são considerados apenas os impostos corporativos referentes a cada

país dos locais candidatos das plantas secundárias. Impostos regionais relacionados à movimentação de produtos são desconsiderados no problema. Ainda em relação à estrutura de capital, há a possibilidade da utilização de capital próprio, proveniente do caixa das empresas, ou de capital de terceiros (empréstimos) para os investimentos. Ao utilizar capital de terceiros, há o pagamento do montante principal, acrescido de juros compostos em cada período.

Diante disso, nesta dissertação são consideradas como decisões: (i) a abertura e localização de plantas secundárias e de CDs para o atendimento da demanda dos mercados finais; (ii) a quantidade a ser produzida nas instalações secundárias; (iii) fluxo de produto das plantas secundárias para os CDs e destes para os mercados; (iv) o montante de capital próprio e de terceiros utilizado nos investimentos, e; (v) a possibilidade de investir o capital próprio no mercado financeiro, caso o investimento na cadeia não seja atrativo (permitindo verificar a taxa mínima de atratividade da produção de medicamentos). Detalhes da descrição do problema podem ser encontrados na Seção 4.1 desta dissertação.

## **1.1 OBJETIVOS**

O objetivo principal desta dissertação é propor um modelo de otimização para o planejamento de cadeias de suprimentos globais de indústrias farmacêuticas incorporando análise financeira. Os objetivos específicos desta dissertação são:

- Descrever o setor farmacêutico, analisando as características e estrutura da indústria. Ainda, nesse sentido, descrever as cadeias de suprimentos globais do setor, apresentando as principais contribuições da literatura sobre o problema estudado;
- Realizar uma revisão sobre os modelos da literatura que abordam o planejamento de cadeias de suprimentos com aspectos financeiros e os modelos que tratam sobre cadeias globais de produção de medicamentos, destacando as contribuições dos principais trabalhos da literatura;
- Coletar dados setoriais da indústria farmacêutica para desenvolvimento e validação de um modelo matemático para apoiar as decisões de planejamento de cadeias de suprimentos globais;

- Propor um modelo de programação matemática para o planejamento global da cadeia de produção da indústria farmacêutica, incorporando aspectos de análise financeira, como o valor presente líquido (VPL), a possibilidade de usar capital próprio ou captar recursos por meio de empréstimos e financiamentos para abertura de plantas e centros de distribuição, a incorporação de juros compostos no cálculo de despesas financeiras e a atratividade do investimento frente ao mercado financeiro.

## 1.2 MÉTODOS

Este trabalho consiste em uma pesquisa quantitativa, tipicamente relacionada a problemas da área de Pesquisa Operacional. A literatura nesta área é bastante ampla, tendo sido aplicada a diversos problemas como manufatura, transporte, construção, telecomunicações, planejamento financeiro, saúde, militar, serviços públicos, dentre outros (HILLIER; LIEBERMAN, 2001).

Diante disso, este trabalho segue o processo da Pesquisa Operacional descrito em Winston (2003):

- a) Formulação do problema: definir o problema, especificando os objetivos e partes da organização a serem estudados. Diante disso, o problema da dissertação foi definido baseando-se na literatura de cadeias de suprimentos globais. Assim, o problema estudado neste trabalho consiste no planejamento de cadeias de suprimentos globais da indústria farmacêutica;
- b) Observação do sistema: coletar dados para estimar o valor dos parâmetros que afetam o problema da organização. Essas estimativas são usadas para desenvolver e avaliar um modelo matemático do problema. No caso da dissertação, os dados serão coletados na literatura e por meio de relatórios setoriais;
- c) Formulação do modelo matemático: desenvolver um modelo matemático que descreve o problema a ser estudado. Sendo assim, o modelo desta dissertação baseou-se nas características das cadeias de suprimentos globais do setor farmacêutico incorporando análise financeira;
- d) Verificação do modelo: validar o modelo desenvolvido na etapa anterior. No caso da dissertação, foram utilizados dados baseados em duas empresas farmacêuticas que estão produzindo e distribuindo vacinas para o Sars-CoV-2;

- e) Seleção da melhor alternativa: escolher a melhor alternativa que atenda aos objetivos. Desta forma, foram descritas na dissertação as melhores opções para o problema no cenário base das empresas;
- f) Apresentação dos resultados e conclusões: apresentar o modelo e recomendar as decisões. Assim, são apresentados na dissertação os resultados dos testes computacionais.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. Esse capítulo corresponde a introdução do trabalho. No Capítulo 2, é apresentada uma descrição da indústria farmacêutica global, apresentando dados setoriais e características do setor. Ainda são descritas as particularidades das cadeias de suprimentos globais da indústria.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão dos modelos de planejamento de cadeias de suprimentos considerando aspectos financeiros. São destacados também os modelos propostos na literatura específicos para a indústria farmacêutica, analisando os modelos para cadeias de medicamentos regionais e globais. O Capítulo 4 apresenta a formulação matemática da dissertação.

O Capítulo 5 apresenta os dados baseados nas empresas farmacêuticas, os resultados e análises dos testes computacionais que foram realizados: solução do cenário base, testes adicionais e síntese dos resultados financeiros dos testes.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões e indicações de pesquisas futuras; por fim, as referências são listadas. A principal contribuição desse trabalho é a incorporação de métodos financeiros pouco utilizados em problemas de planejamento de cadeias de suprimentos globais, especificamente considerando as características da indústria farmacêutica, contribuindo com a literatura que envolve problemas inter-relacionados de gestão operacional e de finanças corporativas.

## 2 O SETOR FARMACÊUTICO

Neste capítulo são apresentadas as características da indústria farmacêutica. O objetivo é contextualizar o setor farmacêutico, destacando sua importância econômica, tendências de mercado e estrutura. Diante disso, foram utilizados diferentes relatórios setoriais e trabalhos acadêmicos destacando os principais dados do setor. Ainda, são discutidas as particularidades do planejamento das cadeias de suprimentos da indústria farmacêutica, especificamente no contexto global. O objetivo é ressaltar a importância do gerenciamento da cadeia de suprimentos no desempenho operacional das empresas. Uma conclusão do capítulo é apresentada ao final.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR

A indústria farmacêutica pode ser definida como um complexo de processos, operações e organizações envolvidas na descoberta, desenvolvimento e fabricação de drogas e medicamentos (SHAH, 2004). Ao longo de sua trajetória histórica, o setor tem passado por grandes transformações pautadas no desenvolvimento da ciência, tecnologia, medicina e negócios. (TEIXEIRA, 2014). A indústria nasceu no final do século XIX como um segmento do nascente setor químico, sendo que as empresas pioneiras foram empresas químicas europeias, principalmente alemãs e suíças, como Bayer, Hoechst, Ciba e Sandoz, que entraram na indústria explorando suas competências e conhecimentos em produtos químicos orgânicos e corantes desenvolvidos nas instituições alemãs de educação avançada (MALERBA; ORSENIGO, 2015).

A indústria farmacêutica é tradicionalmente classificada na literatura como baseada em ciência e inovação. Uma das principais características consiste na sua dinâmica que é função direta do investimento que as indústrias realizam em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) (REIS *et al.*, 2016). A Figura 2 apresenta os gastos mundiais com P&D do setor em uma projeção até 2024. É importante ressaltar que esses dados projetados correspondem a cálculos anteriores a pandemia do COVID-19. Diante disso, os valores podem sofrer alterações em razão do esforço global em conter os avanços do vírus Sars-CoV-2. O trabalho de Ayati, Saiyarsarai e Nikfar (2020) destaca algumas consequências da pandemia no setor farmacêutico, dentre elas:

a) Mudança na demanda; b) escassez de oferta; c) mudança no foco de P&D; d) aumento da telemedicina; e) demora na aprovação de medicamentos e; f) mudanças em direção à autossuficiência na indústria.

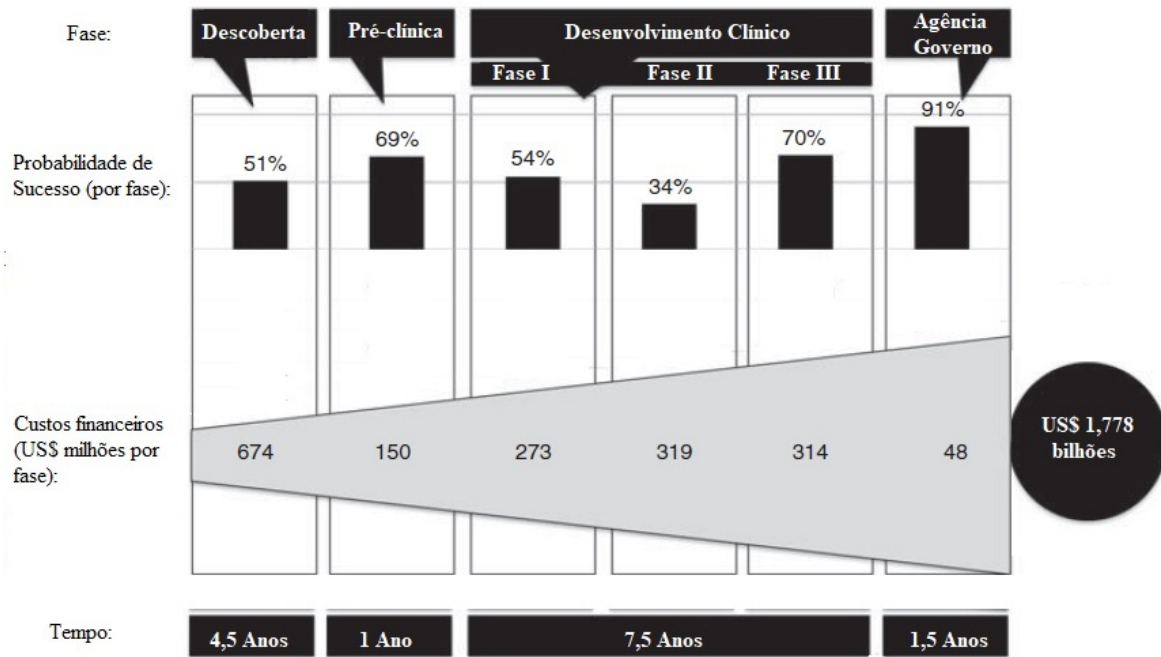
Figura 2 – Gastos em P&D do setor



Fonte: Adaptado de Evaluate (2019).

A primeira etapa da P&D na indústria farmacêutica é a identificação e validação de um fármaco adequado que pode desempenhar um papel em uma doença. Diante disso, um entendimento profundo da doença e seu mecanismo molecular são fundamentais para pesquisar novos alvos de drogas. Em uma próxima etapa, os pesquisadores pesquisam por compostos que potencialmente influenciam o fármaco. Assim, se um composto principal é descoberto, os pesquisadores otimizam o potencial do composto para se tornar um candidato a medicamento. No desenvolvimento pré-clínico, é analisado se o candidato pode ser usado em humanos, sendo submetido a uma série de testes pré-clínicos com o objetivo de entender como o composto funciona e se é seguro em animais. Em seguida, o candidato a medicamento pode ser usado para uma série de testes na situação humana. Nos anos seguintes, vários ensaios clínicos são realizados para analisar a eficácia e o perfil de segurança do medicamento candidato. Passando por todas as fases, um novo pedido de medicamento é apresentado para obter a aprovação do órgão governamental (SCHUHMACHER; HINDER; GASSMANN, 2016). A Figura 3 apresenta as fases e estimativas dos custos financeiros envolvidos nesse processo.

Figura 3 – Fases de um novo medicamento



Fonte: Adaptado de Schuhmacher, Hinder e Gassmann (2016).

O processo dura em média uma a duas décadas e está relacionado a uma probabilidade de sucesso muito baixa desde a descoberta de um novo candidato até o lançamento do medicamento no mercado. A complexidade da P&D de medicamentos combinada com a crescente permeação por tecnologia, os custos relacionados com medicamentos com falha e a capitalização de custos ao longo dos longos prazos são os principais impulsionadores dos enormes custos elevados que precisam ser investidos no desenvolvimento de um novo medicamento (SCHUHMACHER; HINDER; GASSMANN, 2016).

Em 2018, o gasto global com medicamentos movimentou US\$ 1,2 trilhão e estima-se que ultrapasse US\$ 1,5 trilhão em 2023 (INTERFARMA, 2019). A Figura 4 apresenta os gastos com medicamentos no mundo e uma projeção até 2023.

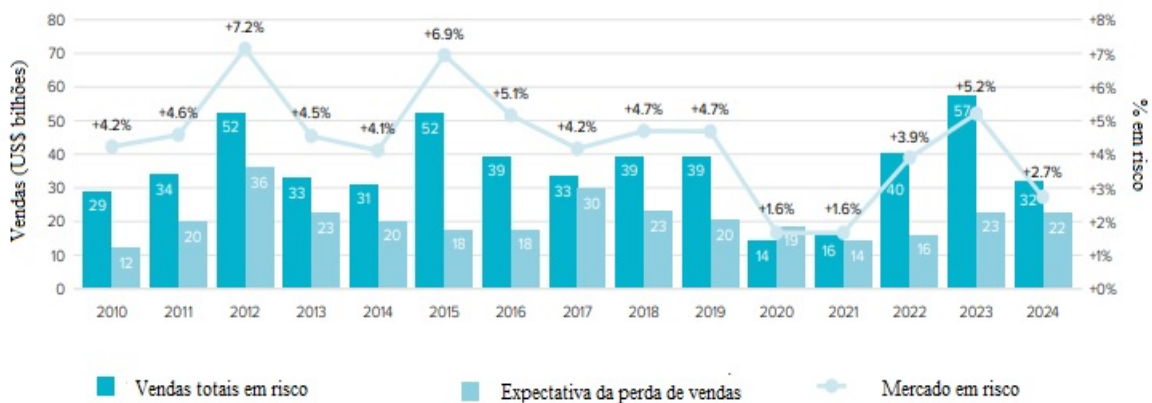
Figura 4 – Gasto global com medicamentos



Fonte: INTERFARMA (2019).

Kyle (2006) afirma que além da competição entre os *players* do mercado, o ambiente regulatório tem uma influência significativa no setor. Países com regulamentação de entrada rigorosa combinada com regulamentação de preços relativamente pequena, como os Estados Unidos da América (EUA) e o Reino Unido, têm indústrias domésticas altamente concentradas, cujos produtos se difundem mais amplamente nos mercados estrangeiros. Nesse sentido, as patentes podem configurar numa forma de manutenção de mercado das empresas. A Figura 5 apresenta as vendas em risco pelo fim do direito de patentes no mundo.

Figura 5 – Vendas em risco pelo fim do direito de patentes



Fonte: Adaptado de Evaluate (2019).



Malerba e Orsenigo (2015) discorrem que em razão ausência de proteção de patentes, desde a década de 1980, a Índia desenvolveu uma sólida indústria de genéricos, exportando medicamentos a preços baixos em países em desenvolvimento e se tornando “a farmácia do terceiro mundo”. Outros países, como a Tailândia e o Brasil, alcançaram nos últimos anos capacidades de fabricação significativas. Os autores preveem que a China se tornará um ator muito significativo no futuro próximo e muitos outros países menos desenvolvidos estão contemplando a ideia de apoiar o desenvolvimento de capacidades domésticas na produção de medicamentos essenciais.

## 2.2 ESTRUTURA

A estrutura de negócios onde o setor farmacêutico está inserido direciona a forma pelas quais o setor administra sua cadeia produtiva. O setor separa as etapas em: (i) pesquisa e desenvolvimento (P&D), (ii) produção de farmoquímicos, (iii) a manipulação e formulação final, e (iv) o marketing e a comercialização. Diante disso, a estrutura de mercado do setor é classificada como oligopolizada, sendo uma indústria altamente competitiva, onde a disputa pelo mercado ocorre principalmente pela descoberta de novos medicamentos, que exigem grandes investimentos financeiros em P&D, caracterizados pela incerteza (TEIXEIRA, 2014). Desta forma, o principal instrumento utilizado pelas indústrias do setor para a apropriação dos resultados oriundos dos seus esforços de P&D é a patente, que permite um monopólio temporário das vendas do produto (VARGAS *et al.*, 2010).

Nesse contexto, a produção de medicamentos é dependente da produção de farmoquímicos, pois são neles em que o princípio ativo do medicamento está inserido. Assim, a cadeia farmacêutica envolve a fabricação de substâncias químicas, obtidas por meio da síntese química, podendo a extração de farmoquímicos ser de origem vegetal, animal ou por meio da biotecnologia (CNQ, 2015). Segundo Kyle (2006), cerca de 40 empresas multinacionais dominam o mercado e são responsáveis por metade de todos os medicamentos disponíveis em algum lugar do mundo. Vargas *et al.* (2010) discorrem que as empresas líderes do setor são as de grande porte que atuam de forma globalizada no mercado mundial, sendo que há uma interdependência entre as estratégias perseguidas no interior de cada grupo nos diferentes mercados nacionais e entre os diferentes competidores. Desta forma, a liderança de mercado no setor é exercida em segmentos de mercados particulares, por meio da diferenciação de produtos.

A tabela 1 apresenta as maiores companhias com vendas de medicamentos no mundo. Os dados utilizados, bem como as projeções apresentadas para 2024, são do relatório Evaluate (2019).

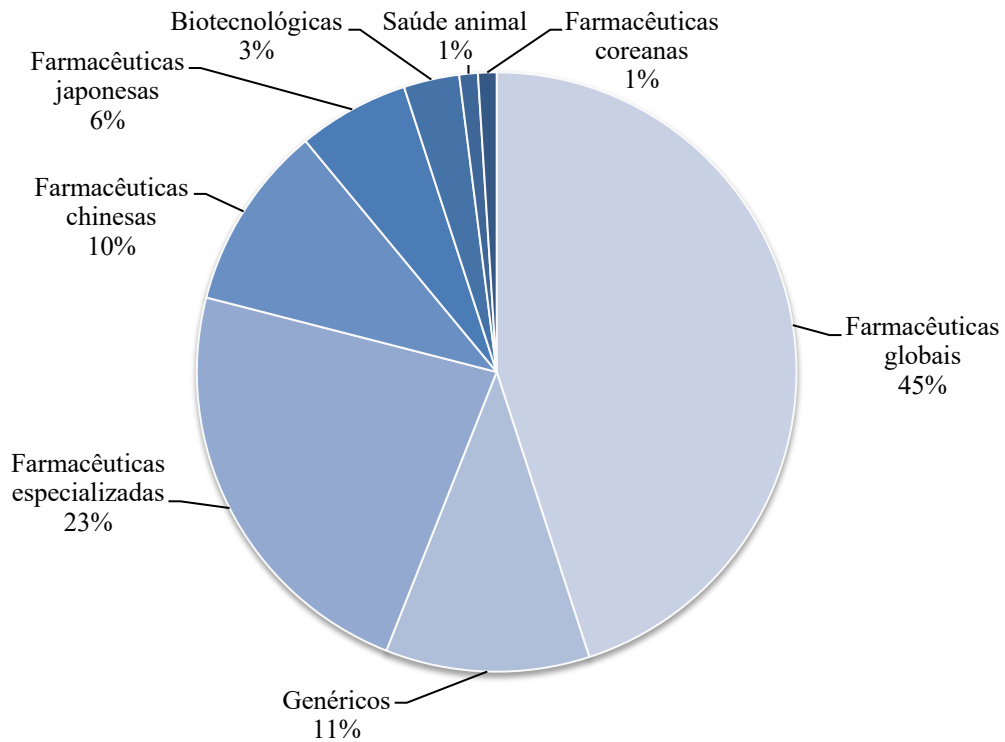
Tabela 1 - Maiores empresas de medicamentos do mundo

<b>Rank</b>	<b>Empresas</b>	<b>Vendas em 2018 (US\$ bilhões)</b>	<b>Vendas em 2024 (US\$ bilhões)</b>	<b>Crescimento</b>
1	Pfizer	45,3	51,2	+ 2,1%
2	Novartis	43,5	49,8	+2,3%
3	Roche	44,6	46,7	+0,8%
4	Johnson & Johnson	38,8	45,8	+2,8%
5	Merck & Co	37,4	42,5	+2,2%
6	Sanofi	35,1	40,7	+2,5%
7	GlaxoSmithKline	30,6	38,7	+4,0%
8	AbbVie	32,1	35,0	+1,4%
9	Takeda	17,4	32,3	+10,8%
10	AstraZeneca	20,7	32,2	+7,7%
<b>Total</b>		<b>345,4</b>	<b>414,8</b>	<b>+3,1%</b>

Fonte: Adaptado de Evaluate (2019).

A indústria farmacêutica é considerada internacionalizada. Na produção dos medicamentos, o setor interage com indústrias ao redor do globo, se relacionando com outros setores, dentre eles: de embalagens, de equipamentos especializados, de marketing, de distribuição dos produtos às clínicas, farmácias e hospitais, dentre outros. Outra característica é que a produção de fármacos (indústria farmoquímica) é mais concentrada em determinados centros do mundo, como: os Estados Unidos da América, Índia, China e países da Europa (CNQ, 2015). A Figura 6 apresenta o *market share* do setor farmacêutico mundial. O setor é liderado por 17 grandes empresas farmacêuticas globais (com 45% de mercado), seguidas por 277 empresas farmacêuticas menores, chamadas de farmacêuticas especializadas, e seguida pelas produtoras de genéricos (TORREYA, 2017).

Figura 6 – *Market share* do setor farmacêutico



Fonte: Adaptado de Torrey (2017).

Vargas *et al.* (2010) discorrem que dentre as principais tendências que marcam o padrão atual de concorrência e organização produtiva da indústria farmacêutica internacional destacam-se:

- a) Mudanças associadas aos vetores de crescimento do mercado global de produtos farmacêuticos;
- b) Aumento na concorrência enfrentada pelos grandes laboratórios farmacêuticos em razão da concentração no vencimento de patentes;
- c) Declínio de produtividade das atividades de P&D, em razão da redução no ritmo de registro de novos produtos com características inovadoras;
- d) Aumento na competição dos medicamentos genéricos, por causa da intensificação no processo de fusões e aquisições (F&A) entre as empresas produtoras de genéricos e;
- e) Mudanças no Marco Regulatório associados às pressões crescentes dos consumidores.

Segundo Cockburn (2004), a evolução da estrutura do setor pode ser classificada da seguinte forma:

- a) Até 1980: as empresas eram todas grandes, totalmente integradas desde a descoberta de medicamentos até o desenvolvimento clínico, questões regulatórias, fabricação e marketing. A maioria das descobertas de drogas comerciais foram conduzidas internamente as empresas. A atividade de licenciamento foi induzida em grande parte por preocupações posteriores, ou seja, a exclusividade dos direitos de venderem medicamentos que já foram aprovados clinicamente. Assim, a maioria das indústrias eram organizações maduras e de vida longa, cujas raízes remontavam a muitas décadas, muitas vezes até a indústria química do século XIX. Seus grandes e sustentados investimentos em P&D, ativos de marketing e, capital humano e organizacional foram amplamente financiados pelo fluxo de caixa interno. A vantagem competitiva foi impulsionada pela capacidade das empresas de gerenciar com eficácia as interações do mercado de produtos. A produtividade de P&D interna foi impulsionada por economias de escala e escopo na realização de pesquisas, alocação eficiente de recursos internos e a capacidade de capturar conhecimentos gerados internamente as empresas. Contudo, a organização da indústria mudou drasticamente nos últimos trinta anos. Muitas empresas menores desapareceram à medida que os principais participantes se consolidaram, enquanto concorrentes vigorosos baseados na biotecnologia entraram no setor;
- b) Após 1980: a principal característica é o aumento da complexidade na estrutura do setor. Após décadas de estabilidade e consolidação, na década de 1980 o setor experimentou uma entrada significativa de empresas de biotecnologia, muitas das quais se posicionaram como um setor intermediário entre as instituições de pesquisa acadêmica e as grandes indústrias farmacêuticas (*Big Pharma*). Em meados da década de 1990, vários empreendimentos de biotecnologia foram lançados e centenas atingiram escala suficiente para ser uma força importante no setor. Os relacionamentos verticais existentes foram interrompidos e reformados, com as novas empresas abrangendo a divisão entre pesquisas. Várias forças tecnológicas, econômicas e jurídicas interligadas causaram essa mudança. Os desenvolvimentos na lei de patentes trouxeram muito da biologia molecular e das ciências da vida para o âmbito do sistema de patentes. Sem direitos de patente em invenções, muitas empresas de biotecnologia nunca seriam fundadas. As empresas do setor agora

dependem cada vez mais de ferramentas de pesquisa e indicações de produtos fornecidas pelas empresas de biotecnologia, sendo que de 25% a 40% de suas vendas são provenientes de medicamentos originados no setor de biotecnologia. Uma das principais características dessa estrutura consiste num fluxo contínuo de informações e materiais que circulam rapidamente entre as *Big Pharma* e as biotecnológicas, apoiados por um conjunto complexo de acordos contratuais e arranjos colaborativos, num ambiente cada vez mais globalizado.

Nesse ambiente globalizado, a indústria farmacêutica pode ser dividida em cinco subsetores: (i) grandes multinacionais baseadas em P&D; (ii) fabricantes de genéricos operando no mercado internacional; (iii) indústrias locais baseadas em um único país; (iv) fabricantes contratadas sem carteira própria de produtos e; (v) empresas biotecnológicas preocupadas principalmente com a descoberta de medicamentos (SOUSA *et al.*, 2011). As grandes multinacionais baseadas em P&D são economicamente as mais importantes, tendendo a ter cadeias de suprimentos grandes e complexas em razão da natureza global de suas atividades. Desta forma, tais indústrias tendem a ser mais vulneráveis às mudanças financeiras, regulatórias e sociais nos países e diferentes mercados em que atuam (SOUSA; SHAH; PAPAGEORGIOU, 2008).

Nesse contexto, o gerenciamento das cadeias de suprimentos consiste numa atividade fundamental para a manutenção do *market share* das grandes companhias farmacêuticas. Principalmente no ambiente global, a eficiência da cadeia torna-se uma vantagem competitiva para as indústrias do setor. A próxima seção irá detalhar as particularidades no gerenciamento dessas cadeias.

### **2.3 GERENCIAMENTO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS GLOBAIS NO SETOR**

O gerenciamento de cadeias de suprimentos global é extremamente complexo e vital para as empresas multinacionais farmacêuticas. O setor enfrenta uma profunda mudança principalmente em razão da acirrada competição de mercado, do risco pelo fim de patentes, do aumento dos custos de P&D, da redução dos canais de produtos e dos rígidos protocolos

regulatórios que estão obrigando as empresas farmacêuticas a modificar suas operações (SUSARLA; KARIMI, 2012).

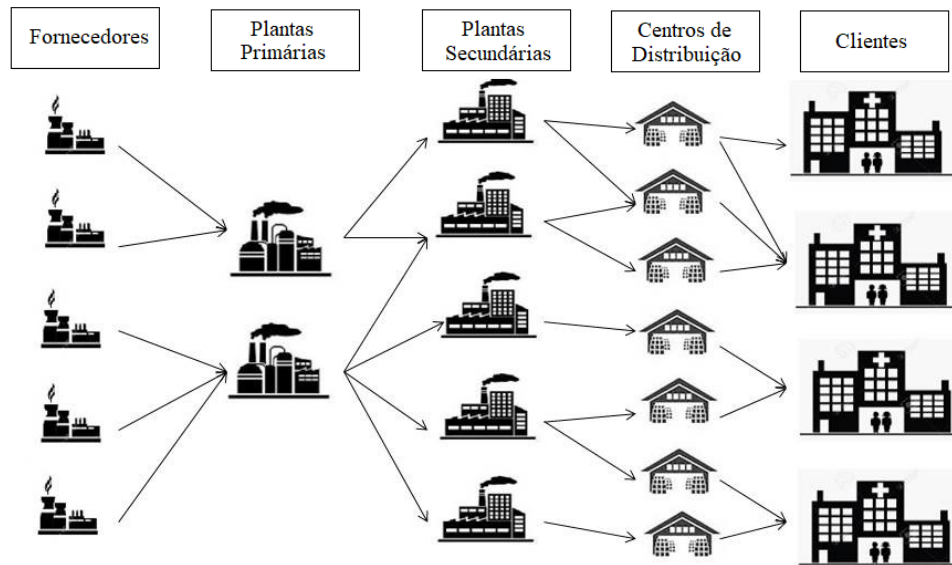
Uma cadeia de suprimentos (*supply chain* – SC) pode ser definida como um processo integrado em que uma série de várias organizações empresariais, tais como: fornecedores, fabricantes, distribuidores, varejistas, dentre outros, que trabalham conjuntamente em um esforço visando adquirir matérias-primas, converter essas matérias-primas em produtos finais especificados e entregar esses produtos finais aos varejistas ou clientes finais. Essa cadeia é caracterizada por um fluxo de materiais para frente e informações para trás (BEAMON, 1998).

As empresas buscam gerenciar suas cadeias de suprimentos visando melhorar seu desempenho, diminuindo os custos e aumentando os lucros. Diante disso, conceitua-se gerenciamento das cadeias de suprimentos, conhecido na língua inglesa como *supply chain management* (SCM), como o processo de planejar, implementar e controlar as operações da cadeia de suprimentos de forma eficiente. Esse gerenciamento abrange todos os movimentos e armazenamentos de matérias-primas, estoque em processo e produtos acabados do ponto de origem ao ponto de consumo. Parte dos processos de planejamento das redes de produção consiste em encontrar a melhor configuração física possível da cadeia de suprimentos (MELO; NICKEL; SALDANHA-DA-GAMA, 2009).

As configurações físicas das cadeias tipicamente incluem decisões estratégicas que impactam diretamente nas decisões táticas e operacionais das empresas (SAVADKOOHI; MOUSAZADEH; TORABI, 2018). Essas decisões estratégicas incluem decisões sobre número, localização e espaços de armazéns, centros de distribuição e fábricas, bem como o fluxo de materiais dentro da rede logística (MELO; NICKEL; SALDANHA-DA-GAMA, 2009).

Podemos caracterizar as cadeias de suprimentos na indústria farmacêutica em duas principais etapas de fabricação: as plantas primárias e as plantas secundárias. As plantas primárias são responsáveis pela produção dos princípios ativos (PA) que serão utilizados na fabricação dos medicamentos. As plantas secundárias são responsáveis pela formulação e embalagem desses medicamentos (SOUSA; SHAH; PAPAGEORGIU, 2008). A Figura 7 apresenta uma típica cadeia de suprimentos de uma empresa farmacêutica. Por meio da figura, pode-se observar que a cadeia de suprimentos envolve funções como fornecimento de matérias-primas, plantas primárias, plantas secundárias, centros de distribuição e clientes.

Figura 7 – Típica cadeia de suprimentos de uma indústria farmacêutica



Fonte: Adaptado de Susarla e Karimi (2012).

No ambiente global, tal configuração requer transferências constantes de materiais, tais como: matérias-primas, produtos semiacabados e acabados, embalagens, dentre outros, entre as diferentes localidades. Essas transferências de materiais não envolvem apenas tempo e custos operacionais normais, mas também uma lista de procedimentos e custos administrativos e de atendimento a aspectos regulatórios que variam de um país para outro. Podemos citar como custos: direitos de importação e impostos corporativos a serem pagos as autoridades governamentais locais, preços de transferência para fluxos de matérias entre os locais da rede, dentre outros. Diante disso, uma vez que os impostos e taxas (importação, exportação, alfandegárias, dentre outras) variam de um país para outro, eles podem ser explorados pelos gestores das indústrias farmacêuticas de forma inteligente a otimizar as receitas líquidas após o pagamento destas taxas e impostos (SUSARLA; KARIMI, 2012).

Nesse contexto, as cadeias de suprimentos globais podem ser definidas como cadeias de suprimentos que se estendem além dos limites de um único país. Nessa configuração, as empresas se distribuem em vários países, podendo localizar as instalações de produção ou de fornecedores por meio de localidades internas ou externas ao país de produção (CANIATO; GOLINI; KALCHSCHMIDT, 2013). Diante disso, a complexidade aumenta, envolvendo diferentes fatores como aumento da distância entre as camadas da cadeia, variações em

regulamentações dos países, diferentes ambientes políticos, aumento no risco das operações e diferenças culturais entre agentes os membros da cadeia que podem estar localizados em diferentes países e regiões (AYDIN; CATTANI; DRUEHL, 2014). Nesse contexto, o gerenciamento de cadeias de suprimentos globais torna-se mais desafiador, pois estas são compostas por diferentes organizações, dispersas em várias camadas e localidades geográficas ao redor do globo (CHOI; HONG, 2002).

Em uma perspectiva estratégica, a configuração de uma cadeia de suprimento global compreende algumas decisões relativas ao número e localização das instalações, a quantidade de capacidade em cada instalação, a atribuição de cada região de mercado a um ou mais locais e a seleção de componentes e materiais disponíveis para a produção. Ademais, a cadeia de suprimento global inclui os fatores especiais da globalização que isso envolve (MEIXELL; GARGEYA, 2005).

## 2.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O primeiro objetivo desse capítulo foi contextualizar o setor farmacêutico apresentando sua importância econômica, características, estrutura e tendências. Observa-se que o setor é baseado na ciência e na inovação, principalmente por meio de investimentos em P&D. Por meio dos dados apresentados no capítulo, os custos com P&D estão aumentando com o passar dos anos. Entretanto, há uma maior dificuldade no desenvolvimento de novos produtos. Por ser um mercado extremamente competitivo, a disputa se dá por meio da descoberta de novos medicamentos, que exigem grandes investimentos financeiros em P&D. Ainda, o setor apresenta uma estrutura oligopolista, onde as grandes indústrias farmacêuticas (*Big Pharma*) detêm a maior parte do *market share* do mercado. Essas grandes indústrias apresentam características globais, atuando em diferentes partes do mundo, sendo assim mais vulneráveis às perturbações do mercado. Nesse contexto, o gerenciamento das cadeias de suprimentos torna-se fundamental a essas indústrias, pois permitem planejar, implementar e controlar de forma eficiente as suas cadeias.

Outro objetivo do capítulo foi compreender a configuração física da cadeia de suprimentos e sua relação com o desempenho operacional das empresas. A literatura mostra que nos últimos anos, as mudanças no setor impactaram a gestão operacional das companhias.



Diante disso, as configurações físicas das cadeias, decisões do nível estratégico, impactam diretamente nas decisões táticas e operacionais das empresas. Num ambiente globalizado, questões adicionais interferem na eficiência da cadeia, sendo necessária uma maior atenção pelos gestores das indústrias no tocante as particularidades do gerenciamento global.

### 3 REVISÃO DOS MODELOS DA LITERATURA

Este capítulo aborda os modelos de otimização presentes na literatura de cadeias de suprimentos globais. O objetivo é destacar as principais contribuições na literatura de modelos de otimização para cadeias de suprimentos globais, especificamente os modelos para problemas relacionados à indústria farmacêutica, bem como os trabalhos que incorporam aspectos financeiros no planejamento das cadeias de suprimentos. Para atingir esse objetivo, os trabalhos foram pesquisados nas seguintes bases: *Google Scholar*, *Scopus* e *Web of Science*. Essas bases foram selecionadas em razão da abrangência de artigos em termos internacionais. Inicialmente, são apresentados os trabalhos que incorporam algum aspecto de análise financeira nos modelos. Após, são destacados os modelos relacionados a indústria farmacêutica e os modelos para cadeias globais de medicamentos. Por fim, uma conclusão do capítulo é apresentada.

#### 3.1 MODELOS QUE INCORPORAM MÉTODOS FINANCEIROS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Nesta seção foi utilizada a seguinte expressão de busca nas bases: ("supply chain" OR "global supply chain" OR "global supply chain network" OR "global supply chain network design") AND ("optimization" OR "programming") AND ("financial methods" OR "financial analysis" OR "finance" OR "NPV" OR "IRR" OR "ROI" OR "ROE" OR "EVA"). Ao realizar essa busca, pretende-se selecionar os artigos que compreendam o estudo de cadeias de suprimentos, tanto regionais e globais, e a incorporação de algum método de análise financeira.

Laínes *et al.* (2009) desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) com objetivo de maximizar o valor presente líquido (VPL) como métrica de desempenho principal numa estrutura flexível. Os autores avaliam o modelo por meio de exemplos ilustrativos de complexidade crescente, comparando os resultados das abordagens rígidas tradicionais e aqueles oferecidos pela estrutura flexível.

O trabalho de Nobil e Taleizadeh (2016) apresenta um modelo de planejamento integrado de estoque-produção-distribuição para maximizar o valor presente líquido (VPL) dos fluxos de caixa para a cadeia de suprimentos fechada (CLSC), incluindo vários fornecedores, várias fábricas e alguns clientes num ambiente com dados *fuzzy*.

Farahani e Rahmani (2017) propõem um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) para maximizar o valor presente líquido (VPL) de uma rede de petróleo bruto. O modelo inclui o planejamento de produção e distribuição, considerando as localizações e alocações das instalações.

O trabalho de Ogumerem *et al.* (2018) apresenta uma formulação de otimização linear multiobjetiva mista para analisar uma cadeia de suprimentos de hidrogênio. Os objetivos do problema de otimização são a maximização do Valor Presente Líquido (VPL) e a minimização das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Kostin *et al.* (2018) desenvolvem um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) para maximizar o valor presente líquido (NPV) das cadeias produtivas brasileiras de etanol. O modelo dos autores visa propor a configuração ótima de uma cadeia de etanol, considerando as localizações das instalações de produção e armazenamento, a tecnologia selecionada para a fabricação e armazenamento de materiais e os fluxos de todas as matérias-primas e produtos finais envolvidos na cadeia.

Nobil, Jalali e Niaki (2018) incorporam decisões de capital e investimento no planejamento de uma cadeia de suprimentos regional, determinando a localização das plantas e centros de distribuição. O artigo apresenta um modelo de programação linear inteira mista (PLIM), biobjetivo, para o problema de localização/alocação em uma cadeia de suprimentos, constituída por fornecedores, plantas e centros de distribuição. Assim, decisões de investimentos em instalações, localização de plantas e fluxo de mercadorias dos fornecedores às plantas e das plantas aos centros de distribuição são determinados de modo a maximizar o valor presente líquido (VPL) da empresa.

Aggarwal e Singh (2019) formulam um modelo de otimização multi-objetivo para encontrar uma solução para a maximização do valor presente líquido (VPL) e a minimização do custo total para uma empresa de manufatura incorporando o efeito de prestadores de serviços de logística terceirizados em um cenário com demanda incerta.

Por fim, o trabalho de Polo *et al.* (2019) apresenta um modelo de Programação Não Linear Inteira Mista (PNLIM) que incorpora medidas de riscos financeiros no projeto robusto de uma cadeia de suprimentos, considerando a incerteza da demanda dos produtos finais. Diferentemente dos outros trabalhos da literatura, o objetivo do modelo é maximizar o valor econômico agregado (EVA).

### 3.2 MODELOS PARA CADEIAS DE MEDICAMENTOS

Nesta seção foi utilizada a seguinte expressão de busca nas bases: ("supply chain" OR "global supply chain" OR "global supply chain network" OR "global supply chain network design") AND ("optimization" OR "programming") AND ("pharmaceutical" OR "pharma" OR "pharmaceutical industry" OR "pharma industry" OR "pharmaceutical industries" OR "pharma industries"). Ao realizar essa busca, pretende-se selecionar os artigos que compreendam o estudo de cadeias de suprimentos do setor farmacêutico, tanto regionais e globais, e o desenvolvimento de modelos de otimização nesse contexto. Foram identificados alguns trabalhos sobre cadeias de suprimentos das indústrias farmacêuticas num contexto regional. O trabalho de Papageorgiou, Rotstein e Shah (2001) desenvolveu um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) que leva em consideração as características particulares da fabricação dos princípios ativos farmacêuticos e as estruturas de comércio.

Uthayakumar e Priyan (2013) desenvolveram um modelo para o gerenciamento de estoque para instalações de saúde, empresas farmacêuticas e hospitais. Os autores utilizaram de multiplicadores de Lagrange para determinar o tamanho ideal do lote, o prazo de entrega e o número total de entregas de uma empresa farmacêutica.

O trabalho de Mousazadeh, Torabi e Zahiri (2015) apresenta um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) visando decisões estratégicas de uma empresa farmacêutica, como abertura de plantas de fabricação e centros de distribuição.

Martins *et al.* (2017) propõem uma abordagem de otimização/simulação para resolver o problema de redesenho de uma rede de atacadistas de medicamentos. Num primeiro momento, em um nível estratégico-tático, um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) é utilizado para definir o número, localização, função e capacidade dos armazéns, a atribuição dos clientes aos armazéns e a capacidade e função dos canais de distribuição. Após, em um nível operacional, os autores utilizam da simulação de eventos discretos para avaliar o impacto da redefinição nas atividades diárias.

Zahiri, Jula e Tavakkoli-Moghaddam (2018) desenvolveram um modelo para o projeto de desenho de uma cadeia de suprimentos farmacêutica. Os autores buscaram minimizar o custo total da cadeia e minimizar a demanda máxima não atendida. O modelo foi testado num estudo de caso.

Savadkoohi *et al.* (2018) desenvolveram um modelo de localização para o problema de projeto de uma rede farmacêutica constituída por três camadas. O problema abordado pelos autores envolve decisões estratégicas e táticas, tais como: abertura de fábricas e centros de distribuição, fluxos de materiais na rede e a política de estoque ideal levando em consideração a perecibilidade dos produtos. A fim de verificar e analisar o modelo proposto, os autores testaram o modelo em um estudo de caso real. Ademais, os autores realizaram várias análises de sensibilidade para verificar o efeito da mudança em alguns parâmetros.

O trabalho de Singh e Goh (2019) apresenta um modelo multiobjetivo que integra vários objetivos conflitantes. Os autores deram importância à imprecisão de alguns dos fatores críticos utilizados na modelagem que podem influenciar na eficácia do modelo. A incerteza e a hesitação decorrentes da estimativa de tais parâmetros imprecisos foram representados por números *fuzzy*. O método de solução é aplicado a vários problemas de teste e um modelo de gerenciamento da cadeia de suprimentos farmacêuticos multiobjetivo com dados aleatórios autogerados é proposto pelos autores.

Abdulghani, Bermamet e Altarazi (2019) apresentam um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) que visa otimizar os custos de estoque e transporte de vários medicamentos em três camadas: farmácia hospitalar, armazém e fabricante. Um sistema de revisão contínua de estoque é adotado para atender à natureza rápida da cadeia de suprimentos farmacêutica. Ademais, o modelo proposto pelos autores decide as quantidades a serem pedidas de cada medicamento em cada camada, além da seleção de armazéns e fabricantes que melhor reduziriam o custo total da cadeia de suprimentos.

O trabalho de Taleizadeh, Haji-Sami e Noori-daryan (2020) estudou o efeito da incerteza usando a otimização robusta em itens de medicamentos, visando maximizar o lucro de uma cadeia de suprimentos reversa. Os autores testaram o modelo com um exemplo numérico.

### **3.3 MODELOS PARA CADEIAS GLOBAIS DE MEDICAMENTOS**

Especificamente em relação a modelos para o planejamento de cadeias de suprimentos globais do setor farmacêutico, foram encontrados três trabalhos na literatura: Sousa, Shah e Papageorgiou (2005), Susarla e Karimi (2012) e Sousa *et al.* (2011).

O problema abordado por Sousa, Shah e Papageorgiou (2005) envolve as instalações primárias, e seus respectivos armazéns, instalações secundárias, e seus respectivos armazéns, e as áreas dos mercados finais. O escopo do trabalho envolve a rede de distribuição em cada área dos mercados. Cada instalação primária pode enviar os princípios ativos para qualquer instalação secundária localizada em diferentes partes do mundo. São consideradas cinco áreas geográficas para instalações secundárias e mercados finais. Cada área geográfica consome algumas famílias de produtos, mas não todas, do portfólio da empresa e uma única política de fornecimento é seguida, ou seja, cada produto (primário e secundário) só pode ser produzido em um, e apenas um, local em cada período. O modelo dos autores pressupõe uma alocação inicial de produtos. Devido a vários eventos, como crescimento orgânico ou fusões e aquisições (F&A), o modelo permite que a atribuição de produtos mude entre diferentes períodos de tempo (transferência de alocação).

A função objetivo do modelo proposto por Sousa, Shah e Papageorgiou (2005) maximiza o lucro. A receita é oriunda das vendas realizadas dos produtos nos mercados finais. Os custos incluem a produção nas instalações primárias e secundárias, armazenamento e transporte, bem como os custos de impostos nas diferentes localidades. O modelo e os métodos de solução propostos foram testados com dois exemplos ilustrativos. Os autores focam as análises e conclusões no desempenho computacional dos métodos de solução.

Outro trabalho que abordou o problema de planejamento de uma cadeia de suprimentos de uma empresa farmacêutica foi Susarla e Karimi (2012). Os autores desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) para o planejamento de aquisição, produção e distribuição, considerando os efeitos dos diferentes impostos internacionais, custos de manutenção de estoque, prazos de validade dos materiais, tratamento-descarte de resíduos e outros fatores. O problema estudado pelos autores envolve funções como fornecimento de matérias-primas, fabricação nas instalações primárias, fabricação nas instalações secundárias, armazenamento e distribuição dos medicamentos, visando a minimização dos custos totais. Ademais, o problema incorpora decisões táticas e operacionais, tais como tempos de *setup* e alocação das linhas de produção. O modelo foi testado com dois exemplos ilustrativos usando um algoritmo de programação linear inteira mista (PLIM). Os autores focam suas análises no desempenho computacional dos modelos e concluem que o trabalho tem potencial para servir como ferramenta de apoio à decisão para o planejamento de longo prazo das empresas farmacêuticas.

O trabalho de Sousa *et al.* (2011) apresenta características que se assemelham ao estudo proposto nesta dissertação. Os autores abordam o problema de planejamento e alocação que otimiza o desenho da cadeia de suprimentos global de uma empresa farmacêutica, desde os estágios de produção em instalações primárias e secundárias até a distribuição de produtos aos mercados. O modelo proposto para representar o problema explora diferentes custos de produção e distribuição e taxas de impostos em diferentes locais, a fim de maximizar o valor do lucro líquido da empresa.

A cadeia de suprimentos abordada pelos autores compreende as instalações primárias, e suas respectivas instalações de armazenamento, instalações secundárias, e seus respectivos armazéns, e as áreas geográficas dos mercados finais. Cada instalação primária pode fornecer princípios ativos para qualquer das instalações secundárias. Uma vez que os custos de transporte são muito significativos nas extremidades da cadeia de suprimentos, os fluxos de materiais entre duas áreas geográficas diferentes não foram permitidos. Dentro de cada área geográfica, os autores definiram que cada produto (primário e secundário) deve ser produzido em apenas um local em cada período, sendo que as atribuições de produto e local podem mudar entre períodos, ou seja, pode ocorrer um número limitado de transferências.

Para testar o modelo proposto, Sousa *et al.* (2011) utilizaram de dois exemplos baseados em processos industriais. Foram desenvolvidos dois algoritmos de decomposição para resolver o modelo. No primeiro método, a cadeia de suprimentos é decomposta em subproblemas primários e secundários independentes, e cada um deles é otimizado separadamente. O segundo algoritmo é uma decomposição temporal, onde o problema principal é separado em vários subproblemas independentes, um para cada período.

Por fim, os autores concluem que o método de decomposição temporal funciona bem com os conjuntos de dados do artigo, embora a qualidade dos resultados possa ser ruim em outros casos. No entanto, os autores afirmam que o modelo abre novas possibilidades para explorar instâncias ainda maiores do problema, como sua versão estocástica, onde a demanda e outros parâmetros podem ser incertos.

### 3.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O objetivo do capítulo foi detalhar os trabalhos da literatura que incluem aspectos financeiros no planejamento de cadeias de suprimentos e os trabalhos da literatura que tratam sobre o planejamento de cadeias de suprimentos na indústria farmacêutica. Verificou-se que os modelos que incorporam alguma técnica financeira são restritos a cadeias de suprimentos regionais. Ainda, no planejamento dessas cadeias a técnica mais utilizada é o valor presente líquido (VPL), onde apenas um trabalho na literatura buscou maximizar o valor econômico agregado (EVA) (Polo *et al.*, 2019). Ainda, observou-se que os modelos foram testados em diferentes setores, com a predominância das aplicações em setores de energia. Por fim, nenhum desses trabalhos citados que incorporaram algum método ou técnica financeira estão relacionados ao setor farmacêutico.

Em relação aos trabalhos da indústria farmacêutica, observou-se que a maior parte são referentes a cadeias regionais. A maioria desses trabalhos busca a minimização dos custos. No ambiente global, foram identificados três trabalhos de destaque na literatura: Sousa, Shah e Papageorgiou (2005), Susarla e Karimi (2012) e Sousa *et al.* (2011). Os problemas abordados pelos autores são diferentes, envolvendo características particulares das cadeias de suprimentos globais consideradas em cada problema. Desta forma, o problema abordado no trabalho de Sousa *et al.* (2011) foi o que apresentou características mais próximas a essa dissertação, diferenciando-se pela inclusão da decisão das plantas primárias. Entretanto, verificou-se que em nenhum desses trabalhos foi incorporado algum método ou técnica específica de finanças nos modelos matemáticos desenvolvidos pelos autores.

A Tabela 2 apresenta uma síntese das características mais representativas dos trabalhos citados nesta revisão da literatura. Desta forma, são destacados o tipo de modelo, os objetivos, o horizonte de planejamento (único ou múltiplos períodos), o método financeiro, a estrutura geográfica (regional ou global) e os setores de aplicação dos modelos.



Tabela 2 - Características dos Modelos da Revisão

<b>Autores</b>	<b>Tipo de Modelo</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Método Financeiro</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Horizonte de Planejamento</b>	<b>Setor de Aplicação</b>
Láines <i>et al.</i> (2009)	PLIM	Max VPL	VPL	Regional	Múltiplos	-
Nobil e Taleizadeh (2016)	PL	Max VPL	VPL	Regional	Múltiplos	-
Farahani e Rahmani (2017)	PLIM	Max VPL	VPL	Regional	Múltiplos	Energia (Petróleo)
Ogumerem <i>et al.</i> (2018)	PLIM	Max VPL e Min Emissão	VPL	Regional	Múltiplos	Energia (Hidrogênio)
Kostin <i>et al.</i> (2018)	PLIM	Max VPL	VPL	Regional	Múltiplos	Energia (Etanol)
Nobil, Jalali e Niaki (2018)	PLIM	Max VPL e Max Fluxo	VPL	Regional	Múltiplos	Energia (Biocombustível)
Aggarwal e Singh (2019)	PNLIM	Max VPL e Min Custos	VPL	Regional	Múltiplos	Logística (Terceirizada)
Polo <i>et al.</i> (2019)	PNLIM	Max EVA	EVA	Regional	Múltiplos	Eletrônicos
Papageorgiou, Rotstein e Shah (2001)	PLIM	Max Lucro	-	Regional	Múltiplos	Farmacêutico
Uthayakumar e Priyan (2013)	PNL	Min Custos	-	Regional	Múltiplos	Farmacêutico
Mousazadeh, Torabi e Zahirí (2015)	PLIM	Min Custos	-	Regional	Múltiplos	Farmacêutico
Martins <i>et al.</i> (2017)	PLIM	Min Custos	-	Regional	Múltiplos	Farmacêutico
Zahirí, Jula e Tavakkoli-Moghaddam (2018)	PLIM	Min Custos e Min Demanda não atendida	-	Regional	Múltiplos	Farmacêutico
Savadkoohi <i>et al.</i> (2018)	PNLIM	Min Custos	-	Regional	Múltiplos	Farmacêutico
Singh e Goh (2019)	PLIM	Min Custos e Max Atendimento	-	Regional	Múltiplos	Farmacêutico
Abdulghani, Bermamet e Altarazi (2019)	PLIM	Min Custos	-	Regional	Único	Farmacêutico
Taleizadeh, Haji-Sami e Noori-daryan (2020)	PNL	Max Lucro	-	Regional	Único	Farmacêutico
Sousa, Shah e Papageorgiou (2005)	PLIM	Max Lucro	-	Global	Múltiplos	Farmacêutico
Susarla e Karimi (2012)	PLIM	Min Custos	-	Global	Múltiplos	Farmacêutico
Sousa <i>et al.</i> (2011)	PLIM	Max Lucro	-	Global	Múltiplos	Farmacêutico

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4 DESCRIÇÃO E MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA

Neste capítulo são apresentadas as características do problema abordado neste trabalho, destacando as particularidades dos aspectos financeiros no planejamento das cadeias de suprimentos globais do setor farmacêutico estudado nesta dissertação. Assim, há uma descrição dos métodos financeiros abordados no problema, especificamente o fluxo de caixa, o valor presente líquido (VPL), o custo médio ponderado de capital (WACC), o retorno sobre o patrimônio líquido (ROE), o retorno sobre os investimentos (ROI) e o índice de lucratividade (IL). Por fim, é apresentada a notação matemática utilizada na modelagem do problema.

### 4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O problema abordado neste trabalho é motivado pelo planejamento da rede de suprimentos de medicamentos. O foco são as empresas de grande porte, multinacionais voltadas para pesquisa e desenvolvimento (P&D), especificamente aquelas envolvidas na produção de imunizantes para o vírus Sars-CoV-2. O problema estudado consiste num único produto, ou seja, no caso as vacinas. Para a produção das vacinas, é considerada a quantidade disponível de princípio ativo (PA) provenientes das plantas primárias. Ademais, o problema é multiperíodo, tendo a produção de vacinas custos diferentes em cada localidade. Assim, os valores da produção e do transporte variam conforme os produtos são alocados nas plantas e CDs. Ainda no problema, é considerada a inflação nos custos e despesas das plantas e CDs.

A cadeia de suprimentos global considerada é constituída por três camadas: (i) plantas industriais (plantas secundárias); (ii) centros de distribuição (CDs) e; (iii) mercados finais (clientes). No problema estudado são consideradas como decisões: (i) a possibilidade de abertura e localização de plantas secundárias e CDs para o atendimento da demanda dos mercados finais; (ii) a quantidade a ser produzida de vacinas nas instalações secundárias; (iii) o fluxo dos produtos das plantas secundárias para os CDs e dos CDs para os clientes finais; (iv) o montante de capital próprio e de terceiros utilizados nos investimentos e; (v) a possibilidade de alocar o capital próprio para investimento no mercado financeiro.

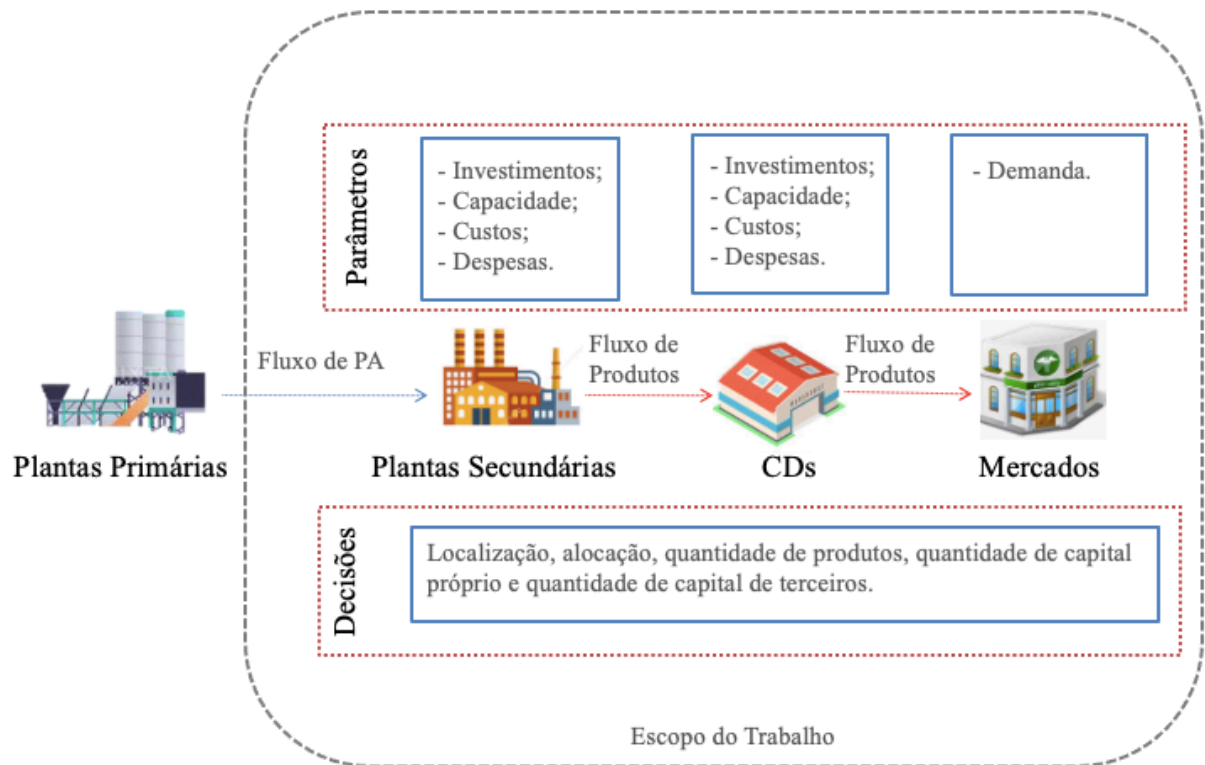
No problema considerado, as empresas do setor possuem a capacidade de abrir plantas industriais e centros de distribuição (CDs) em diferentes países para a produção e distribuição das vacinas. Em cada país há um valor diferente de investimento em plantas industriais e CDs. Ademais, as plantas e os CDs têm diferentes custos e despesas em cada localidade. Na prática, os custos variam em cada país e o problema estudado nesta dissertação inclui essa particularidade. Isso ocorre, pois cada país apresenta diferentes infraestruturas, políticas salariais, legislação, taxas (alfandegárias, importação, exportação, dentre outras) e impostos. O problema estudado busca abranger essas características nos parâmetros do modelo. Da mesma forma, há diferentes preços de venda das vacinas para os países. Cada país apresenta um contrato sigiloso com as empresas. Diante disso, no problema são considerados diferentes preços que foram baseados em dados coletados por meio de informações divulgadas pela BBC (2021).

Ainda, há a possibilidade da utilização de CDs terceirizados pelas empresas. Nesses CDs terceirizados são contabilizados apenas os custos fixos e variáveis, não havendo investimentos e despesas nessas instalações. Isso ocorre pois financeiramente nessas instalações não há dispêndio de capital para a abertura dos CDs, como também não há gastos com despesas. Ainda, os custos de transporte também são considerados no problema, levando em conta os fluxos das vacinas das plantas aos CDs e dos CDs aos mercados. No problema foi considerado apenas o envio das vacinas ao país (única entrada), não sendo considerada a logística interna de distribuição dos países aos cidadãos. Ainda, no problema não é possível estocar em razão da perecibilidade das vacinas.

Outra característica do problema é a inflação dos países ser incorporada nos parâmetros dos custos e despesas das plantas e CDs. A inflação mede o aumento dos preços dentro de uma economia. Diante disso, neste problema são utilizadas projeções do *GDP Deflator* (Deflator do PIB), que consiste em uma medida prevista do nível de preços dos bens e serviços de um país num futuro próximo.

Nesse contexto, a produção de vacinas é considerada numa perspectiva de avaliação de projetos de investimento em novas plantas, verificando se os investimentos realizados na produção são vantajosos financeiramente por meio do cálculo do valor presente líquido (VPL) dos fluxos de caixa dos períodos. A Figura 8 apresenta a cadeia de suprimentos considerada nesta dissertação.

Figura 8 - Cadeia de suprimentos considerada neste estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

O objetivo do valor presente líquido (VPL) é verificar a viabilidade financeira de um projeto de investimento, sendo um método muito utilizado na prática. Ele permite calcular se as quantias recebidas no futuro valem menos do que no presente. O VPL é calculado pela diferença entre o valor presente dos benefícios líquidos de caixa (fluxos de caixa), previstos para cada período do horizonte de duração do projeto, e o valor presente do investimento realizado, ou seja, o desembolso de caixa (ASSAF NETO, 2010). Por meio dessa definição, para realizar o cálculo do VPL, é necessário conhecer os fluxos de caixa anuais do projeto de investimento. Diante disso, a Tabela 3 detalha a forma pelo qual o fluxo de caixa será calculado nesta dissertação.

Tabela 3 - Fluxo de caixa

<b>Cálculo do fluxo de caixa da cadeia de suprimentos global</b>
(+) Receitas de vendas
(-) Custos totais (fixos, variáveis e de transporte)
(-) Despesas totais
(-) Impostos pagos
(-) Despesas financeiras
(-) Investimentos em plantas e centros de distribuição
<b>(=) Fluxo de caixa no período</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

As receitas de vendas são oriundas das vacinas transportadas dos CDs aos clientes. Os custos totais são constituídos pelos: (i) custos fixos das plantas e CDs, (ii) custos variáveis de produção e (iii) custos de transporte. Os custos fixos constituem os custos que independem da variação do volume de produção. Como exemplos de custos fixos têm-se salários, manutenção, segurança, contratação de serviços terceirizados, dentre outros. Os custos variáveis são aqueles relacionados com a produção, ou seja, variam conforme o volume de produção. Como exemplos de custos variáveis têm-se custos de matéria-prima (como princípios ativos de medicamentos), embalagens, salários, impostos, dentre outros. Os custos de transporte relacionam-se com os custos de movimentar os produtos das plantas aos CDs e dos CDs aos mercados finais. As despesas totais são formadas pela soma entre as despesas das plantas e as despesas dos CDs. As despesas constituem os gastos para o funcionamento da planta, por exemplo: materiais de consumo, energia, salários administrativos, dentre outros. As despesas financeiras são constituídas pelos pagamentos de empréstimos e financiamentos realizados pela empresa utilizados para os investimentos. Os investimentos em plantas e CDs constituem-se no montante necessário para iniciar a operação, como por exemplo, custos de construção, aquisição de maquinários, equipamentos, dentre outros.

Ainda, é considerado no problema os investimentos necessários em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para a elaboração das vacinas. Assim, esses investimentos são contabilizados no primeiro ano do horizonte de planejamento, não sendo considerados novos aportes financeiros nos anos subsequentes.

A partir do fluxo de caixa, o valor presente líquido é calculado conforme a Equação 1.1.

$$VPL = \left[ \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1 + WACC)^t} \right] - \left[ I_o + \sum_{t=1}^T \frac{I_t}{(1 + WACC)^t} \right] \quad (1)$$

onde:

$FC_t$	Fluxo de caixa de cada período $t$
$WACC$	Custo médio ponderado de capital
$I_o$	Investimento processado no momento zero
$I_t$	Investimento previsto em cada período $t$
$T$	Horizonte de tempo considerado

O custo médio ponderado de capital (WACC) apresentado na Equação 1 é a taxa pelo qual os fluxos de caixa devem ser descontados para trazer a valor presente. O WACC mede a remuneração sobre o capital investido em uma determinada companhia (FERNÁNDEZ, 2010). O seu cálculo é apresentado na Equação 2. Em nosso problema, o WACC será considerado um parâmetro, sendo utilizado para trazer a valor presente os fluxos de caixa dos períodos.

$$WACC = \left( \frac{E}{E + D} \right) \cdot Re + \left( \frac{D}{E + D} \right) \cdot Rd \cdot (1 - i) \quad (2)$$

onde:

$E$	Valor do patrimônio líquido da empresa
$D$	Valor da dívida da empresa
$Re$	Custo de capital próprio (acionistas da empresa)
$Rd$	Custo de capital de terceiros (dívida)
$i$	Taxa de imposto

Ainda, no problema assume-se a possibilidade de optar por usar capital próprio ou capital de terceiros para investimento em plantas de produção e de armazenagem. Diante disso, o capital utilizado para iniciar as operações pode ser proveniente de empréstimos e financiamentos. Assim, a empresa deve pagar juros, além do montante principal. Já o uso do

capital próprio implica em considerar a rentabilidade do investimento nas plantas frente ao investimento no mercado financeiro, representado por um produto financeiro com uma taxa de rendimento anual líquida, permitindo assim verificar a taxa mínima de atratividade (TMA) da produção de vacinas. Diante disso, no problema será considerado como alternativa à produção de medicamentos, o investimento no título público de 10 anos dos Estados Unidos da América (EUA), com taxa previamente conhecida.

Após os resultados do modelo, uma análise financeira será realizada para verificar a viabilidade dos investimentos. Diante disso, três métodos financeiros serão efetuados: o retorno sobre o patrimônio líquido (ROE), o retorno sobre os investimentos (ROI) e o índice de lucratividade (IL). O ROE é um indicador de quanto uma empresa gera de valor a partir dos seus recursos próprios, ou seja, do capital próprio. O ROI é um método que avalia o retorno que uma empresa gera em relação aos investimentos, ou seja, do capital próprio e de terceiros. O IL é uma variante do VPL, sendo determinado pela divisão do valor presente dos benefícios líquidos de caixa pelo valor presente dos dispêndios (desembolsos de caixa) (ASSAF NETO, 2010). As Equações 3, 4 e 5 apresentam os cálculos do ROE, ROI e IL, respectivamente.

$$ROE = \frac{\text{Lucro Líquido}}{\text{Patrimônio Líquido}} \times 100 \quad (3)$$

$$ROI = \frac{\text{Lucro Operacional}}{\text{Investimento Médio}} \times 100 \quad (4)$$

$$IL = \frac{\text{Valor presente dos benefícios líquidos de caixa}}{\text{Valor presente dos desembolsos de caixa}} \quad (5)$$

No problema estudado, o cálculo do ROE será realizado considerando o lucro líquido como o resultado do fluxo de caixa. Da mesma forma, o ROI será calculado considerando o lucro operacional como o resultado do fluxo de caixa. Isso ocorre, pois para calcular esses lucros, é necessária a demonstração de resultados (DRE). Diante disso, considerando que os lucros serão provenientes apenas pelos resultados provenientes desse estudo, optou-se por considerar o fluxo de caixa nesses cálculos.

Cabe ressaltar que uma técnica muito utilizada na análise de investimentos consiste na taxa interna de retorno (TIR). A TIR representa a taxa de desconto que, quando aplicada a uma série de fluxos de caixa, gera um resultado igual ao valor presente da operação (ASSAF NETO, 2010). Diante da formulação do modelo descrita na próxima seção levar em consideração os resultados do VPL pelo somatório direto pelo modelo dos fluxos de caixa descontados, a TIR não foi considerada na análise financeira.

Por fim, alguns pressupostos são destacados:

- A demanda dos mercados pode não ser totalmente atendida pela empresa. Ou seja, o atendimento da demanda vai depender da viabilidade financeira frente à atratividade do investimento;
- Uma planta pode fornecer vacina para mais de um CD, permitindo haver diferentes fluxos de produtos em cada período. Ainda, há um lote mínimo nos CDs em cada período;
- Os mercados consumidores são considerados como os países que demandam os produtos, não incluindo a distribuição interna em cada país;
- O investimento em plantas e CDs pode ser composto por capital próprio e/ou capital de terceiros, sendo que ambos são limitados à disponibilidade de caixa, no caso de capital próprio, e ao limite de crédito disponibilizado para empréstimos no caso de capital de terceiros;
- Para considerar a taxa mínima de atratividade financeira da produção de vacinas, o capital próprio pode ser investido integralmente ou parcialmente no mercado financeiro, uma vez que o objetivo é maximizar o fluxo de caixa total ao final do horizonte de planejamento;
- O investimento de capital próprio no mercado financeiro implica em uma receita financeira. O coeficiente desta receita financeira ( $c^\beta$ ) é calculado utilizando o valor futuro (FV):  $c^\beta = (1 + \beta)^T$ , onde  $\beta$  corresponde a taxa de retorno dos títulos públicos americanos de 10 anos;
- A utilização de capital de terceiros implica em despesas financeiras calculadas usando o coeficiente ( $c^\alpha$ ) que possibilita o cálculo das prestações dos empréstimos considerando as taxas com juros compostos:  $c^\alpha = \frac{\alpha}{1 - (1 + \alpha)^{-T}}$ , onde  $\alpha$  corresponde a taxa de empréstimos praticada pelo mercado para empresas farmacêuticas. Assim, ao utilizar capital de terceiros, por



meio do pagamento das prestações periódicas iguais, o sistema utilizado de amortização foi o Sistema *Price* ou Frânces;

- A alíquota de impostos para produção é considerada de acordo com os países das plantas candidatas, representando a alíquota de imposto marginal corporativo de cada país;
- No fluxo de caixa não são consideradas a depreciação de máquinas e equipamentos. Optou-se por não a incluir pois o horizonte de planejamento deste problema é de 5 anos, tempo estimado em que será controlada a pandemia, ao contrário dos 10 anos das práticas internacionais de depreciação.

## 4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

Nesta seção é descrito o modelo de programação linear inteira mista (PLIM) para o planejamento da cadeia de suprimentos global da indústria farmacêutica considerando o desempenho financeiro. Para a formulação do modelo matemático, é utilizada a seguinte notação:

### Índices e Conjuntos

$i \in I$	Plantas industriais candidatas
$j \in J$	CDs candidatos
$m \in M$	Mercados (clientes)
$t \in T$	Períodos (tempo)

### Parâmetros

$s_i$	Investimento necessário para abrir a planta $i$ (\$)
$s'_j$	Investimento necessário para abrir o CD $j$ (\$)

$RD$	Investimento em P&D para o desenvolvimento do produto (\$)
$o$	Capital próprio disponível para investimento (\$)
$q$	Quantidade máxima disponível para empréstimo (\$)
$f_{it}$	Custos fixos para operar a planta $i$ no período $t$ (\$)
$f'_{jt}$	Custos fixos para operar o CD $j$ no período $t$ (\$)
$v_{it}$	Custos variáveis de produção da planta $i$ no período $t$ (\$)
$v'_{jt}$	Custos variáveis de armazenagem do CD $j$ no período $t$ (\$)
$e_{it}$	Despesas totais da planta $i$ no período $t$ (\$)
$e'_{jt}$	Despesas totais no CD $j$ no período $t$ (\$)
$d_{mt}$	Demanda do mercado $m$ no período $t$ (por dose)
$k_{ijmt}$	Custos de transporte da planta $i$ para o CD $j$ para o mercado $m$ no período $t$ (\$)
$h_i$	Capacidade de produção da planta $i$ (por dose)
$h'_j$	Capacidade de armazenamento do CD $j$ (por dose)
$Lmin$	Lote mínimo de armazenagem nos CDs
$a$	Quantidade necessária de princípio ativo para produzir uma dose do produto
$u_t$	Quantidade de princípio ativo disponível no período $t$
$\rho_m$	Preço de venda do produto no mercado $m$ (\$ por dose)
$\gamma_i$	Taxa de imposto no país da planta $i$ (%)
$c^\alpha$	Juros compostos do empréstimo (%)
$c^\beta$	Juros compostos de títulos do tesouro dos EUA de 10 anos (%)
$WACC$	Custo médio ponderado de capital das indústrias farmacêuticas (%)

**Variáveis Contínuas**

$NPV$	Valor presente líquido (\$)
$W_{ijmt}$	Quantidade transportada da planta $i$ para o CD $j$ para o mercado $m$ no período $t$ (por dose)
$\delta$	Quantidade de capital próprio investido na produção (\$)
$\theta$	Quantidade de capital próprio investido no mercado financeiro (\$)
$\sigma$	Quantidade de capital de terceiros investido na produção (\$)

**Variáveis Auxiliares**

$CF$	Fluxo de caixa (\$)
$TR_i$	Receitas totais de vendas da planta $i$ (\$)
$FI$	Receitas financeiras (\$)
$PC_i$	Custos totais de produção da planta $i$ (\$)
$DC_j$	Custos totais de distribuição do CD $j$ (\$)
$FE$	Despesas financeiras (\$)
$PE_i$	Despesas de produção da planta $i$ (\$)
$DE_j$	Despesas de distribuição do CD $j$ (\$)
$TC$	Custos de transporte (\$)
$TI$	Investimentos totais (\$)
$TX$	Impostos totais (\$)

### **Variáveis Binárias**

$X_i$	É igual a 1 se a planta $i$ é aberta, 0 caso contrário
$Y_j$	É igual a 1 se o CD $j$ é aberto, 0 caso contrário
$\eta$	É igual a 1 se há investimento em P&D, 0 caso contrário

### **Função Objetivo**

$$Max NPV = CF + FI - TI \quad (6)$$

A função objetivo (6) maximiza o valor presente líquido (VPL) do fluxo de caixa da produção de um novo medicamento e da receita financeira oriunda do mercado financeiro, menos os investimentos em plantas, CDs e/ou investimentos nos títulos financeiros. Assim, o fluxo de caixa é calculado da seguinte forma:

$$CF = \sum_i TR_i - \sum_i PC_i - \sum_i PE_i - \sum_j DC_j - \sum_j DE_j - TC - FE - TX \quad (7)$$

$$FI = c^\beta \cdot \theta \quad (8)$$

$$TI = \sum_i (s_i \cdot X_i) + \sum_j (s'_j \cdot Y_j) + (RD \cdot \eta) + \theta \quad (9)$$

O fluxo de caixa (7) consiste na receita de vendas menos os custos totais, despesas totais, despesas financeiras e impostos pagos. Formulamos o fluxo de caixa com base no fluxo de caixa descontado de Agar (2005). A receita financeira (8) consiste na remuneração total após os períodos caso a empresa opte por aplicar seu capital no mercado financeiro. Ademais, os investimentos totais (9) são o total investido na abertura de plantas, na abertura de CDs, o valor investido no mercado financeiro e o investimento necessário em P&D para o desenvolvimento do produto.

$$TR_i = \sum_j \sum_m \sum_t \frac{(\rho_m \cdot W_{ijmt})}{(1 + WACC)^t} \quad \forall i \quad (10)$$

$$PC_i = \sum_t \frac{(f_{it} \cdot X_i)}{(1 + WACC)^t} + \sum_t \sum_j \sum_m \frac{(v_{it} \cdot W_{ijmt})}{(1 + WACC)^t} \quad \forall i \quad (11)$$

$$PE_i = \sum_t \frac{e_{it} \cdot X_i}{(1 + WACC)^t} \quad \forall i \quad (12)$$

$$DC_j = \sum_t \frac{(f'_{jt} \cdot Y_j)}{(1 + WACC)^t} + \sum_t \sum_i \sum_m \frac{(v'_{jt} \cdot W_{ijmt})}{(1 + WACC)^t} \quad \forall j \quad (13)$$

$$DE_j = \sum_t \frac{e'_{jt} \cdot Y_j}{(1 + WACC)^t} \quad \forall j \quad (14)$$

$$TC = \sum_i \sum_j \sum_m \sum_t \frac{k_{ijmt} \cdot W_{ijmt}}{(1 + WACC)^t} \quad (15)$$

$$FE = \sum_t \frac{c^\alpha \cdot \sigma}{(1 + WACC)^t} \quad (16)$$

$$TX = \sum_i \gamma_i \cdot (TR_i - PC_i - PE_i) \quad (17)$$

No fluxo de caixa da equação 2, a receita de vendas (10) é a multiplicação do preço de venda do produto pela quantidade transportada aos mercados. Os custos de produção (11) consistem nos custos fixos e variáveis de produção das plantas. Os custos de distribuição (13) consistem em custos fixos e variáveis de armazenamento dos CDs. Despesas de produção (12) e despesas de distribuição (14) são constituídas pelas despesas das plantas e pelas despesas dos CDs, respectivamente. Custos de transporte (15) são os custos de transporte do medicamento das plantas para os CDs e dos CDs para os mercados. As despesas financeiras (16) consistem em pagamentos de empréstimos utilizados para investimentos na produção. Por fim, os impostos pagos (17) são formados pela receita de produção menos os custos e despesas multiplicados pela taxa de imposto do país onde o produto foi fabricado.

## Restrições

$$\sum_i (s_i \cdot X_i) + \sum_j (s'_j \cdot Y_j) + (RD \cdot \eta) = \delta + \sigma \quad (18)$$

$$\sum_i X_i \leq |I| \eta \quad (19)$$

$$\delta + \theta = o \quad (20)$$

$$\sigma \leq q \quad (21)$$

$$\sum_j \sum_m W_{ijmt} \leq h_i \cdot X_i \quad \forall i, t \quad (22)$$

$$\sum_i \sum_m W_{ijmt} \leq h'_j \cdot Y_j \quad \forall j, t \quad (23)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_m W_{ijmt} \cdot a \leq u_t \quad \forall t \quad (24)$$

$$\sum_i \sum_j W_{ijmt} \leq d_{mt} \quad \forall m, t \quad (25)$$

$$Lmin \cdot Y_j \leq \sum_i \sum_m W_{ijmt} \quad \forall j, t \quad (26)$$

$$X_i, Y_j, \eta \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \quad (27)$$

$$W_{ijmt}, \delta, \theta, \sigma \geq 0 \quad (28)$$

A restrição (18) limita o investimento em plantas e CDs ao valor do capital investido de capital próprio mais o capital de terceiros. Por meio da restrição (19), uma planta aberta implica no investimento em P&D. A restrição (20) garante que o capital próprio é formado pelo capital próprio investido na produção e pelo capital próprio investido no mercado financeiro. A restrição (21) está relacionada à disponibilidade de empréstimos de capital de terceiros. As restrições (22) e (23) estão relacionadas à capacidade de produção das plantas e armazenamento dos CDs, respectivamente. A restrição (24) limita a produção pela quantidade de princípios ativos disponíveis em cada período. A restrição (25) estabelece que a demanda pode ou não ser

totalmente atendida. A restrição (26) limita uma quantidade mínima a ser armazenada nos CDs em cada período. As restrições (27) e (28) são variáveis de domínio.

## 5 TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados dos testes computacionais realizados com o modelo matemático. Foram utilizadas dois conjuntos de dados, baseados em empresas farmacêuticas que estão operando globalmente na produção de vacinas para o Sars-CoV-2. Buscou-se com os experimentos: (i) verificar se a produção de medicamentos é viável considerando a alternativa de aplicação do capital próprio no mercado financeiro; (ii) no caso de opção pela abertura de plantas e centros de distribuição, analisar a adequação do modelo para as decisões de localização e distribuição e; (iii) obter *insights* do problema por meio de alterações nos parâmetros. No fim do capítulo, é apresentada uma análise comparativa do desempenho financeiro de todos os testes realizados em ambas as empresas. Ainda, nos apêndices se encontram uma estatística descritiva e o somatório da demanda atendida de todos os testes realizados neste capítulo.

Os experimentos computacionais foram executados utilizando da linguagem de programação GAMS 24.1.3, solver CPLEX, em um computador com 8 GB de memória RAM, processador Intel® Core™ i7-8550 CPU @ 1,80GHz e sistema operacional com Windows 10. Todos os experimentos computacionais tiveram como critério de parada gap de 0.001%.

### 5.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS

Nesta seção são apresentados os dois conjuntos de dados utilizados nos testes computacionais. Diante disso, os conjuntos de dados utilizados nesses experimentos foram denominados de “Empresa A” e “Empresa B”. Como mencionado anteriormente, os dados são baseados em dados reais de duas *Big Pharmas* que estão produzindo imunizantes para o Sars-CoV-2. Foram coletados dados referentes às localizações de todas as plantas (primárias e secundárias), a capacidade de produção atual de vacinas nas plantas, a quantidade de princípio ativo (PA) disponível para produção das vacinas, a localização e capacidade de armazenamento dos CDs utilizados pelas empresas e a localização das outras instalações das empresas (escritórios administrativos, centros de P&D, dentre outros).

Após essa coleta inicial, houve um filtro para a definição das instalações candidatas. Foram selecionadas como plantas candidatas apenas as plantas secundárias das empresas.

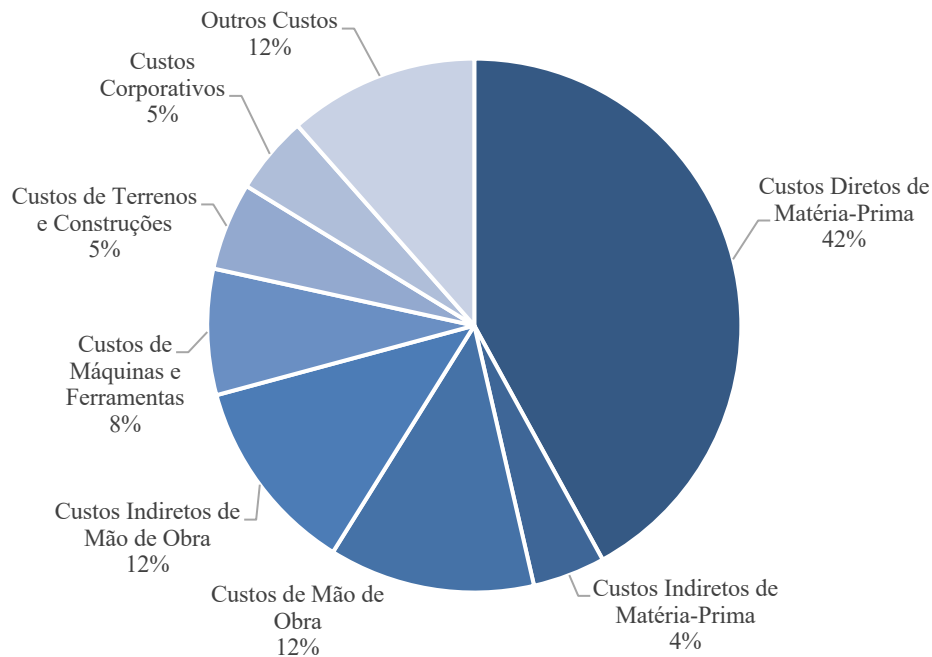


Ainda, todos os CDs foram selecionados como candidatos no problema. Em relação aos CDs, ambas as empresas apresentam como característica a grande utilização de CDs terceirizados, principalmente em razão da urgência na distribuição das vacinas aos países. Diante disso, como forma de incorporar essa característica no trabalho, os CDs terceirizados foram incluídos como candidatos em todos os países onde as empresas possuem escritórios administrativos. Nos CDs terceirizados, são considerados apenas custos fixos e variáveis, não havendo investimentos e despesas nessas instalações. Isso ocorre pois não há custos de abertura para a utilização desses CDs (aquisição de terrenos, edificação, aquisição de equipamentos, dentre outros), bem como não há despesas por serem CDs terceirizados. Ainda nesses CDs terceirizados, a capacidade considerada para ambas as empresas foi de 200 milhões de vacinas. Esse valor leva em consideração a capacidade atual de vacinas (NHS, 2021), considerando a validade de 3 meses (GAVI, 2021). Ainda, o lote mínimo anual nessas instalações foi estimado em 139.2 milhões de doses, considerando a distribuição atual de 11,6 milhões de doses mensais (CNBC, 2021).

Em relação aos valores dos investimentos nas instalações (custos de abertura de plantas e CDs), foram considerados os índices dos custos de construção disponíveis em Arcadis (2019). Desta forma, por meio desses índices é possível estimar os custos de construção em cada país, permitindo incorporar nos parâmetros os diferentes custos de abertura nos locais dos países candidatos. O cálculo foi realizado multiplicando o valor de investimento da planta atual que está produzindo as vacinas pelo índice de custos das instalações candidatas e pela capacidade de produção/distribuição das instalações candidatas.

A estimativa dos custos e despesas foi baseada na estrutura de custos da indústria farmacêutica presente no artigo de Stegemann *et al.* (2011), conforme apresentado na Figura 9. Por meio dessa estrutura, são estimados os custos fixos, os custos variáveis e as despesas das instalações. Assim como os custos de abertura, que são diferentes em cada país, os custos de produção/distribuição também levam em consideração a localidade das instalações. Diante disso, para o cálculo dos custos e despesas foi utilizado o índice de competitividade global apresentado pelo grupo *Boston Consulting Group* – BCG (2020) – multiplicado pelo valor dos custos e despesas das instalações atuais para definir os valores das instalações candidatas. Busca-se por meio desse cálculo uma estimativa dos custos nessas instalações ao redor do globo. Contudo, algumas estimativas dos custos e despesas podem ter sido subestimadas no problema.

Figura 9 – Estrutura de custos da indústria farmacêutica



Fonte: Adaptado de Stegemann *et al.* (2011).

Em relação aos custos de transporte, os mesmos foram baseados nos custos da empresa *United Parcel Service – UPS* (2020), considerando uma faixa de preços baseada nas distâncias entre as localidades ao redor do globo. Todos os custos e despesas tiveram a inflação considerada nos anos subsequentes. Diante disso, foram utilizadas previsões do *GDP Deflator* (Deflator do PIB) provenientes da organização *Organisation de Coopération et de Développement Économiques – OCDE* (2021) e da empresa *Trading Economics* (2021) dos países onde as instalações estão localizadas. Por fim, os dados financeiros: WACC, taxa de juros dos empréstimos e taxa de impostos foram coletados das bases de dados disponíveis em *Damodaran* (2021).

Em ambas as empresas foi considerado um horizonte de planejamento de cinco anos. Esse horizonte de planejamento leva em consideração as perspectivas de controle da pandemia (NYPOST, 2021). O investimento em P&D leva em consideração apenas os investimentos realizados pelas empresas, não sendo considerados os subsídios governamentais e os aportes financeiros de outras instituições/organizações. Diante disso, o investimento em P&D na Empresa A foi de US\$ 2,67 bilhões e na Empresa B foi de US\$ 1,00 bilhão (BBC, 2020). Em relação ao capital próprio e de terceiros, levando em consideração a urgência do atual cenário

de pandemia, foi considerado 30% do caixa das empresas como capital próprio disponível (para Empresa A consiste em US\$ 3.6 bilhões e para Empresa B em US\$ 2.385 bilhões) e 50% como capital de terceiros disponível (para Empresa A consiste em US\$ 6.1 bilhões e para Empresa B US\$ 3.975 bilhões) para investimentos em P&D e instalações. Sendo que, como não há parâmetro sobre a utilização das quantidades de capitais, testes com variações serão efetuados para verificar os impactos nas cadeias de suprimentos globais. Ademais, para os mercados (clientes) foram considerados os países com população acima de 20 milhões de cidadãos, consistindo assim em 89 mercados. Diante disso, a demanda levou em conta duas doses da vacina para cada cidadão dos países por ano. A demanda considerada é a mesma para ambas as empresas. Em relação aos dados financeiros, a taxa de empréstimo para ambas as empresas foi de 5.30% ao ano e o custo médio ponderado de capital (WACC) considerado foi de 13.32% (DAMODARAN, 2021). Esses dados financeiros que foram coletados são especificamente referentes às empresas farmacêuticas. Por fim, conforme cotação atual do mercado, a taxa do título público de 10 anos do tesouro americano foi de 1.75% ao ano (YAHOO, 2021).

A Tabela 4 apresenta uma estatística descritiva dos dados da Empresa A. Na tabela são destacados os parâmetros da Empresa A, destacando a mediana, a média, o desvio padrão, o valor mínimo e o valor máximo desses parâmetros. Para o cenário base, a Empresa A apresenta 39 plantas candidatas, em seis continentes, sendo a maioria na Europa (vide Figura 10 (a)) e 63 CDs candidatos, em seis continentes, sendo a maioria também na Europa (vide Figura 10 (b)). Salientando que a maioria dos CDs são terceirizados, mantendo a característica da empresa. De acordo com dados coletados, a Empresa A possui uma faixa de preços de venda entre US\$ 18.34 e US\$ 19.00 (BBC, 2020). Diante disso, foram considerados em países desenvolvidos o preço de US\$ 19.00 e nos países em desenvolvimento o preço de US\$ 18.34, de acordo com divulgações de estratégias de comercialização da empresa, embora os valores de contrato com cada país sejam mantidos em caráter de confidencialidade e em alguns casos envolvem diferenças maiores devido a especificações como distribuição interna no país. Ainda em relação aos parâmetros, a quantidade necessária de princípio ativo para produzir uma dose de vacina é de 0.3ml (CDC, 2021), sendo que a quantidade anual disponível é de aproximadamente 660 mil litros (REUTERS, 2021).

Tabela 4 - Estatística descritiva dos dados da Empresa A

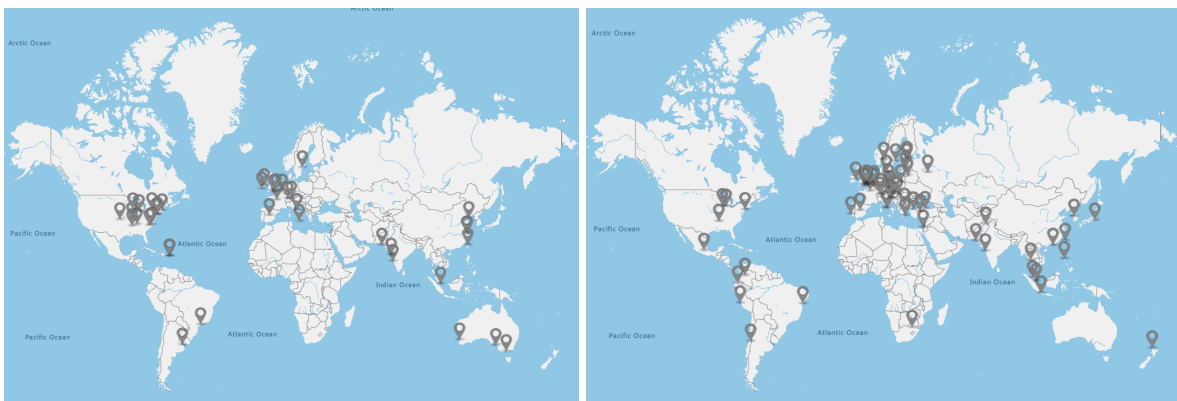
<b>Parâmetro</b>	<b>Mediana</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Investimento em plantas (milhões US\$)	110,25	102,9	26,39	50,89	158,31
Capacidade das plantas (milhões doses)	250,00	301,89	145,75	100,00	750,00
Taxa de impostos (%)	27,00	26,00	4,90	13,00	35,00
Custos fixos das plantas (milhões US\$)	54,42	58,45	29,52	17,76	171,40
Custos var. plantas (milhões US\$/milhões doses)	4,80	4,88	0,45	4,02	6,87
Despesas anuais das plantas (milhões US\$)	109,98	117,96	5,95	3,58	34,58
Investimento em CDs (milhões US\$)	0,00	5,28	16,56	0,00	73,55
Capacidade anual dos CDs (milhões doses)	200,00	212,98	57,40	68,00	500,00
Custos fixos dos CDs (milhares US\$)	213,07	205,94	50,82	18,39	341,37
Custos var. CDs (milhares US\$/milhões doses)	4,26	4,04	1,16	1,02	6,82
Despesas anuais dos CDs (milhares US\$)	0,00	26,25	82,59	0,00	409,87
Preço de venda (US\$/dose)	18,34	18,47	0,2609	18,34	19,00
Demanda dos mercados (milhões doses)	63,65	163,93	411,66	20,04	2.795,43
Custos de transp. (milhares US\$/ milhões doses)	21,29	21,16	1,72	8,49	25,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10 - Instalações candidatas da Empresa A

a) Plantas candidatas

b) CDs candidatos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o cenário base da Empresa B, foram consideradas 25 plantas candidatas, em seis continentes, sendo a maioria na América do Norte (vide Figura 11 (a)) e 68 CDs candidatos, em seis continentes, sendo a maioria na Europa (vide Figura 11(b)). A Tabela 5 apresenta uma estatística descritiva dos dados da Empresa B. A tabela destaca a mediana, a média, o desvio padrão, o valor mínimo e o valor máximo dos parâmetros da Empresa B. Da mesma forma que na Empresa A, a Empresa B também apresenta CDs terceirizados. As características desses CDs terceirizados foram mantidas para a Empresa B. O preço de venda dessa empresa está em uma faixa entre US\$ 2.15 e US\$ 5.25 (THE GUARDIAN, 2021). O preço de venda aqui é baseado nos contratos específicos da empresa com os países e blocos econômicos, sendo que o preço nos países da União Europeia é o menor, de US\$ 2.15. O preço nos EUA foi de US\$ 4.00 e nos demais países de US\$ 5.25. Ainda, a quantidade necessária de princípio ativo para produzir uma dose de vacina é de 0.5ml (WHO, 2021), sendo que havia disponível aproximadamente 1.5 milhões de litros de princípio ativo por ano (NEWSWEEK, 2020).

Tabela 5 - Estatística descritiva dos dados da Empresa B

<b>Parâmetro</b>	<b>Mediana</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Investimento em plantas (milhões US\$)	360,99	395,51	149,87	166,35	705,58
Capacidade das plantas (milhões doses)	150,00	207,72	118,35	48,00	450,00
Taxa de impostos (%)	27,00	27,00	3,66	19,00	34,00
Custos fixos das plantas (milhões US\$)	134,39	140,60	57,94	47,61	403,5
Custos var. plantas (milhões US\$/milhões doses)	1,20	1,27	0,51	0,93	5,94
Despesas anuais das plantas (milhões US\$)	33,31	34,86	14,36	11,80	100,03
Investimento em CDs (milhões US\$)	51,59	62,33	64,53	0,00	241,68
Capacidade anual dos CDs (milhões doses)	200,00	239,71	99,46	100,00	600,00
Custos fixos dos CDs (milhares US\$)	118,89	127,24	66,77	22,18	266,96
Custos var. CDs (milhares US\$/milhões doses)	1,22	2,34	1,49	0,89	5,05
Despesas anuais dos CDs (milhares US\$)	85,08	110,89	115,38	0,00	440,49
Preço de venda (US\$/dose)	5,25	4,85	1,02	2,15	5,25
Demanda dos mercados (milhões doses)	63,65	163,94	411,67	20,05	2.795,43
Custos de transp. (milhares US\$/ milhões doses)	20,92	20,86	1,66	16,62	24,49

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 - Instalações candidatas da Empresa B

## a) Plantas Candidatas

## b) CDs Candidatos



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.2 RESULTADOS DOS TESTES COM DADOS DAS EMPRESAS

Nesta seção são apresentadas as soluções geradas pelo modelo com os dados das empresas A e B. Os resultados para os dois casos indicam que é mais vantajoso abrir plantas e CDs ao invés de aplicar no mercado financeiro. Ou seja, o retorno dos investimentos na produção das vacinas é maior que a taxa mínima de atratividade (retorno que seria obtido aplicando o capital no mercado financeiro, no caso em títulos públicos).

### 5.2.1 RESULTADOS DA EMPRESA A

No caso da Empresa A, os resultados do modelo indicam a abertura de 7 plantas secundárias, conforme pode ser observado na Figura 12(a). As plantas selecionadas para abertura são: Suzhou (China), Cork (Irlanda), Kildare (Irlanda), Cingapura, Hsinchu (Taiwan), Havant (Reino Unido) e Kent (Reino Unido), com uma capacidade total de produção de 2,2 bilhões de doses de vacina anualmente. Analisando os resultados, verifica-se que os impostos referentes aos locais candidatos foram determinantes para a definição das plantas escolhidas para abertura, sendo as taxas de impostos iguais 12,5%, 19%, 20% e 25%, referentes a Irlanda,

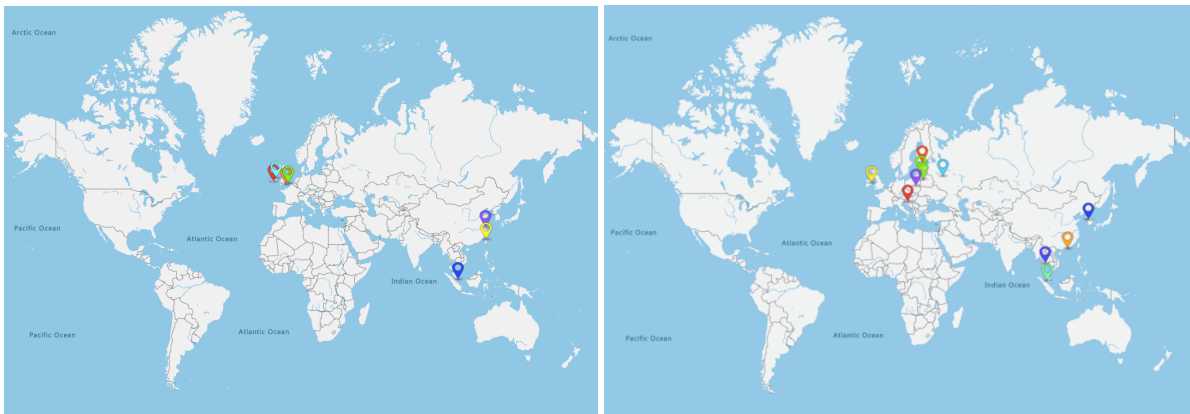
Reino Unido, Taiwan e China, respectivamente. Entre os locais candidatos com menor taxa de imposto está Cingapura, com 17% (que não foi selecionado), a maior corresponde à Itália, 35%, e o valor médio é de 25,5%. A taxa do Brasil está entre as mais altas, 34%.

No caso dos CDS são selecionados 11 locais: Zagreb (Croácia), Helsinki (Finlândia), Hong Kong, Dublin (Irlanda), Seul (Coréia do Sul), Riga (Letônia), Vilnius (Lituânia), Kuala Lumpur (Malásia), Varsóvia (Polônia), Moscou (Rússia) e Bangkok (Tailândia), conforme pode ser observado na Figura 12(b). Observa-se nos resultados que não há investimentos na abertura de novos CDs, sendo utilizados os locais onde já existem instalações abertas, em geral CDs terceirizados. Na Figura 12 (b) também é possível observar que há uma concentração das operações em CDs no continente europeu, sendo que 54,5% dos CDs selecionados estão neste continente. Como apresentado mais adiante, esta concentração é explicada pelo maior atendimento da demanda destes países.

Figura 12 - Instalações abertas na Empresa A

**a) Plantas abertas**

**b) CDs abertos**

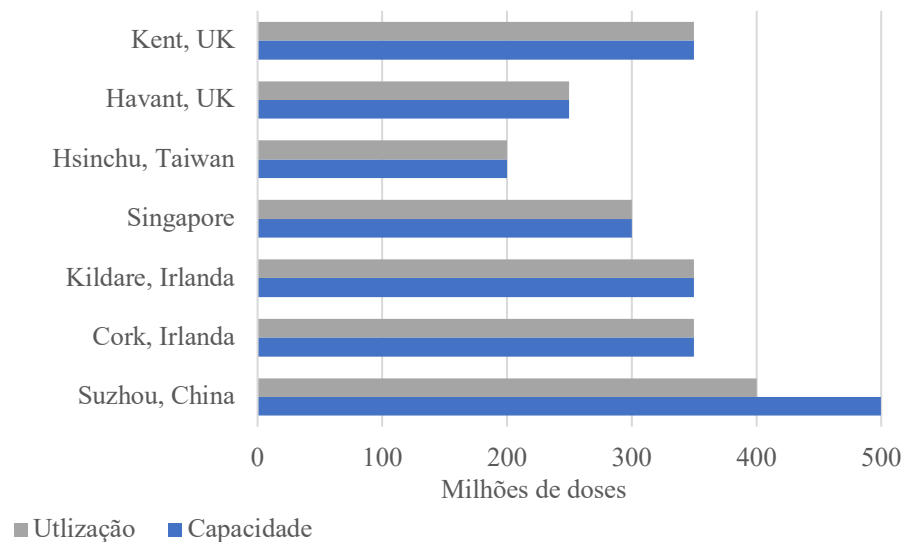


Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelos resultados gerados com os dados da empresa A, todas as plantas secundárias abertas utilizam 100% de suas capacidades em todos os períodos, com exceção da planta de Suzhou (China) que opera 80% de sua capacidade em todos os períodos, como pode ser observado na Figura 13. Todos os CDs utilizam 100% da capacidade considerada. Anualmente em todas as plantas são produzidas e distribuídas 2.2 bilhões de vacinas. O que limita o total de

produção em relação à capacidade máxima instalada das plantas é a disponibilidade de princípio ativo (PA).

Figura 13 - Capacidade de produção anual instalada e utilizada nas plantas da Empresa A



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 14 (a) ilustra a demanda total atendida para cada país por meio de um mapa de calor, sendo que os países com cores vermelhas representam maior atendimento e os países com cores verdes são os menos atendidos. Vale ressaltar que a demanda é concentrada na capital dos países, por exemplo, nos EUA a demanda é concentrada em Washington, por isso países de grande dimensão territorial podem erroneamente indicar regiões não atendidas. Foram atendidos um total de 22 países ao longo dos anos (horizontes de planejamento). A demanda é atendida praticamente 100% em todos os períodos nos países, excetuando Bangladesh (atendimento de 29% e 14% nos períodos 1 e 4, respectivamente), Filipinas (atendimento de 22,5% no período 4) e Vietnã (atendimento de 2% no período 1 e 50,29% nos períodos 2, 3 e 5). No total, são atendidas 1,1 bilhões de pessoas, referentes a 2,2 bilhões de vacinas. Observa-se que os Estados Unidos da América (EUA) é o país que recebeu o maior número de vacinas, seguido pelo Japão e pela Alemanha. Como esperado, nota-se que a solução do modelo busca atender a demanda dos países com maior preço de venda. Após o atendimento da demanda dos países com maior preço de venda, o resultado do modelo direciona as vacinas aos países mais próximos dos CDs abertos. Este resultado, pautado apenas em viabilidade financeira, evidencia

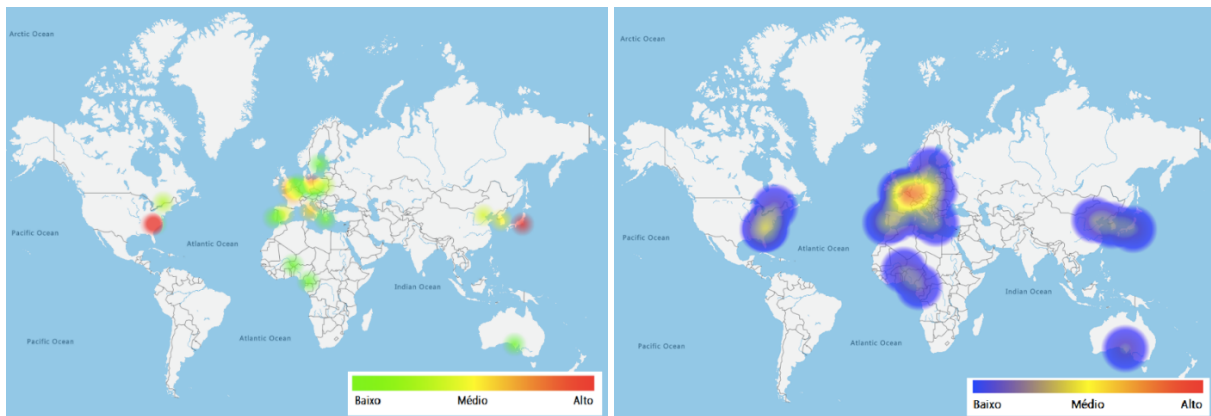


a preocupação de entidades multilaterais como a OMS (Organização Mundial da Saúde) com as questões de igualdade na distribuição de imunizantes para países economicamente mais vulneráveis. A Figura 14 (b) ilustra o mapa de calor do atendimento da demanda por continente. Na Figura 14 (b), os continentes com cores vermelhas são os mais atendidos e os com cores azuis são os menos atendidos. Observa-se que a Europa é o continente com maior atendimento, seguida pela América do Norte e Ásia. Isso ocorre pois há uma maior concentração de países com preço de venda maior no continente europeu.

Figura 14 - Mapa de calor do atendimento da demanda na Empresa A

**a) Atendimento por país**

**b) Atendimento por continente**



Fonte: Elaborado pelo autor.

O planejamento da cadeia resultou num VPL de US\$ 85,8 bilhões. O investimento nessa rede foi de US\$ 3,5 bilhões, sendo que o investimento é realizado integralmente utilizando capital próprio, ou seja, sem a captação de recursos de terceiros. Por meio desses resultados, verifica-se que os impostos das plantas foram determinantes na abertura, sendo assim países com menor alíquota foram escolhidos, ou seja, Irlanda, Cingapura, Reino Unido e Taiwan. Em relação aos CDs, todos os selecionados para operação estão entre os terceirizados. Observa-se que o modelo opta pelos CDs onde não há investimento, mantendo a concentração das localidades no continente europeu. Detalhes do fluxo de caixa resultante desse planejamento podem ser observados na Tabela 6. Por meio dos resultados do fluxo de caixa, algumas análises financeiras podem ser efetuadas. O *payback* do investimento ocorre ainda no primeiro período. Verifica-se que o retorno sobre os investimentos (ROI) foi de 2.437,40%, demonstrando os

altos retornos da produção de vacinas. Como não houve a utilização de capital de terceiros, o retorno sobre o capital próprio (ROE) também foi de 2.437,40%. Ainda, o índice de lucratividade (IL) foi de 24,37, ou seja, o investimento resultou em 24,37 vezes de retorno. Diante desses indicadores, observa-se que a produção de vacinas pela Empresa A apresenta excelentes resultados financeiros. Cabe ponderar que o preço de venda considerado nos parâmetros inclui a distribuição interna das vacinas. Assim, os custos de armazenagem e transporte podem estar subestimados. Da mesma forma, conforme coleta de dados, o contrato da empresa com alguns países teve um preço de venda menor, uma vez que a empresa não desempenhou a distribuição interna em alguns países.

Tabela 6 - Fluxo de caixa da Empresa A

(+) Receita de vendas	US\$ 145.429.493.258,94
(-) Custos de produção	US\$ 36.265.920.790,23
(-) Custos fixos	US\$ 1.437.128.100,74
(-) Custos variáveis	US\$ 34.828.792.689,49
(-) Despesas de produção	US\$ 290.006.183,65
(-) Custos dos CDs	US\$ 38.036.971,59
(-) Despesas dos CDs	US\$ 0,00
(-) Custos de transporte	US\$ 138.903.250,89
(-) Despesas financeiras	US\$ 0,00
(-) Impostos	US\$ 19.341.108.066,27
(-) Investimentos	US\$ 3.521.534.320,00
Valor Presente Líquido (VPL)	US\$ 85.833.983.676,31

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.2.2 RESULTADOS DA EMPRESA B

No caso da Empresa B, a Figura 15 ilustra as instalações abertas pelo planejamento do modelo. Foram abertas nove plantas e quinze CDs. As plantas foram abertas em Bangalore (Índia), Cidade do México (México), Macclesfield (Reino Unido), Speke (Reino Unido), West Chester (EUA), Filadélfia (EUA), Mount Servon (EUA), Newark (EUA) e Bensalem (EUA). Os CDs foram abertos em Sofia (Bulgária), Zagreb (Croácia), Praga (República Checa), Talin (Estônia), Vilnius (Lituânia), Selangor (Malásia), Cidade do Panamá (Panamá), Bucareste (Romênia), Al-Diriyah (Arábia Saudita), Belgrado (Sérvia), Bratislava (Eslováquia), Liubliana (Eslovênia), Bangkok (Tailândia), Tunis (Tunísia) e Dubai (EAU).

Figura 15 - Instalações abertas na Empresa B

a) Plantas abertas

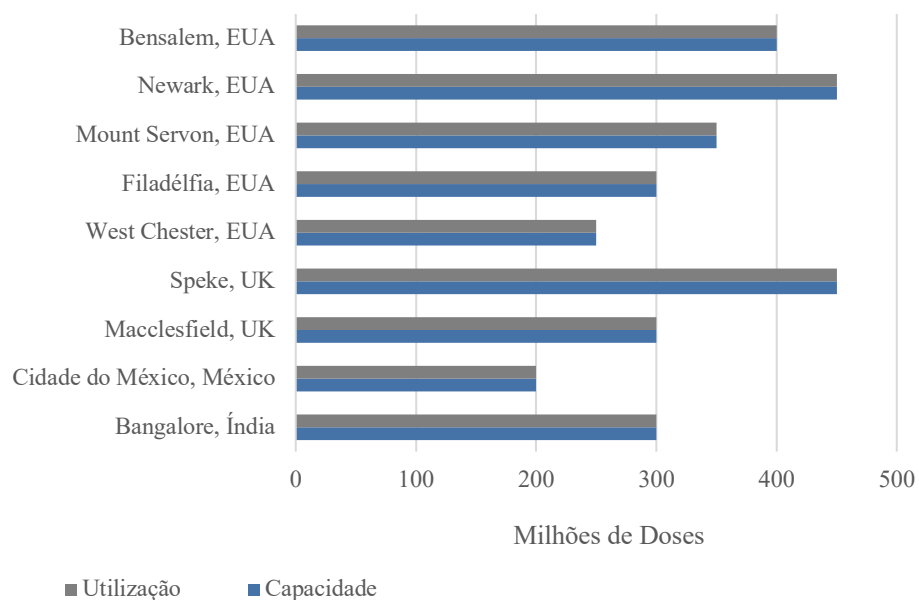
b) CDs abertos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação a utilização das instalações, todas as instalações utilizam 100% de suas capacidades. A Figura 16 ilustra a capacidade instalada e utilizada pelas plantas abertas na Empresa B. No total, em cada período são produzidas e armazenadas 3 bilhões de vacinas, o máximo que pode ser produzido dada a disponibilidade de princípio ativo (PA).

Figura 16 – Capacidade de produção anual instalada e utilizada nas plantas da Empresa B

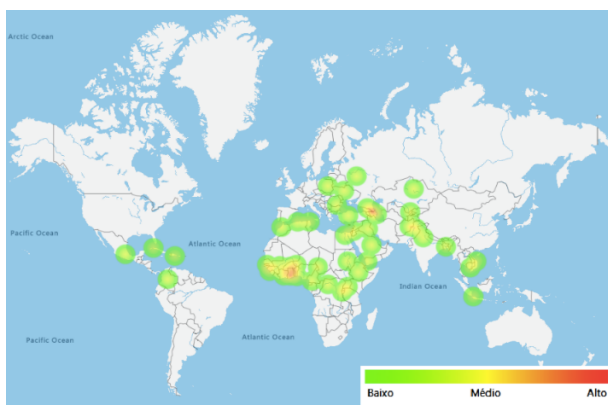


Fonte: Elaborado pelo autor.

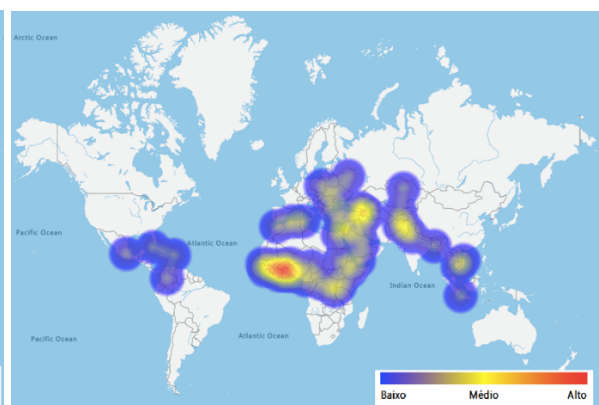
A Figura 17 (a) ilustra o mapa de calor da soma do atendimento da demanda por cada país da Empresa B, sendo que os países com cores vermelhas correspondem a um maior atendimento e os países com cores verdes são os menos atendidos. Assim como nos resultados da Empresa A, o planejamento da cadeia opta por atender os países com maior preço de venda. Entretanto, na Empresa B há uma quantidade maior de países atendidos, um total de 44 países. O atendimento da demanda varia entre os países, sendo que 17 países tiveram 100% da demanda atendida. Assim como na Empresa A, os países com maior atendimento foram aqueles com maior preço de venda do produto. No total são atendidas 1,5 bilhões de pessoas, representando 3 bilhões de vacinas. Assim, observa-se que o planejamento busca atender os países com maior preço de venda e maior proximidade dos CDs, ou seja, que possuam menor custo de transporte. O país com maior demanda atendida é a Rússia, seguida pela Índia e pelo Egito. A Figura 17 (b) ilustra o atendimento da demanda por continente da Empresa B, salientando que os continentes com cores vermelhas são os mais atendidos e os com cores azuis são onde há menor atendimento. Assim, nota-se que há maior atendimento da demanda no continente africano, seguido pelo continente asiático. Isso ocorre principalmente pelo alto atendimento pela Empresa B aos países como Egito, Índia, Etiópia, Bangladesh, Turquia e Irã.

Figura 17 - Mapa de calor do atendimento da demanda na Empresa B

**a) Atendimento por país**



**b) Atendimento por continente**



Fonte: Elaborado pelo autor.

O planejamento da cadeia resultou num VPL de US\$ 17,4 bilhões. O investimento nessa rede foi de US\$ 5,8 bilhões, sendo que o investimento foi realizado utilizando todo o capital próprio, ou seja, US\$ 2,385 bilhões (100% do capital próprio disponível) mais US\$ 3,508 bilhões do capital de terceiros (88,26% do capital de terceiros disponível), correspondendo aproximadamente a estrutura de capital em 40% de capital próprio e 60% de capital de terceiros. A partir desses resultados, verifica-se que o planejamento da cadeia é estruturado pelas plantas com maior capacidade de produção, principalmente nos EUA e no Reino Unido. Em relação aos CDs, todos foram terceirizados, como no caso da Empresa A. Novamente, observa-se que o planejamento da cadeia é constituído pelos CDs onde não há investimento, mantendo a concentração em localidades do continente europeu. Detalhes do fluxo de caixa resultante desse planejamento podem ser observados na Tabela 9. Verifica-se ainda que, por utilizar o WACC para trazer a valor presente os fluxos de caixa e pelo WACC ser maior que a taxa de empréstimo, quando trazemos a valor presente as prestações dos empréstimos, as despesas financeiras ficam em US\$ 2,850 bilhões. Esse valor evidencia a necessidade da utilização de capital de terceiros para a estruturação da cadeia. Por meio dos resultados, os indicadores financeiros evidenciam a alta rentabilidade na produção de vacinas. O ROI da Empresa B foi de 296,11%. Ainda, como houve utilização do capital de terceiros, o ROE foi acima do ROI, sendo 731,71%. Isso ocorre pois há maior retorno sobre o capital próprio comparado ao investimento total. Por fim, o IL representa 2,96 vezes os investimentos realizados pela Empresa B. Assim, observa-se que todos os indicadores foram positivos na produção de vacinas.

Tabela 7 - Fluxo de caixa da Empresa B

(+) Receita de vendas	US\$ 54.966.589.539,30
(-) Custos de produção	US\$ 18.037.161.784,96
(-) Custos fixos	US\$ 5.716.705.616,49
(-) Custos variáveis	US\$ 12.320.456.168,47
(-) Despesas de produção	US\$ 1.417.166.518,37
(-) Custos dos CDs	US\$ 51.306.710,77
(-) Despesas dos CDs	US\$ 0,00
(-) Custos de transporte	US\$ 195.299.896,82
(-) Despesas financeiras	US\$ 2.850.473.686,58
(-) Impostos	US\$ 9.070.520.634,58
(-) Investimentos	US\$ 5.893.454.324,00
Valor Presente Líquido (VPL)	US\$ 17.451.205.983,22

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.2.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENTRE AS EMPRESAS

Os resultados dos testes com dados das duas empresas permitem uma comparação da estrutura das cadeias de suprimentos globais, bem como uma comparação financeira para a produção de vacinas. Em relação à configuração da rede física das cadeias, verifica-se que a Empresa B teve mais instalações abertas quando comparada a Empresa A. No total, foram 24 instalações abertas na Empresa B, sendo 9 plantas e 15 CDs. Houve uma concentração de abertura das plantas nos EUA, principalmente em razão da alta capacidade de produção dessas instalações. Em relação aos CDs, a concentração foi no continente europeu, viabilizando o atendimento da demanda dos países europeus e africanos por esses CDs. Já, em relação a Empresa A, foram 18 instalações abertas, sendo 7 plantas e 11 CDs. As plantas e CDs tiveram uma concentração no continente europeu, principalmente em razão da alta demanda desses países.

Em relação aos resultados financeiros das empresas, ambas apresentaram VPL positivos, indicando a viabilidade financeira dessas opções de investimento. Entretanto, verifica-se que a Empresa A apresenta melhores resultados em comparação com a Empresa B. Isso ocorre principalmente pelo maior preço de venda da Empresa A. Ainda, a relação receita/custos da Empresa A – sendo a receita aproximadamente 4 vezes maior que os custos – é maior comparada a Empresa B – que a receita consiste em 3 vezes mais que os custos – da produção de vacinas. Por fim, os indicadores financeiros evidenciam os altos retornos na produção de vacinas por ambas as empresas. Por meio desses indicadores, observa-se que o ROI, ROE e IL da Empresa A apresenta retornos superiores aos da Empresa B. Maiores detalhes comparando ambas as empresas podem ser observadas na Seção 5.4 – Análise Comparativa do Desempenho Financeiro dos Testes.

Por meio dos resultados, verifica-se que alterações em alguns parâmetros impactam diretamente nos resultados do planejamento. A disponibilidade de capital próprio, o preço de venda, os impostos dos países, a inflação nos parâmetros, o lote mínimo dos CDs e a demanda dos países podem influenciar os resultados gerados pelo modelo. Diante disso, na próxima seção foram realizados testes com diferentes cenários para ambas as empresas visando avaliar a influência na configuração da rede de produção de medicamentos e nos indicadores financeiros.

### 5.3 ANÁLISE DE CENÁRIOS

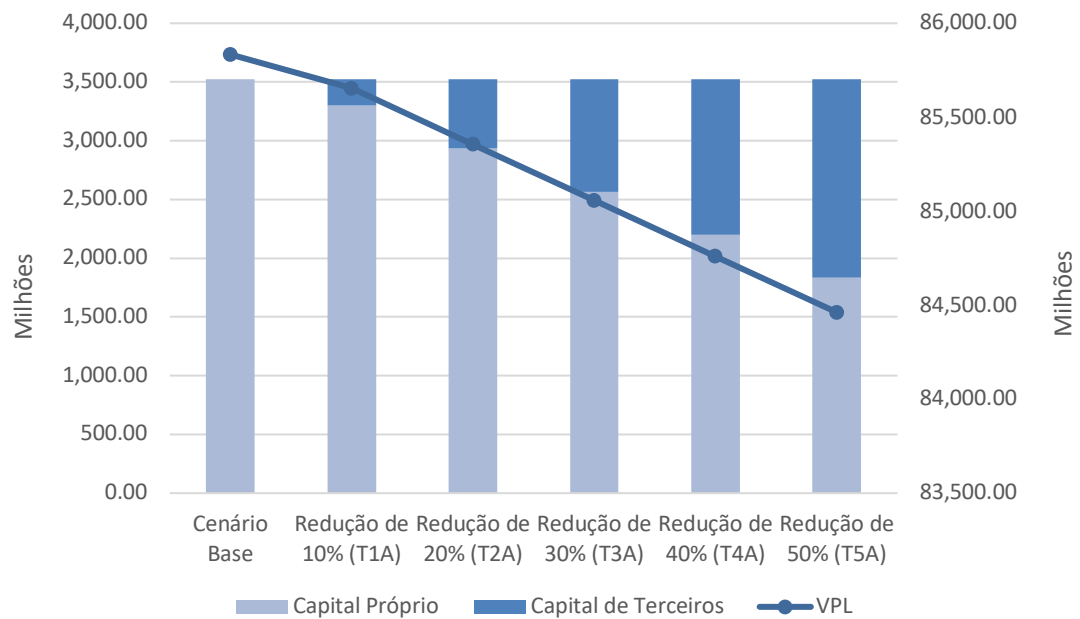
Nesta seção são apresentados os resultados dos cenários com variação nos parâmetros de dados da Empresa A e da Empresa B. Desta forma, essa seção está dividida em: (i) análise das alterações no capital próprio; (ii) análise das alterações no preço de venda; (iii) análise das alterações nos impostos; (iv) análise das alterações desconsiderando a inflação; (v) análise das alterações no lote mínimo dos CDs e; (vi) análise das alterações na demanda. Os testes foram denominados baseando-se no tipo de teste e nas empresas, por exemplo, o Teste 1 é denominado T1, caso seja para a Empresa A, o Teste 1 será denominado T1A. Salientando que nos apêndices se encontram a estatística descritiva e o somatório da demanda atendida de todos os testes.

#### 5.3.1 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO CAPITAL PRÓPRIO

Nesta subseção foram realizados testes alterando a quantidade de capital próprio disponível para investimento. Por ser uma importante característica do modelo, busca-se verificar como essas alterações impactam na estrutura de capital da Empresa A e da Empresa B. Diante disso, foram conduzidos testes reduzindo o capital próprio das empresas em 10% (Teste 1), 20% (Teste 2), 30% (Teste 3), 40% (Teste 4) e 50% (Teste 5).

A Figura 18 ilustra os testes de redução de capital próprio na Empresa A. O eixo da esquerda (gráfico em barras acumuladas) é relacionado a estrutura de capital, enquanto o eixo da direita (gráfico tipo linha com marcadores) é relacionado ao valor presente líquido (VPL). Verifica-se que em todos os cenários com de redução do capital próprio há utilização do capital de terceiros. Como esperado, quanto maior a redução no capital próprio, maior a redução no valor presente líquido da empresa (VPL). Nesses testes, a configuração da cadeia permaneceu a mesma, mantendo as plantas e CDs abertos no cenário base. Da mesma forma, a quantidade de produtos e atendimento da demanda se manteve. Foram atendidas 1,1 bilhões de pessoas, correspondendo a 2,2 bilhões de vacinas por período. Assim, verifica-se que a decisão da estrutura de capital da empresa não afeta na localização do investimento nessas localidades. Ainda, há pouca variação no VPL quando há redução no capital próprio. Por exemplo, com 50% de redução no capital, o VPL reduz apenas US\$ 1.371 bilhões, isso corresponde a 1,60% de redução comparado ao cenário base.

Figura 18 - Resultados das variações no capital próprio da Empresa A



Fonte: Elaborado pelo autor.

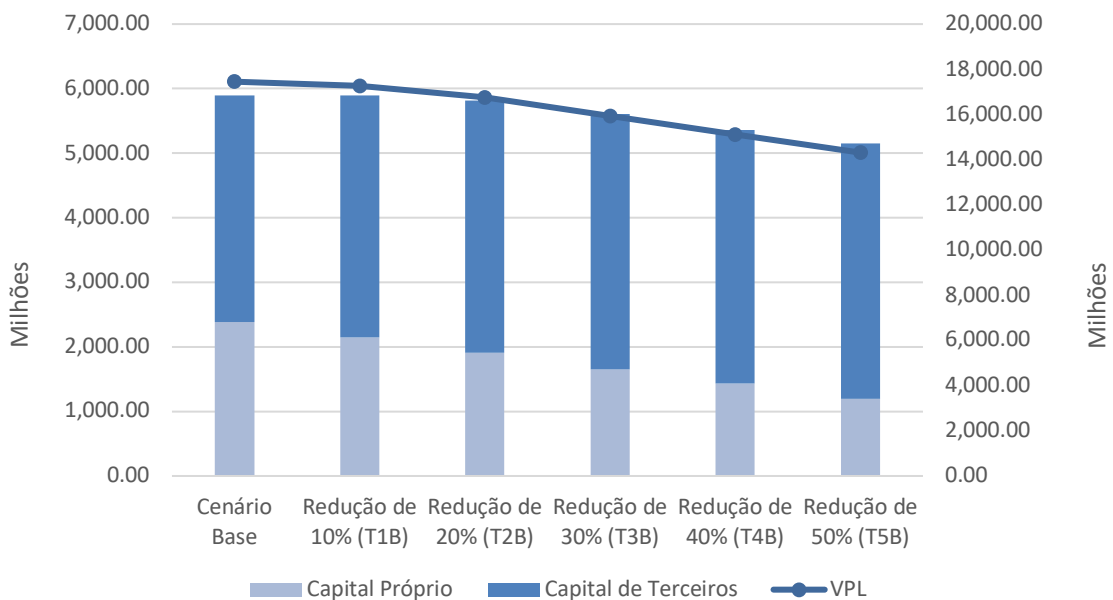
A Figura 19 ilustra os testes de redução de capital próprio da Empresa B. A orientação dos eixos segue a mesma lógica da Empresa A. Assim como nos testes com os dados da Empresa A, a redução no capital próprio resulta em redução no VPL. Entretanto, a configuração física da cadeia é afetada pela diminuição do capital próprio. No cenário com 10% de redução do capital próprio, o planejamento se manteve igual ao cenário base. Contudo, reduzindo em 20%, 30%, 40% e 50%, há alterações nas plantas abertas. A planta de Bangalore (Índia) não é aberta em nenhum teste por apresentar maior relação investimento/capacidade comparada com outras plantas abertas. Em contrapartida, a planta de Fredrik (EUA) é aberta no lugar de Bangalore (Índia) nos testes com redução de 20%, 30% e 40% por apresentar menor relação investimento/capacidade comparado às outras plantas, mantendo 9 plantas secundárias em operação. No teste com redução de 50% do capital próprio, o número de plantas secundárias abertas é reduzido para 8, não sendo aberta a planta de Fredrik (EUA).

Em relação aos CDs, apenas com redução de 40% e 50% há alterações nas decisões de abertura e operação na cadeia. Com 40% de redução, o CD de Vilnius (Lituânia) não é aberto. Com 50% de redução, o CD de Belgrado (Sérvia) também não é aberto. A demanda atendida em todos os testes é de 1,5 bilhões de pessoas, correspondendo a 3 bilhões de vacinas por período. Conseqüentemente, há uma maior redução no VPL conforme se reduz a



disponibilidade de capital próprio. Por exemplo, reduzindo o capital próprio em 50%, observa-se uma redução de US\$ 3,139 bilhões no VPL, correspondendo em uma diferença de 17,99% comparado ao cenário base. Verifica-se assim, que a Empresa B é mais sensível a alterações no capital próprio. Isso ocorre principalmente em razão da utilização maior do capital de terceiros nos investimentos impactar diretamente no VPL.

Figura 19 - Resultados das variações no capital próprio da Empresa B



Fonte: Elaborado pelo autor.

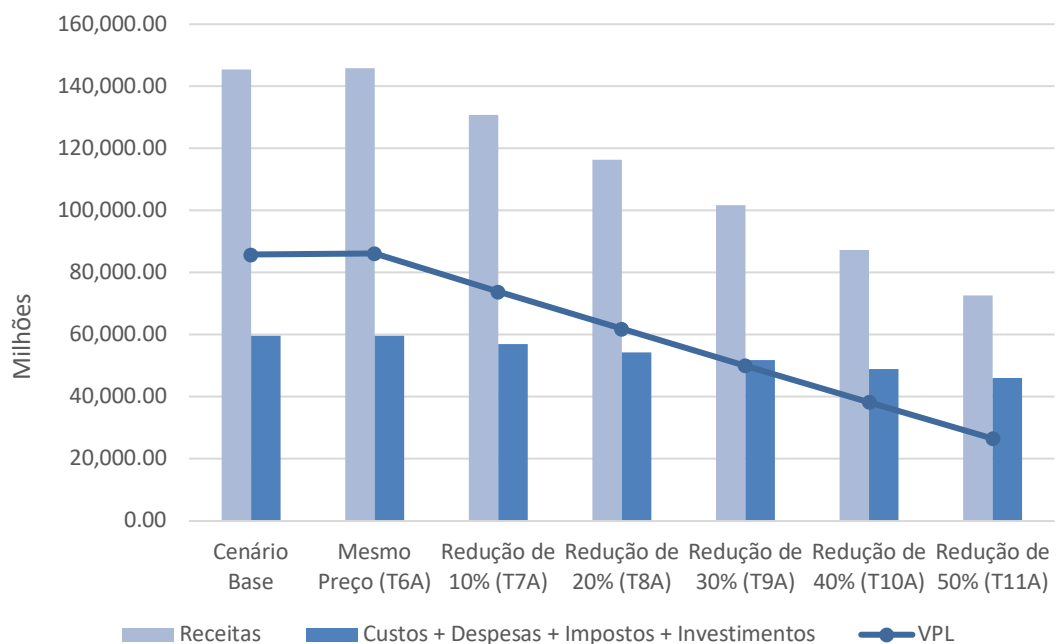
### 5.3.2 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO PREÇO DE VENDA

Nesta subseção foram realizados testes alterando o preço de venda das vacinas na Empresa A e na Empresa B. Assim, foi realizado um teste com o mesmo preço de venda a todos os países (Teste 6), no valor de US\$ 19,00 para a Empresa A e US\$ 4,00 para a Empresa B, e testes reduzindo os preços do cenário base em 10% (Teste 7), 20% (Teste 8), 30% (Teste 9), 40% (Teste 10) e 50% (Teste 11).

A Figura 20 ilustra o impacto desses testes no VPL da Empresa A. Como esperado, quando há diminuição no preço de venda, há redução nas receitas e no VPL. Nota-se que pequenas reduções ocasionam impactos profundos no VPL, por exemplo, reduzindo em 10% o

preço de venda o VPL reduz em US\$ 11,951 bilhões, correspondendo em uma diminuição de 13,92% comparado ao cenário base. Em relação ao planejamento da cadeia, não há alteração no planejamento comparado ao cenário base quando se reduz em 10% e 20% o preço de venda. Entretanto, ao reduzir em 30%, a planta de Havant (UK) não é aberta, sendo substituída pela de Dalian (China). Ainda, quando há redução de 40% e 50%, a planta de Kent (UK) também não é escolhida, sendo substituída pela de Wuxi (China). Em relação aos CDs, não há alterações comparado ao cenário base quando se reduz em 10% e 20% o preço de venda. Contudo, reduzindo em 30%, 40% e 50% os CDs de Zagreb (Croácia) e Varsóvia (Polônia) são substituídos pelos de Quito (Equador) e Herzliya (Israel), sendo que com 30% ainda há a substituição de Bangkok (Tailândia) para o de Jakarta (Indonésia). Verifica-se que essas alterações ocorrem em razão dos menores custos envolvidos nas plantas da China. Essas alterações alteram consequentemente a escolha dos CDs, pois o modelo opta por escolher aqueles com menor custo de transporte. Por fim, quando os preços são iguais, há um maior número de países com atendimento da demanda, totalizando 34 países. Assim, a demanda é atendida nos países mais próximos as plantas e CDs. A demanda atendida é de 1,1 bilhão de pessoas, correspondendo a 2,2 bilhões de vacinas por período. Em relação ao planejamento da rede, há somente a abertura adicional do CD de Taipei (Taiwan).

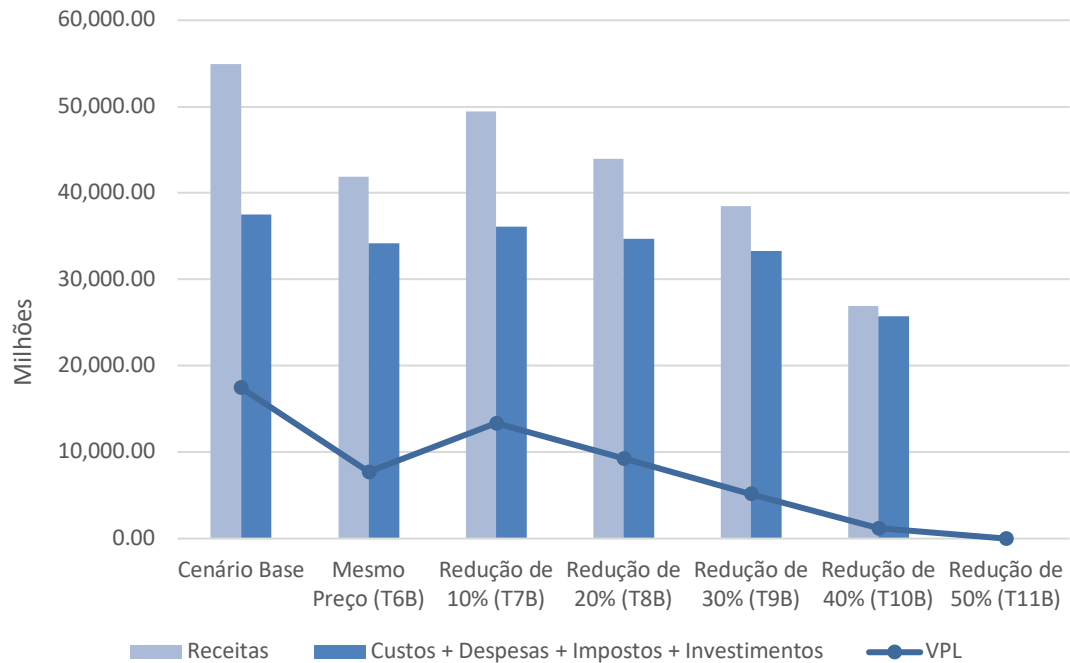
Figura 20 - Resultados das variações no preço de venda da Empresa A



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 21 ilustra os resultados desses testes na Empresa B. Da mesma forma que na Empresa A, os resultados financeiros são diretamente afetados na medida em que há maior redução no preço de venda. Observa-se que o impacto no VPL é maior do que acontece na Empresa A. Por exemplo, reduzindo em 10% o preço de venda, há uma diminuição no VPL de US\$ 4,095 bilhões, o que corresponde num valor 23,46% menor quando comparado ao cenário base. Nota-se ainda que reduzindo em 50%, não há produção de vacinas, ou seja, não há viabilidade financeira para produção, o que poderia implicar na necessidade de subsídios governamentais para atendimento da demanda. Assim, buscando o atendimento da demanda e o controle da pandemia, o subsídio governamental pode viabilizar a produção de vacinas. Novamente, verifica-se uma maior sensibilidade em relação aos preços no planejamento da cadeia da Empresa B. Quando há redução de 10%, não há alteração na configuração da rede. Entretanto, quando os preços são iguais e há redução em 20% e 30%, a planta de West Chester (EUA) é substituída pela de Frederick (EUA). Ainda, quando se reduz em 40%, adicionalmente a planta da Filadélfia (EUA) não é aberta. Em relação aos CDs, quando o preço é igual, o CD de Dubai (EAU) é substituído pelo de Riga (Letônia). Ainda, quando há diminuição de 40%, os CDs de Vilnius (Lituânia) e Belgrado (Sérvia) não são abertos. A demanda atendida nos testes com redução de 10%, 20% e 30% é de 1,5 bilhões de pessoas, correspondendo a 3 bilhões de vacinas por período. Entretanto, quando há redução de 40%, são atendidas 1,22 bilhões de pessoas, o que corresponde a 2,45 bilhões de vacinas produzidas por período.

Figura 21 - Resultados das variações no preço de venda da Empresa B



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3.3 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NOS IMPOSTOS

Nesta subseção foram realizados testes computacionais não incluindo os impostos de produção por país no planejamento da cadeia. Ou seja, o teste considera a alíquota de impostos nas plantas secundárias com taxa de 0% (Teste 12).

A Tabela 8 ilustra o resultado desse teste na Empresa A. Como esperado, observa-se que ao desconsiderar os impostos, o VPL aumenta consideravelmente em US\$ 21,199 bilhões, sendo 24,69% maior em relação ao cenário base. A receita de vendas permanece igual ao cenário base, pois o modelo atende os países com maior preço de venda. Nota-se ainda que os investimentos foram menores comparados ao cenário base, uma redução de 6,82%. Em relação à configuração da cadeia, as plantas de Hsinshu (Taiwan), Havant (UK) e Kent (UK) são substituídas pelas de Dailian (China), Goa (Índia) e Mumbai (Índia). Isso ocorre, pois essas plantas possuem menores custos em relação as plantas abertas no cenário base. Da mesma forma, os CDs de Zagreb (Croácia), Hong Kong e Varsóvia (Polônia) são substituídos pelos CDs de Mumbai (Índia), Herzliya (Israel) e Taipei (Taiwan). Essas alterações ocorrem nos CDs

em razão da proximidade em relação às novas plantas, diminuindo assim os custos de transporte das novas plantas a esses CDs. Nesse teste, a demanda atendida é de 1,1 bilhões de pessoas, correspondendo a 2,2 bilhões de vacinas produzidas por período.

Tabela 8 – Resultados sem impostos na Empresa A

	Cenário Base	Sem Impostos (T12A)	Variação
(+) Receita de vendas	US\$ 145.429.493.258,94	US\$ 145.429.493.258,94	0,00%
(-) Custos de produção	US\$ 36.265.920.790,23	US\$ 34.663.985.973,93	-4,41%
(-) Custos fixos	US\$ 1.437.128.100,74	US\$ 1.347.133.513,35	-6,26%
(-) Custos variáveis	US\$ 34.828.792.689,49	US\$ 33.316.852.460,58	-4,34%
(-) Despesas de produção	US\$ 290.006.183,65	US\$ 271.845.668,36	-6,26%
(-) Custos dos CDs	US\$ 38.036.971,59	US\$ 37.451.097,33	-1,54%
(-) Despesas dos CDs	US\$ 0,00	US\$ 0,00	-
(-) Custos de transporte	US\$138.903.250,89	US\$ 141.606.985,66	1,94%
(-) Despesas financeiras	US\$ 0,00	US\$ 0,00	-
(-) Impostos	US\$ 19.341.108.066,27	US\$ 0,00	-100,00%
(-) Investimentos	US\$ 3.521.534.320,00	US\$ 3.281.274.400,00	-6,81%
Valor Presente Líquido (VPL)	US\$ 85.833.983.676,31	US\$ 107.033.329.133,65	24,69%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 9 apresenta o impacto dessa alteração na alíquota de impostos na Empresa B. Observa-se que o VPL aumenta consideravelmente no cenário da Empresa B sem impostos, um crescimento de 51,98%, o que corresponde a um aumento de US\$ 9,070 bilhões no VPL. As demais contas do fluxo de caixa não foram alteradas, tendo somente alteração no valor dos impostos (igual a 0). Em relação ao planejamento da cadeia, também não houve alterações nas localidades das plantas e CDs. Ainda, a demanda atendida foi de 1,5 bilhões de pessoas, correspondendo a 3 bilhões de vacinas por período.

Tabela 9 – Resultados sem impostos na Empresa B

	Cenário Base	Sem Impostos (T12B)	Variação
(+) Receita de vendas	US\$ 54.966.589.539,30	US\$ 54.966.589.539,30	0,00%
(-) Custos de produção	US\$ 18.037.161.784,96	US\$ 18.037.161.784,96	0,00%
(-) Custos fixos	US\$ 5.716.705.616,49	US\$ 5.716.705.616,49	0,00%
(-) Custos variáveis	US\$ 12.320.456.168,47	US\$ 12.320.456.168,47	0,00%
(-) Despesas de produção	US\$ 1.417.166.518,37	US\$ 1.417.166.518,37	0,00%
(-) Custos dos CDs	US\$ 51.306.710,77	US\$ 51.306.710,77	0,00%
(-) Despesas dos CDs	US\$ 0,00	US\$ 0,00	-
(-) Custos de transporte	US\$195.299.896,82	US\$195.299.896,82	0,00%
(-) Despesas financeiras	US\$ 2.850.473.686,58	US\$ 2.850.473.686,58	0,00%
(-) Impostos	US\$ 9.070.520.634,58	US\$ 0,00	-100,00%
(-) Investimentos	US\$ 5.893.454.324,00	US\$ 5.893.454.324,00	0,00%
Valor Presente Líquido (VPL)	US\$ 17.451.205.983,22	US\$ 26.521.726.617,80	51,98%

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3.4 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES DESCONSIDERANDO A INFLAÇÃO

Nesta subseção foram realizados testes computacionais desconsiderando a inflação das plantas e CDs. Busca-se por meio desses testes verificar o impacto na abertura das instalações. Assim, nesse teste não foi considerada a inflação nos parâmetros de custos e despesas das plantas e CDs (Teste 13).

A Tabela 10 retrata os resultados desse teste na Empresa A. Verifica-se que as alterações afetaram diretamente os custos e despesas, havendo reduções na casa dos 5%. A receita permanece a mesma, bem como os investimentos. O VPL teve um leve aumento de 1,84%. Na configuração da cadeia, não há alterações na abertura de plantas. Já em relação aos CDs há substituições, sendo que Zagreb (Croácia), Helsinki (Finlândia), Riga (Letônia) e Bangkok (Tailândia) são substituídos pelos CDs de Praga (República Checa), Jakarta (Indonésia), Bayrakli (Turquia) e Nova Iorque (EUA). Essas alterações ocorrem pois os CDs apresentam menores custos no somatório dos períodos comparados aos CDs do cenário base. Em relação ao atendimento da demanda, são atendidas 1,1 bilhões de pessoas, correspondendo a 2,2 bilhões de vacinas produzidas em cada período.

Tabela 10 - Resultados desconsiderando a inflação na Empresa A

	Cenário Base	Sem Inflação (T13A)	Variação
(+) Receita de vendas	US\$ 145.429.493.258,94	US\$ 145.429.493.258,94	0,00%
(-) Custos de produção	US\$ 36.265.920.790,23	US\$ 34.339.941.371,32	-5,31%
(-) Custos fixos	US\$ 1.437.128.100,74	US\$ 1.359.194.075,85	-5,42%
(-) Custos variáveis	US\$ 34.828.792.689,49	US\$ 32.980.747.295,47	-5,30%
(-) Despesas de produção	US\$ 290.006.183,65	US\$ 274.279.437,28	-5,42%
(-) Custos dos CDs	US\$ 38.036.971,59	US\$ 35.762.275,24	-5,98%
(-) Despesas dos CDs	US\$ 0,00	US\$ 0,00	-
(-) Custos de transporte	US\$138.903.250,89	US\$ 138.911.811,92	0,006%
(-) Despesas financeiras	US\$ 0,00	US\$ 0,00	-
(-) Impostos	US\$ 19.341.108.066,27	US\$ 19.704.742.558,22	1,88%
(-) Investimentos	US\$ 3.521.534.320,00	US\$ 3.521.534.320,00	0,00%
Valor Presente Líquido (VPL)	US\$ 85.833.983.676,31	US\$ 87.414.321.484,96	1,84%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 11 detalha o impacto no fluxo de caixa da Empresa B. Do mesmo modo que a Empresa A, houve alterações apenas nos custos e despesas da Empresa B, com reduções em torno de 3%. O VPL teve um leve aumento de 3,11% em relação cenário base, como esperado desconsiderando os impactos da inflação. Em relação à configuração da cadeia, não há alterações na localização das plantas secundárias e CDs da Empresa B no teste em que a inflação de cada país é desconsiderada. Não ocorreram mudanças pois os custos da cadeia de suprimentos do cenário base apresentam os menores custos e despesas, mantendo assim a mesma estrutura quando é desconsiderada a inflação nesses parâmetros.

Tabela 11 - Resultados desconsiderando a inflação na Empresa B

	Cenário Base	Sem Inflação (T13B)	Variação
(+) Receita de vendas	US\$ 54.966.589.539,30	US\$ 54.966.589.539,30	-
(-) Custos de produção	US\$ 18.037.161.784,96	US\$ 17.360.466.036,19	-3,75%
(-) Custos fixos	US\$ 5.716.705.616,49	US\$ 5.500.455.884,12	-3,78%
(-) Custos variáveis	US\$ 12.320.456.168,47	US\$ 11.860.010.152,06	-3,74%
(-) Despesas de produção	US\$ 1.417.166.518,37	US\$ 1.363.558.391,44	-3,78%
(-) Custos dos CDs	US\$ 51.306.710,77	US\$ 49.423.592,78	-3,67%
(-) Despesas dos CDs	US\$ 0,00	US\$ 0,00	-
(-) Custos de transporte	US\$195.299.896,82	US\$195.299.896,82	-
(-) Despesas financeiras	US\$ 2.850.473.686,58	US\$ 2.850.473.686,58	-
(-) Impostos	US\$ 9.070.520.634,58	US\$ 9.260.826.655,82	-2,10%
(-) Investimentos	US\$ 5.893.454.324,00	US\$ 5.893.454.324,00	-
Valor Presente Líquido (VPL)	US\$ 17.451.205.983,22	US\$ 17.993.086.955,68	3,11%

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3.5 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES CONSIDERANDO APENAS CDS PRÓPRIOS

Nesta subseção foram realizados testes computacionais considerando apenas a abertura de CDs próprios, ou seja, não havendo a possibilidade de abertura dos CDs terceirizados. Pretende-se verificar o impacto da abertura dos CDs próprios nos investimentos e, conseqüentemente, no VPL. Desta forma, o teste foi realizado considerando apenas os CDs próprios (Teste 14).

A Tabela 12 detalha o impacto da abertura dos CDs próprios na Empresa A. Os resultados demonstram que ao abrir CDs próprios, há um aumento de 8,95% nos investimentos. Verifica-se que a receita diminuiu em 2,20%, resultado do menor número de vendas, 2,15 bilhões de vacinas, relacionadas a capacidade de armazenamento dos novos CDs abertos. Diante disso, são atendidas 1,075 bilhões de pessoas, tendo uma redução de 250 milhões de pessoas atendidas comparado ao cenário base. Entretanto, nota-se que os custos dos CDs são muito menores comparados ao cenário base, tendo uma redução de 71,83%. Ainda, o VPL teve uma leve redução de 2,53% comparado ao cenário base. Em relação à configuração da cadeia, a localização das plantas secundárias apresenta poucas alterações, tendo apenas a substituição da planta de Suzhou (China) para Wuxi (China). Como não houve CDs próprios no cenário base, todos os CDs foram substituídos. Os CDs abertos foram de Leopoldsdorf (Austria), Zaventem (Bélgica), Karlsruhe (Alemanha), Kalamazoo (EUA), Wisconsin (EUA) e Memphis (EUA).

Tabela 12 - Resultados com os CDs próprios da Empresa A

	Cenário Base	CDs Próprios (T14A)	Variação
(+) Receita de vendas	US\$ 145.429.493.258,94	US\$ 142.229.216.267,98	-2,20%
(-) Custos de produção	US\$ 36.265.920.790,23	US\$ 35.396.320.902,27	15,93%
(-) Custos fixos	US\$ 1.437.128.100,74	US\$ 1.344.999.626,30	-6,41%
(-) Custos variáveis	US\$ 34.828.792.689,49	US\$ 34.051.321.275,97	-2,23%
(-) Despesas de produção	US\$ 290.006.183,65	US\$ 271.415.059,26	-6,41%
(-) Custos dos CDs	US\$ 38.036.971,59	US\$ 10.716.666,62	-71,83%
(-) Despesas dos CDs	US\$ 0,00	US\$ 5.573.345,15	-
(-) Custos de transporte	US\$ 138.903.250,89	US\$ 146.116.899,14	5,19%
(-) Despesas financeiras	US\$ 0,00	US\$ 138.411.277,00	-
(-) Impostos	US\$ 19.341.108.066,27	US\$ 18.763.086.571,62	-2,99%
(-) Investimentos	US\$ 3.521.534.320,00	US\$ 3.836.661.033,52	8,95%
Valor Presente Líquido (VPL)	US\$ 85.833.983.676,31	US\$ 83.660.914.513,39	-2,53%

Fonte: Elaborado pelo autor.



A Tabela 13 retrata os resultados desse teste na Empresa B. Verifica-se um resultado financeiro menor na Empresa B comparada a Empresa A. A receita de vendas teve uma redução de 10%, principalmente pela não abertura da planta de Bangalore (Índia), o que ocasiona uma menor produção, em 2,7 bilhões de vacinas. Diante disso, são atendidas 1,35 bilhões de pessoas, correspondendo a uma redução de 150 milhões de pessoas atendidas comparadas ao cenário base. Da mesma forma que na Empresa A, os custos dos CDs tiveram reduções altas, no valor de 75,87% comparado ao cenário base. Ainda, o VPL teve uma redução considerável de 18,90%. Em relação ao planejamento da cadeia, a planta de Bangalore (Índia) não é aberta. Isso ocorre, pois o valor do investimento da planta é utilizado para a abertura dos CDs próprios. Assim, são abertos os CDs de Guangzhou (China), Vorsino (Rússia), Istambul (Turquia), Macclesfield (EUA), Fort Washington (EUA), Gaithersburg (EUA), Washington (EUA) e Ho Chin Mi (Vietnã).

Tabela 13 - Resultados com os CDs próprios da Empresa B

	Cenário Base	CDs Próprios (T14B)	Variação
(+) Receita de vendas	US\$ 54.966.589.539,30	US\$ 49.469.930.585,37	-10,00%
(-) Custos de produção	US\$ 18.037.161.784,96	US\$ 16.338.412.550,90	-9,41%
(-) Custos fixos	US\$ 5.716.705.616,49	US\$ 5.142.353.411,40	-10,04%
(-) Custos variáveis	US\$ 12.320.456.168,47	US\$ 11.196.059.139,50	-9,12%
(-) Despesas de produção	US\$ 1.417.166.518,37	US\$ 1.274.785.089,38	-10,04%
(-) Custos dos CDs	US\$ 51.306.710,77	US\$ 12.379.805,33	-75,87%
(-) Despesas dos CDs	US\$ 0,00	US\$ 5.744.889,84	-
(-) Custos de transporte	US\$195.299.896,82	US\$ 177.787.235,75	-8,96%
(-) Despesas financeiras	US\$ 2.850.473.686,58	US\$ 3.204.795.338,54	12,43%
(-) Impostos	US\$ 9.070.520.634,58	US\$ 7.973.862.147,32	-12,09%
(-) Investimentos	US\$ 5.893.454.324,00	US\$ 6.329.564.763,38	7,40%
Valor Presente Líquido (VPL)	US\$ 17.451.205.983,22	US\$ 14.152.598.764,93	-18,90%

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3.6 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NA DEMANDA

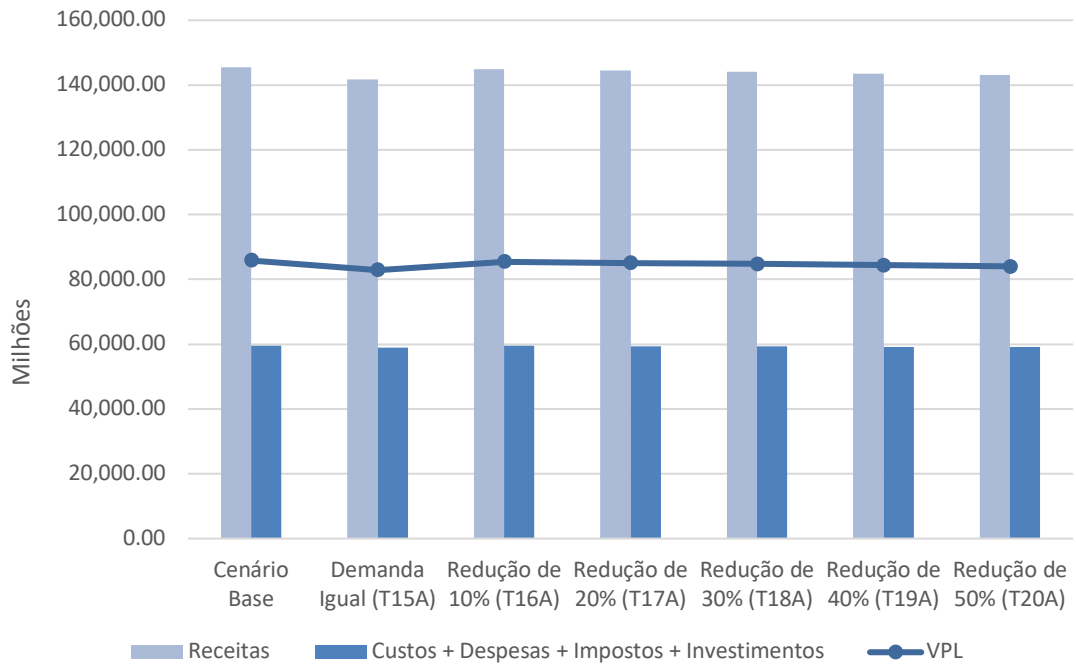
Nesta subseção são apresentados os resultados de testes com variações na demanda dos países. Como foi considerada que cada empresa poderia atender todos os mercados sem concorrência, pretende-se por meio desses testes avaliar o impacto de redução da demanda devido à concorrência com outras empresas fornecendo produtos semelhantes. Foi realizado um teste considerando uma demanda igual para todos os países (Teste 15), nesse caso a

demanda de cada país foi de 25 milhões de doses por período. Ainda foram realizados testes reduzindo simultaneamente a demanda de todos os países em 10% (Teste 16), 20% (Teste 17), 30% (Teste 18), 40% (Teste 19) e 50% (Teste 20). Busca-se verificar o impacto na abertura das instalações e, adicionalmente, os resultados no fluxo de caixa.

A Figura 22 ilustra os resultados dos testes alterando a demanda na Empresa A. Verifica-se que a alteração que causa maior impacto nos resultados financeiros consiste na demanda igualitária para todos os países. Neste teste a demanda de todos os países é atendida. O VPL nesse caso é reduzido em 3,46% comparado ao cenário base. Em relação à configuração da cadeia, nesse teste não há alterações na localização das plantas secundárias. No entanto, ocorrem mudanças na localização dos CDs, sendo que os CDs de Helsinki (Finlândia), Seul (Coreia do Sul) e Varsóvia (Polônia) são substituídos pelos de Quito (Equador), Mumbai (Índia) e Herlziya (Israel). Essas alterações ocorrem em razão dos custos de transporte, onde a localidades desses centros ocasiona um menor custo. Verifica-se ainda que os testes com redução de demanda pouco impactam nos resultados financeiros da Empresa A. Por exemplo, reduzindo a demanda em 50% de todos os países, houve uma diminuição de 2,15% no VPL comparado ao cenário base. Assim, na medida em que ocorre uma diminuição na demanda, mais países são atendidos. Em relação à configuração da cadeia, não ocorre alterações na localização das plantas secundárias e CDs comparado ao cenário base.

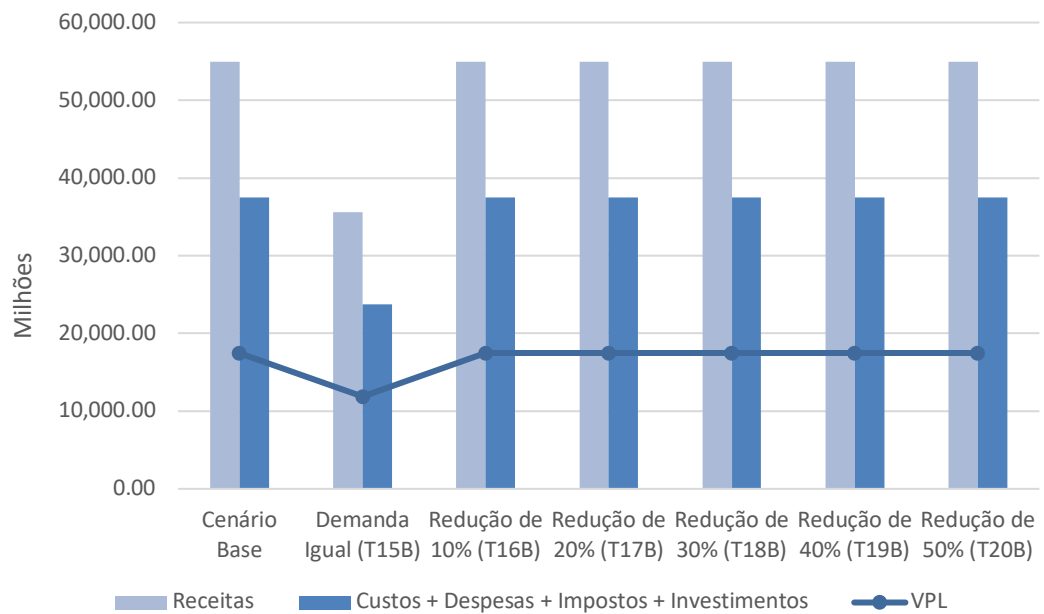
A Figura 23 ilustra os resultados desses testes na Empresa B. Nota-se novamente que o maior impacto foi nos testes com demanda igual para todos os países. A demanda de 78 países é atendida, resultando em uma diminuição de 31,94% no VPL em relação ao cenário base. A configuração da cadeia resultante deste teste tem quatro plantas secundárias a menos quando comparada ao cenário base, sendo elas de Bangalore (Índia), Cidade do México (México), West Chester (EUA) e Filadélfia (EUA). Da mesma forma, os CDs de Praga (República Checa), Talin (Estônia), Vilnius (Lituânia), Al-Diriyah (Arábia Saudita), Belgrado (Sérvia) e Dubai (EAU) não são abertos comparados ao cenário base. No entanto, o CD de Johannesburgo (África do Sul) é aberto nesse teste. Nos outros testes, verifica-se pouca alteração nos resultados financeiros, não sendo significativos para impactar os resultados. Em relação à configuração da cadeia, apenas quando há redução de 10% e 30%, a planta de West Chester (EUA) é substituída pela de Frederick (EUA). Por fim, os CDs se mantem os mesmos do cenário base.

Figura 22 - Resultado dos testes alterando a demanda na Empresa A



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 - Resultado dos testes alterando a demanda na Empresa B



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.4 ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO FINANCEIRO NOS TESTES

Nesta seção é apresentada uma análise comparativa do desempenho financeiro dos testes computacionais efetuados para a base de dados da Empresa A e da Empresa B. Diante disso, são apresentados: (i) valor presente líquido (VPL); (ii) o retorno sobre os investimentos (ROI); (iii) o retorno sobre o patrimônio líquido (ROE) e; (iv) o índice de lucratividade (IL). Ademais, é apresentada uma estatística descritiva desses resultados, destacando a mediana, a média, o desvio padrão, o mínimo e o máximo desses indicadores financeiros.

A Tabela 14 apresenta os resultados da análise comparativa do desempenho financeiro dos testes computacionais da Empresa A. Observa-se que o melhor resultado para o VPL foi no teste em que os impostos foram desconsiderados. Assim, verifica-se que os impostos impactam diretamente nos resultados da Empresa A, sendo uma característica responsável da abertura das plantas. Como esperado, o pior resultado para o VPL foi no teste com redução do preço de venda em 50%. Contudo, observa-se que os resultados do VPL foram positivos em todos os testes, designando assim a viabilidade financeira da produção de vacinas pela Empresa A. O ROI teve uma média de 2.216%, ou seja, o retorno sobre os investimentos resultados é bastante expressivo. O melhor resultado aconteceu no teste desconsiderando os impostos. Um ponto importante na análise financeira acontece com o ROE, permitindo uma análise estratégica dos investimentos. Observa-se que o melhor resultado acontece justamente quando se reduz o capital próprio em 50%. Diante disso, o investimento do capital próprio é menor, ocasionando num maior retorno sobre o patrimônio líquido. Verifica-se assim que cabe ao gestor entender os objetivos da empresa para definir a estrutura de capital, ou seja, caso o objetivo seja um maior retorno no capital próprio investido, a maior utilização de capital de terceiros é desejada. O IL mostra que a média da lucratividade é 22,16 vezes o investimento, evidenciando a alta lucratividade da produção de vacinas. Ressaltando que os resultados podem estar com os custos subestimados. Contudo, projeções reais da empresa demonstram os altos retornos da produção e distribuição de vacinas, sendo que a Empresa A estima que as receitas provenientes das vacinas contra a COVID-19 representarão 1/3 da receita total da companhia em 2021.

A Tabela 15 mostra os resultados dos indicadores financeiros nos testes com os dados da Empresa B. Assim como para a empresa A, observa-se que o melhor VPL é no teste sem incluir os impostos. Já, o pior resultado acontece quando há diminuição de 50% no preço de venda, sendo que nesse caso o investimento para a produção de vacinas é inviável

financeiramente. Em praticamente todos os testes os valores de VPL são positivos, exceto no caso de redução do preço de venda em 50%, em que não há valor para o VPL em razão da não produção de vacinas. Os resultados do ROI tiveram uma média de 255,07%, destacando o retorno positivo dos investimentos. Ainda, os resultados do ROE evidenciam novamente a possibilidade estratégica dos investimentos por meio do capital próprio e de terceiros. Da mesma forma, verifica-se que com a redução de 50% no capital próprio obteve-se os melhores retornos sobre o capital próprio. Destacando que mesmo tendo um VPL menor comparado ao cenário base (US\$ 14.312 bilhões), o ROE é de 1200,17%, valor maior que os 731,71% do cenário base. Novamente, cabe aos gestores a decisão estratégica da estrutura de capital da empresa visando os objetivos financeiros. Por fim, o IL mostra que teve uma média de lucratividade de 2,55 vezes o investimento, evidenciando a lucratividade positiva dos investimentos.

Comparando os resultados das empresas, observa-se que a Empresa A apresenta um preço de venda maior que o da Empresa B. Verifica-se ainda que, em ambas as empresas, os resultados evidenciam a viabilidade financeira da produção de vacinas. Diante disso, os retornos em praticamente todos os testes apresentam resultados positivos. Ademais, dependendo da estrutura de capital das empresas e da estratégia financeira a longo prazo, a utilização de capital de terceiros permite alavancar os investimentos do capital próprio das companhias.

Tabela 14 - Síntese do desempenho financeiro dos testes na Empresa A

Testes	Capital Próprio (US\$)	Investimento (US\$)	VPL (US\$)	ROI	ROE	IL
CENÁRIO BASE	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	85.833.983.676,31	2437,40%	2437,40%	24,37
T1A	3.299.670.000,00	3.521.534.000,00	85.653.622.129,43	2432,28%	2595,82%	24,32
T2A	2.933.040.000,00	3.521.534.000,00	85.355.856.438,80	2423,83%	2910,15%	24,24
T3A	2.566.410.000,00	3.521.534.000,00	85.057.984.763,35	2415,37%	3314,28%	24,15
T4A	2.199.780.000,00	3.521.534.000,00	84.760.113.087,91	2406,91%	3853,12%	24,07
T5A	1.833.150.000,00	3.521.534.000,00	84.462.241.412,46	2398,45%	4607,49%	23,98
T6A	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	86.177.209.760,64	2447,15%	2447,15%	24,47
T7A	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	73.882.406.480,64	2098,02%	2098,02%	20,98
T8A	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	61.930.829.284,97	1758,63%	1758,63%	17,59
T9A	3.419.775.000,00	3.419.775.000,00	50.014.152.848,49	1462,50%	1462,50%	14,62
T10A	3.320.846.000,00	3.320.846.000,00	38.267.947.166,53	1152,36%	1152,36%	11,52
T11A	3.320.846.000,00	3.320.846.000,00	26.555.082.016,87	799,65%	799,65%	8,00
T12A	3.281.274.000,00	3.281.274.000,00	107.033.329.133,65	3261,94%	3261,94%	32,62
T13A	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	87.414.321.484,96	2482,28%	2482,28%	24,82
T14A	3.666.300.000,00	3.836.661.000,00	83.660.914.513,39	2180,57%	2281,89%	21,81
T15A	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	82.863.370.197,67	2353,05%	2353,05%	23,53
T16A	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	85.488.254.782,54	2427,59%	2427,59%	24,28
T17A	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	85.119.472.307,18	2417,11%	2417,11%	24,17
T18A	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	84.745.802.647,65	2406,50%	2406,50%	24,07
T19A	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	84.371.817.438,98	2395,88%	2395,88%	23,96
T20A	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	83.997.832.230,31	2385,26%	2385,26%	23,85
MEDIANA	3.521.534.000,00	3.521.534.000,00	84.745.802.647,65	2406,50%	2417,11%	24,07
MÉDIA	3.265.617.380,95	3.501.140.285,71	77.745.073.514,42	2216,32%	2468,96%	22,16
DESVIO PADRÃO	484.753.211,18	109.362.278,52	18.542.563.891,18	529,04%	845,26%	5,29
MÍNIMO	1.833.150.000,00	3.281.274.000,00	26.555.082.016,87	799,65%	799,65%	8,00
MÁXIMO	3.666.300.000,00	3.836.661.000,00	107.033.329.133,65	3261,94%	4607,49%	32,62

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15 - Síntese do desempenho financeiro dos testes na Empresa B

Testes	Capital Próprio (US\$)	Investimento (US\$)	VPL (US\$)	ROI	ROE	IL
CENÁRIO BASE	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	17.451.205.983,22	296,11%	731,71%	2,961
T1B	2.146.050.000,00	5.893.454.000,00	17.257.069.014,49	292,82%	804,13%	2,928
T2B	1.908.000.000,00	5.814.740.000,00	16.749.703.177,82	288,06%	877,87%	2,881
T3B	1.650.600.000,00	5.609.781.000,00	15.932.029.937,13	284,00%	965,23%	2,840
T4B	1.431.000.000,00	5.356.335.000,00	15.113.740.634,99	282,17%	1056,17%	2,822
T5B	1.192.500.000,00	5.151.376.000,00	14.312.057.719,32	277,83%	1200,17%	2,778
T6B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	7.703.838.452,79	130,72%	323,01%	1,307
T7B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	13.356.195.062,54	226,63%	560,01%	2,266
T8B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	9.261.184.141,86	157,14%	388,31%	1,571
T9B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	5.166.173.221,19	87,66%	216,61%	0,877
T10B	2.385.000.000,00	4.914.851.000,00	1.180.864.622,36	24,03%	49,51%	0,240
T11B	0,00	0,00	0,00	-	-	-
T12B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	26.521.726.617,80	450,02%	1112,02%	4,500
T13B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	17.993.086.955,68	305,31%	754,43%	3,053
T14B	2.385.000.000,00	6.329.564.000,00	14.152.598.764,93	223,60%	593,40%	2,236
T15B	2.385.000.000,00	4.027.863.000,00	11.876.604.820,53	294,86%	497,97%	2,949
T16B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	17.450.723.673,76	296,10%	731,69%	2,961
T17B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	17.450.241.364,29	296,10%	731,67%	2,961
T18B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	17.449.759.054,83	296,09%	731,65%	2,961
T19B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	17.449.276.745,37	296,08%	731,63%	2,961
T20B	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	17.448.724.211,39	296,07%	731,60%	2,961
MEDIANA	2.385.000.000,00	5.893.454.000,00	15.932.029.937,13	290,44%	731,66%	2,90
MÉDIA	2.100.150.000,00	5.419.972.000,00	13.870.324.008,39	255,07%	689,44%	2,55
DESVIO PADRÃO	597.513.043,37	1.333.773.577,96	6.214.704.384,90	93,21%	293,28%	0,93
MÍNIMO	0,00	0,00	0,00	24,03%	49,51%	0,24
MÁXIMO	2.385.000.000,00	6.329.564.000,00	26.521.726.617,80	450,02%	1200,17%	4,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho alguns aspectos financeiros são incorporados na modelagem do problema de planejamento da cadeia global de suprimentos, mais especificamente considerando o planejamento de empresas do setor farmacêutico. Assim, um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) para o problema de planejamento de cadeias de suprimentos globais é formulado considerando na função objetivo o valor presente líquido (VPL) na produção de medicamentos. Ainda, são considerados no modelo a possibilidade de captar recursos por meio de empréstimos e financiamentos para abertura de plantas e CDs, a incorporação de juros compostos no cálculo de despesas financeiras e a possibilidade de aplicar o capital próprio no mercado financeiro, como estratégia para incluir a taxa mínima de atratividade dos investimentos. O modelo é testado com dados baseados em duas empresas do setor, consideradas como *Big Pharmas* e que estão entre as empresas pioneiras no desenvolvimento, produção e distribuição de vacinas em escala global para imunização contra o vírus do Sars-CoV-2.

Os resultados do cenário base em ambas as empresas evidenciam que investir na produção de vacinas é mais vantajoso financeiramente do que investir no mercado financeiro, ou seja, para o conjunto de dados das duas empresas, a produção de vacinas apresenta melhores resultados financeiros. Assim, o VPL apresenta resultados positivos nos dois casos, demonstrando a viabilidade financeira no planejamento da cadeia. Ainda em relação aos aspectos financeiros, a utilização de capital de terceiros permite analisar o impacto da estrutura de capital no planejamento da produção de medicamentos. A incorporação desses aspectos financeiros estabelece um embasamento mais consistente para a análise de cenários no processo de tomada de decisão, baseada nos aspectos tanto operacionais como também financeiros. A partir dos resultados obtidos nos testes, foram calculados outros indicadores financeiros (ROI, ROE e IL). Os valores obtidos apontam vantagens significativas ao investir na produção de vacinas, com altos retornos em todos os métodos de análise financeira. Para a Empresa A, o ROI e o ROE foram de 2.437,40%, e o índice de lucratividade (IL) foi de 24,37. Em relação à Empresa B, o ROI foi de 296,11%, o ROE foi de 731,71% (em razão da utilização de capital de terceiros, aumentando o retorno sobre o capital próprio) e o IL representou 2,96 vezes os investimentos realizados pela Empresa B. Da mesma forma, os resultados em diferentes cenários demonstraram em praticamente todos os testes a viabilidade financeira da produção de



vacinas, exceto no cenário com redução do preço em 50% para a Empresa B, tornando o projeto inviável financeiramente. Ou seja, reduções no preço de venda podem inviabilizar a produção de vacinas. Por meio da análise comparativa do desempenho financeiro, observa-se o alto retorno financeiro em investimentos para a produção de vacina nos demais cenários. Contudo, é importante salientar que esses resultados são decorrentes do cenário atípico da situação de emergência causada pela COVID-19, onde os governos buscaram com celeridade uma forma de diminuir os casos e mortes causados pelo vírus Sars-CoV-2.

A análise dos resultados nos diferentes cenários permite verificar que: (i) a utilização de capital de terceiros impacta diretamente no ROE das empresas, devido aos maiores retornos provenientes dos investimentos no capital próprio; (ii) a inflação impacta diretamente na abertura de plantas e CDs, ao direcionar a produção em cada período. Ou seja, ao não considerar a inflação nos parâmetros, os custos e despesas das instalações nos períodos subsequentes não são atualizados. Assim, podem afetar o desempenho da cadeia global, tornando a produção de medicamentos inviável financeiramente no decorrer do horizonte de planejamento; (iii) ao utilizar CDs próprios, centraliza-se a distribuição em menos localidades e diminui a produção de medicamentos, pois o capital é direcionado na abertura dos CDs próprios e; (iv) a redução na demanda dos países em razão da concorrência aumenta o número de países atendidos, porém diminui o VPL das empresas ao atender os países com menor preço de venda.

Apesar dos resultados dos indicadores financeiros apontarem alto retorno dos investimentos para a produção de vacinas, os dados utilizados podem ter sido subestimados, para avaliar adequadamente o planejamento de cada empresa seria necessário utilizar alguns dados primários, fornecidos pelas empresas, para uma avaliação e validação dos resultados com os decisores. No entanto, o modelo facilita o processo decisório das empresas, permitindo uma análise financeira do planejamento das cadeias em diferentes cenários. No planejamento físico das cadeias, uma característica observada nos resultados do modelo é a utilização de CDs terceirizados, em alinhamento com a prática que as empresas do setor têm utilizado, principalmente pela urgência e flexibilidade para distribuição das vacinas ao redor do globo. No caso da Empresa A, um resultado interessante nos testes é a escolha de países com menores valores de impostos para a abertura de plantas secundárias. Por outro lado, na Empresa B são selecionados os locais candidatos com maior capacidade de produção para a abertura de plantas, pois, como o preço de venda é menor, a empresa precisa de alta escala de produção para viabilizar os investimentos.

Uma perspectiva futura de pesquisa consiste em avaliar o modelo com dados de outras empresas, tanto em relação às vacinas como também outros tipos de medicamentos que possibilitem novos *insights* sobre o planejamento das cadeias de produção de novos medicamentos. Ainda nesse sentido, outro ponto é verificar o desempenho do modelo em relação a instâncias maiores (maior número de locais candidatos à instalação de plantas secundárias e CDs). Outra perspectiva de pesquisa consiste em incluir o risco associado a cada candidato, tornando o modelo multiobjetivo. Diante disso, investigar outros critérios econômicos e financeiros para mitigar o risco do planejamento da cadeia pode trazer novas discussões a respeito da relação econômica/financeira entre risco e retorno. Ademais, aspectos macroeconômicos podem ser investigados relacionando os efeitos do planejamento estratégico das empresas farmacêuticas em cenários de pandemia. Ainda, pesquisas incluindo a precificação podem trazer novos debates macroeconômicos ao problema, principalmente investigando os efeitos da precificação de ativos num ambiente oligopolista. Outra perspectiva consiste em investigar a depreciação no fluxo de caixa e o aumento do horizonte de planejamento, em razão da relevância e impactos diretos no VPL. Por fim, um rumo de pesquisa relacionando diferentes farmacêuticas num ambiente com concorrência perfeita, por exemplo, com medicamentos sem patentes, permite investigar o equilíbrio econômico/financeiro dessas empresas.

## REFERÊNCIAS

- ABDULGHANI, I.; BERMAMET, H.; ALTARAZI, S. Pharmaceutical Supply Chain Cost optimization Model Considering Multiple Echelons and Multiple Drugs. **2019 IEEE 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications, ICIEA 2019**, p. 709–713, 2019.
- AGAR, C. **Capital Investment and Financing: A Practical Guide to Financial Evaluation**. 2005.
- AGGARWAL, R.; SINGH, S. P. An integrated NPV-based supply chain configuration with third-party logistics services. **Journal of Revenue and Pricing Management**, v. 18, n. 5, p. 367–375, 2019.
- ARCADIS. **2019 International Construction Costs**. Disponível em: <<https://media.arcadis.com>>. Acesso em: 3 mar. 2021.
- ASSAF NETO, A. **Finanças Corporativas e Valor**. Atlas, 2010.
- AYATI, N.; SAIYARSARAI, P.; NIKFAR, S. Short and long term impacts of COVID-19 on the pharmaceutical sector. **DARU, Journal of Pharmaceutical Sciences**, 2020.
- AYDIN, G.; CATTANI, K.; DRUEHL, C. Global supply chain management. **Business Horizons**, 2014.
- BBC. **Covid vaccines: Will drug companies make bumper profits?** Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/business-55170756>>. Acesso em: 16 jan. 2021.
- BCG. **A Manufacturing Strategy Built for Trade Instability**. Disponível em: <<https://www.bcg.com/pt-br/publications/2020/manufacturing-strategy-built-trade-instability>>. Acesso em: 3 mar. 2021.
- BEAMON, B. M. Supply chain design and analysis: Models and methods. **International Journal of Production Economics**, v. 55, p. 281–294, 1998.
- CANIATO, F.; GOLINI, R.; KALCHSCHMIDT, M. The effect of global supply chain configuration on the relationship between supply chain improvement programs and performance. **International Journal of Production Economics**, v. 143, n. 2, p. 285–293, 2013.
- CDC. **Pfizer-BioNTech COVID-19 Vaccine**. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/vaccines/covid-19/info-by-product/pfizer/index.html>>. Acesso em: 5 mar. 2021.
- CHOI, T. Y.; HONG, Y. Unveiling the structure of supply networks: Case studies in Honda, Acura, and DaimlerChrysler. **Journal of Operations Management**, v. 20, n. 5, p. 469–493, 2002.

CNBC. **U.S. plans to ship 2.9 million Covid vaccine doses as early as the end of this week.** Disponível em: < <https://www.cnn.com/2020/12/09/coronavirus-vaccine-us-plans-to-ship-2point9-million-covid-doses-as-early-as-the-end-of-this-week.html>>. Acesso em: 09 mar. 2021.

CNQ. **Panorama Indústria farmacêutica.** Confederação Nacional do Ramo Químico, 2015.

COCKBURN, I. M. The changing structure of the pharmaceutical industry. **Health Affairs**, v. 23, n. 1, p. 10–22, 2004.

DAMODARAN. **Data.** Disponível em: <<http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

EVALUATE. **World Preview 2019, Outlook to 2024.** Evaluate Pharma, 2019.

FARAHANI, M.; RAHMANI, D. Production and distribution planning in petroleum supply chains regarding the impacts of gas injection and swap. **Energy**, v. 141, p. 991–1003, 2017.

FERNÁNDEZ, P. WACC: Definition, Misconceptions, and Errors. **Business Valuation Review**, v. 29, n. 4, p. 138–144, 2010.

GAVI. **Are COVID-19 vaccine expiration dates too cautious?** Disponível em: < <https://www.gavi.org/vaccineswork/are-covid-19-vaccine-expiration-dates-too-cautious>>. Acesso em: 03 mar. 2021.

GOETSCHALCKX, M.; VIDAL, C. J.; DOGAN, K. Modeling and design of global logistics systems : A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms. **European Journal of Operational Research**, v. 143, p. 1–18, 2002.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction To Operations Research.** [s.l.] McGraw-Hill, 2001.

INTERFARMA. **Guia 2019**, 2019. Disponível em: <<https://www.interfarma.org.br/public/files/biblioteca/guia-interfarma-2019-interfarma2.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2020.

KOBERG, E.; LONGONI, A. A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 1084–1098, 2019.

KOSTIN, A. *et al.* Optimization-based approach for maximizing profitability of bioethanol supply chain in Brazil. **Computers and Chemical Engineering**, v. 115, p. 121–132, 2018.

KYLE, M. K. The role of firm characteristics in pharmaceutical product launches. **RAND Journal of Economics**, v. 37, n. 3, p. 602–618, 2006.

LAÍNES, J. M. *et al.* Flexible Design-Planning of Supply Chain Networks. **AIChE Journal**, v. 55, n. 7, p. 1736–1753, 2009.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L. The evolution of the pharmaceutical industry. **Business History**, v. 57, n. 5, p. 664–687, 2015.

MARTINS, S. *et al.* An optimization-simulation approach to the network redesign problem of pharmaceutical wholesalers. **Computers and Industrial Engineering**, v. 106, p. 315–328, 2017.

MEIXELL, M. J.; GARGEYA, V. B. Global supply chain design : A literature review and critique. **Transportation Research Part E**, v. 41, p. 531–550, 2005.

MELO, M. . T.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA, F. Facility location and supply chain management – A review. **European Journal of Operational Research**, v. 196, p. 401–412, 2009.

NARASIMHAN, R.; MAHAPATRA, S. Decision models in global supply chain management. **Industrial Marketing Management**, v. 33, p. 21–27, 2004.

NEWSWEEK. **Oxford-AstraZeneca COVID Vaccine Hailed by Scientists As 3 Billion Doses Could Be Rolled Out Next Year**. Disponível em: <<https://www.newsweek.com/oxford-astrazeneca-covid-vaccine-scientists-1549415>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

NHS. **Storage requirements for each COVID-19 Vaccine**. Disponível em: <<https://www.sps.nhs.uk/articles/storage-requirements-for-each-covid-19-vaccine/>>. Acesso em: 9 mar. 2021.

NOBIL, A. H.; JALALI, S.; NIAKI, S. T. A. Financially embedded facility location decisions on designing a supply chain structure: A case study. **Systems Engineering**, v. 21, n. 6, p. 520–533, 2018.

NOBIL, A. H.; TALEIZADEH, A. A. Analysing a fuzzy integrated inventory-production-distribution planning problem with maximum NPV of cash flows in a closed-loop supply chain. **International Journal of Inventory Research**, v. 3, n. 1, p. 31, 2016.

NYPOST. **Coronavirus could take up to 5 years to get under control, WHO chief scientist warns**. Disponível em: <<https://nypost.com/2020/05/13/coronavirus-could-take-4-or-5-years-to-get-under-control-who/>>. Acesso em: 15 jun. 2021.

OCDE. **GDP Deflators, forecast growth**. Disponível em: <<https://stats.oecd.org>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

OGUMEREM, G. S. *et al.* A multi-objective optimization for the design and operation of a hydrogen network for transportation fuel. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 131, p. 279–292, 2018.

PAPAGEORGIOU, L. G.; ROTSTEIN, G. E.; SHAH, N. Strategic supply chain optimization for the pharmaceutical industries. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 40, n. 1, p. 275–286, 2001.

POLO, A. *et al.* Robust design of a closed-loop supply chain under uncertainty conditions integrating financial criteria. **Omega (United Kingdom)**, v. 88, p. 110–132, 2019.

REIS, C. *et al.* **Panoramas Setoriais 2030 Indústria Farmacêutica** BNDES, 2016. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14242/2/Panoramas Setoriais 2030 - Indústria farmacêutica\\_P\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14242/2/Panoramas_Setoriais_2030_-_Industria_farmacutica_P_BD.pdf)>. Acesso em: 9 jul. 2020.

REUTERS. **Pfizer targets at least 2 billion COVID-19 vaccine doses this year, sees \$15 billion in 2021 from the shots**. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/us-pfizer-results-idUSKBN2A21EO>>. Acesso em: 9 mar. 2021.

SAVADKOOHI, E.; MOUSAZADEH, M.; TORABI, S. A. A possibilistic location-inventory model for multi-period perishable pharmaceutical supply chain network design. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 138, p. 490–505, 2018.

SCHUHMACHER, A.; HINDER, M.; GASSMANN, O. **Value Creation in the Pharmaceutical Industry**. [s.l: s.n.].

SHAH, N. Pharmaceutical supply chains: Key issues and strategies for optimisation. **Computers and Chemical Engineering**, v. 28, n. 6–7, p. 929–941, 2004.

SINGH, S. K.; GOH, M. Multi-objective mixed integer programming and an application in a pharmaceutical supply chain. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 4, p. 1214–1237, 2019.

SONI, G.; KODALI, R. A decision framework for assessment of risk associated with global supply chain. **Journal of Modelling in Management**, v. 8, n. 1, p. 25–53, 2013.

SOUSA, R.; SHAH, N.; PAPAGEORGIOU, L. G. Supply chain design and multilevel planning — An industrial case. **Computers & Chemical Engineering**, v. 32, p. 2643–2663, 2008.

SOUSA, R. T. *et al.* Global supply chain planning for pharmaceuticals. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 89, p. 2396–2409, 2011.

SOUSA, R. T.; SHAH, N.; PAPAGEORGIOU, L. G. Global supply chain network optimisation for pharmaceuticals. **Computer Aided Chemical Engineering**, v. 20, n. C, p. 1189–1194, 2005.

\_\_\_\_\_. Supply Chains of High-Value Low-Volume Products. *In: Supply Chain Optimization*. [s.l: s.n.]. p. 1–27.

STEGEMANN, S. *et al.* Improved therapeutic entities derived from known generics as an unexplored source of innovative drug products. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 44, n. 4, p. 447–454, 2011.

SUSARLA, N.; KARIMI, I. A. Integrated supply chain planning for multinational pharmaceutical enterprises. **Computers and Chemical Engineering**, v. 42, p. 168–177, 2012.

TABRIZI, B. H.; RAZMI, J. A robust optimisation model for global distribution networks design. **Int. J. Logistics Systems and Management**, v. 16, n. 1, p. 85–97, 2013.

TALEIZADEH, A. A.; HAJI-SAMI, E.; NOORI-DARYAN, M. A robust optimization model for coordinating pharmaceutical reverse supply chains under return strategies. **Annals of Operations Research**, v. 291, n. 1–2, p. 875–896, 2020.

TEIXEIRA, A. **A indústria farmacêutica no Brasil: um estudo do impacto socioeconômico dos medicamentos genéricos**. [s.l: s.n.].

THE GUARDIAN. **South Africa paying more than double EU price for Oxford vaccine**. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/world/2021/jan/22/south-africa-paying-more-than-double-eu-price-for-oxford-astrazeneca-vaccine>>. Acesso em: 3 mar. 2021.

TORREYA. **The Future of the Global Pharmaceutical Industry**, 2017. Disponível em: <[https://torreya.com/publications/torreya\\_global\\_pharma\\_industry\\_study\\_october2017.pdf](https://torreya.com/publications/torreya_global_pharma_industry_study_october2017.pdf)>

TRADING ECONOMICS. **Forecasts**. Disponível em: <<https://tradingeconomics.com/forecasts>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

UPS. **2020 UPS Rate & Service Guide**. Disponível em: <[https://www.ups.com/assets/resources/media/daily\\_rates.pdf](https://www.ups.com/assets/resources/media/daily_rates.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2021.

URATA, T. *et al.* Global Supply Chain Network Design for Lower Material-based CO<sub>2</sub> Emissions and Costs between Developed and Emerging Countries. **J Jpn Ind Manage Assoc**, v. 67, p. 156–166, 2016.

VARGAS, M. A. *et al.* **Reestruturação na indústria farmacêutica mundial e seus impactos na dinâmica produtiva e inovativa do setor farmacêutico brasileiro**, 2010. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/267179584>>

WHO. **The Oxford/AstraZeneca COVID-19 vaccine: what you need to know**. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/the-oxford-astrazeneca-covid-19-vaccine-what-you-need-to-know>>. Acesso em: 9 mar. 2021.

WINSTON, W. L. **Operations Research: Applications and Algorithms**. [s.l.] Duxbury Press, 2003.

YAHOO. **Treasury Yield 10 Years**. Disponível em: <<https://finance.yahoo.com/quote/%5ETNX/>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ZAHIRI, B.; JULA, P.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products. **Information Sciences**, v. 423, p. 257–283, 2018.

# APÊNDICES

## A – Demanda atendida nos testes

Tabela A1 – Somatório e estatística descritiva da demanda atendida dos testes na Empresa A (em milhões de doses)

Países	CB	T1A	T2A	T3A	T4A	T5A	T6A	T7A	T8A	T9A	T10A	T11A	T12A	T13A	T14A	T15A	T16A	T17A	T18A	T19A	T20A
Afganistão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47,76	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Argélia	0	0	0	0	0	0	324,28	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	83,11	206,65	215,26
Angola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Argentina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91,67	0	0	0	0	0
Austrália	253,64	253,64	253,64	253,64	253,64	253,64	0	253,64	253,64	253,64	253,64	253,64	253,64	253,64	253,64	125,00	228,27	202,91	177,55	152,18	126,82
Azerbaijão	0	0	0	0	0	0	43,47	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	42,09	36,08	40,09
Bangladesh	144,82	145,36	144,82	144,82	144,82	144,82	643,20	15,74	0	97,56	242,39	262,73	183,28	146,35	0	125,00	161,26	250,40	623,22	586,96	254,51
Bélgica	114,84	114,84	114,84	114,84	114,84	114,84	91,87	114,84	114,84	114,84	114,84	114,84	114,84	114,84	114,84	125,00	103,35	91,87	80,38	68,90	57,42
Benin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Bolívia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Brasil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,00	0	0	0	0	0
Burkina Faso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Burundi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Camboja	0	32,94	0	0	0	0	104,57	32,49	32,49	64,99	65,44	32,94	32,49	97,48	0	125,00	25,74	51,99	30,65	46,23	48,74
Camarões	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	258,76	125,00	232,88	207,01	181,13	155,25	129,38
Canadá	375,89	375,89	375,89	375,89	375,89	375,89	0	375,89	375,89	375,89	375,89	375,89	375,89	375,89	375,89	125,00	338,30	300,71	263,12	0	187,94
Chad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Chile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58,33	0	0	0	0	0
China	0	0	0	0	0	0	1600,99	0	48,78	0	16,28	0	11,55	0	0	125,00	406,15	1295,48	1164,06	960,17	1088,89
Colômbia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Costa do Marfim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Cuba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90,66	125,00	0	0	0	0	0
Rep. Tcheca	106,69	106,69	106,69	106,69	106,69	106,69	55,09	106,69	106,69	106,69	106,69	106,69	106,69	106,69	106,69	125,00	96,02	85,35	74,68	64,01	53,34
Coreia do Norte	0	0	0	0	0	0	102,66	0	0	0	51,33	48,78	0	0	0	125,00	92,39	41,06	35,93	51,59	123,36
Congo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Dominicana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Equador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Egito	0	0	0	0	0	0	333,08	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	309,50	467,99
Etiópia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
França	670,59	670,59	670,59	670,59	670,59	670,59	453,26	670,59	670,59	670,59	670,59	670,59	670,59	670,59	670,59	125,00	603,53	536,47	469,41	402,35	335,29
Alemanha	831,32	831,32	831,32	831,32	831,32	831,32	688,36	831,32	831,32	831,32	831,32	831,32	831,32	831,32	831,32	125,00	748,19	665,06	581,92	498,79	415,66
Gana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0



Grécia	107,16	107,16	107,16	107,16	107,16	107,16	68,74	107,16	107,16	107,16	107,16	107,16	107,16	107,16	107,16	125,00	96,44	85,73	75,01	64,29	53,58
Guatemala	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66,41	125,00	0	0	0	0	0
Guinea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Haiti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Índia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Indonésia	0	15,74	0	0	0	0	252,29	0	15,74	29,29	48,24	43,65	0	31,49	0	125,00	53,42	56,31	33,12	181,90	11,05
Irã	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	33,08	260,48	126,24	414,56
Iraque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Itália	602,97	602,97	602,97	602,97	602,97	602,97	182,94	602,97	602,97	602,97	602,97	602,97	602,97	602,97	602,97	125,00	542,67	482,37	422,08	361,78	301,48
Japão	1262,64	1262,64	1262,64	1262,64	1262,64	1262,64	303,65	1262,64	1262,64	1262,64	1262,64	1262,64	1262,64	1262,64	1262,64	125,00	1136,38	1010,11	883,85	757,58	631,32
Jordânia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	36,36	40,40
Casaquistão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	29,62	25,91	44,43	92,56
Quênia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Madagascar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Malawi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Malásia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	44,73	76,67	95,13
Mali	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
México	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	569,94	125,00	0	0	0	0	0
Marrocos	0	0	0	0	0	0	267,11	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	229,39	13,97	147,93
Moçambique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Myanmar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	47,05	0	102,83	216,18
Nepal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	28,60
Holanda	173,32	173,32	173,32	173,32	173,32	173,32	103,99	173,32	173,32	173,32	173,32	173,32	173,32	173,32	173,32	125,00	155,99	138,66	121,32	103,99	86,66
Niger	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	0	125,00	209,79	186,48	163,17	139,86	116,55
Nigéria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Paquistão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52,97	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Peru	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Filipinas	48,78	48,78	48,78	48,78	48,78	48,78	404,64	0	0	48,78	61,44	0	0	0	0	125,00	53,42	172,98	23,22	1,38	400,89
Polónia	379,70	379,70	379,70	379,70	379,70	379,70	360,06	379,70	379,70	379,70	379,70	379,70	379,70	379,70	379,70	125,00	341,73	303,76	265,79	227,82	189,85
Portugal	102,69	102,69	102,69	102,69	102,69	102,69	82,15	102,69	102,69	102,69	102,69	102,69	102,69	102,69	102,69	125,00	92,42	82,15	71,88	61,61	51,34
Coréia do Sul	517,09	517,09	517,09	517,09	517,09	517,09	206,83	517,09	517,09	517,09	517,09	517,09	517,09	517,09	517,09	125,00	465,38	413,67	361,96	310,25	258,54
Romênia	0	0	0	0	0	0	91,24	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	92,91	72,68	82,82	96,78
Rússia	0	0	0	0	0	0	1194,40	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	63,46	33,97	610,92	721,86
Ruanda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Arabia Saudita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Senegal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Somália	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
África do Sul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Espanha	470,76	470,76	470,76	470,76	470,76	470,76	188,30	470,76	470,76	470,76	470,76	470,76	470,76	470,76	470,76	125,00	423,69	376,61	329,53	282,46	235,35
Sri Lanka	0	0	0	0	0	0	43,69	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	69,76	30,52	52,32	21,80
Sudão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Suécia	102,85	102,85	102,85	102,85	102,85	102,85	82,28	102,85	102,85	102,85	102,85	102,85	102,85	102,85	102,85	125,00	92,56	82,28	71,99	61,71	51,42
Síria	0	0	0	0	0	0	102,42	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	20,48	85,35
Tailândia	0	0	0	0	0	0	0	96,58	0	193,52	0	96,58	49,27	0	0	125,00	208,94	111,40	113,52	176,28	237,09
Tunísia	0	0	0	0	0	0	93,55	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	49,60	56,13	46,77
Turquia	0	0	0	0	0	0	353,70	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	173,30	256,43	386,69
Uganda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Ucrânia	0	0	0	0	0	0	438,15	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	94,43	304,97	266,31	221,92

Reino Unido	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	668,34	125,00	601,50	534,67	467,84	401,00	334,17
Tanzânia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
EUA	3282,39	3282,39	3282,39	3282,39	3282,39	3282,39	0	3282,39	3282,39	3282,39	3282,39	3282,39	3282,39	3282,39	3282,39	125,00	2954,15	2625,91	2297,67	1969,43	1641,19
Uzbequistão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63,76	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Venezuela	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Vietnã	291,54	242,31	291,54	291,54	291,54	291,54	578,77	340,32	388,12	50,98	0	0,44	44,05	209,81	0	125,00	535,29	178,14	264,33	378,31	238,05
Iêmen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Zâmbia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Zimbábue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125,00	0	0	0	0	0
Países Atendidos	22	24	22	22	22	22	34	23	23	25	25	25	27	23	20	89	27	34	39	43	44
Mediana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	125,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	123,59	123,59	123,59	123,59	123,59	123,59	123,59	123,59	123,59	123,59	123,59	123,59	123,59	123,59	120,79	123,60	123,59	123,59	123,59	120,95	123,59
Desvio Padrão	400,50	400,15	400,50	400,50	400,50	400,50	258,60	400,76	401,16	399,78	399,99	400,15	399,65	400,04	402,89	8,26	363,44	342,59	306,47	268,76	245,19
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	3.282,39	3.282,39	3.282,39	3.282,39	3.282,39	3.282,39	1.600,99	3.282,39	3.282,39	3.282,39	3.282,39	3.282,39	3.282,39	3.282,39	3.282,39	125,00	2.954,15	2.625,91	2.297,67	1.969,43	1.641,19

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela A2 – Somatório e estatística descritiva da demanda atendida dos testes na Empresa B (em milhões de doses)

Países	CB	T1B	T2B	T3B	T4B	T5B	T6B	T7B	T8B	T9B	T10B	T11B	T12B	T13B	T14B	T15B	T16B	T17B	T18B	T19B	T20B
Afganistão	380,41	355,26	304,33	337,51	380,41	300,37	261,12	380,41	380,41	345,44	380,41	0	370,24	267,04	0	125	342,37	267,47	266,29	228,25	140,28
Argélia	430,53	430,53	430,53	430,53	430,53	430,53	430,53	430,53	430,53	430,53	430,53	0	430,53	430,53	430,53	125	387,47	344,42	301,37	258,32	215,27
Angola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Argentina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Austrália	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Azerbaijão	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23	0	100,23	100,23	80,18	125	90,2	80,19	70,16	60,14	50,12
Bangladesh	967,5	967,5	734,63	789,1	940,95	880	296,02	967,5	1.000,00	767,5	800	0	800	1.000,00	1.363,17	125	1.000,00	800,00	421,12	0	652,18
Bélgica	0	0	0	0	0	0	114,84	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Benin	114,85	68,91	87,81	78,37	106,33	114,85	22,97	114,85	92,74	91,88	91,88	0	91,88	62,31	0	125	103,36	91,88	80,40	68,91	57,43
Bolívia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77,78	125	0	0	0	0	0
Brasil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.250,07	125	0	0	0	0	0
Burkina Faso	162,57	162,57	114,48	149,69	203,18	144,6	25,62	203,21	162,57	203,21	116,79	0	123,07	169,62	0	125	146,31	162,57	142,25	97,54	71,57
Burundi	23,93	23,06	23,06	0	0	0	0	46,12	23,06	9,65	46,12	0	13,16	23,06	0	125	29,57	18,45	23,45	69,18	57,65
Camboja	151,57	53,62	64,99	97,49	129,99	64,99	93	97,49	64,99	104,57	129,99	0	97,49	64,99	129,99	125	58,49	52,00	66,02	78,00	54,72
Camarões	258,76	118,6	249,82	60,6	58,23	155,25	26,59	225,55	207,01	221,02	117,64	0	103,5	207,01	0	125	199,57	137,45	157,99	145,97	103,51
Canadá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	375,89	125	0	0	0	0	0
Chad	154,77	132,28	153,63	119,4	92,88	48,11	0	123,82	145,54	92,86	80,97	0	61,91	61,91	0	125	111,43	92,66	86,68	76,67	50,27
Chile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
China	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	544,98	125	0	0	0	0	632,41
Colômbia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	503,39	125	0	0	352,38	181,22	217,73
Costa do Marfim	205,73	102,86	154,29	96,04	32,59	51,43	0	102,86	154,29	154,29	51,43	0	173,81	154,29	0	125	158,06	84,18	72,01	123,44	128,58
Cuba	0	0	22,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113,33	125	0	0	63,47	40,80	45,42
Rep. Tcheca	0	0	0	0	0	0	106,69	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Coreia do Norte	173,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	153,99	125	0	0	0	0	25,67
Congo	0	0	173,58	0	0	0	0	0	63,87	101,8	0	0	77,46	0	0	125	156,22	158,60	364,52	312,73	412,31
Dominicana	0	0	21,47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107,38	125	0	0	60,14	51,55	53,69
Equador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173,73	125	0	0	97,29	62,55	69,49
Egito	1.003,88	1.003,88	1.003,88	1.003,88	1.003,38	1.003,88	1.003,88	1.003,88	1.003,88	1.003,88	1.003,88	0	1.003,88	1.003,88	277,81	125	903,49	803,10	702,72	602,33	501,94
Etiópia	975,74	974,15	685,97	476,42	575,22	926,2	476,36	830,14	1.048,31	930,6	467,74	0	1.096,62	1.096,62	0	125	814,75	804,49	779,98	618,28	560,39
França	0	0	0	0	0	0	670,59	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Alemanha	0	0	0	0	0	0	831,32	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Gana	60,83	121,67	182,5	60,83	0	0	0	121,67	191,57	60,83	0	0	243,34	47,68	0	125	109,5	91,75	142,83	157,74	152,09
Grécia	0	0	0	0	0	0	107,16	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Guatemala	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	166,04	125	0	0	92,98	59,77	49,81
Guinéa	51,08	25,54	51,08	25,54	0	0	0	0	25,54	25,54	0	0	76,62	0	25,54	125	0	40,87	35,76	76,63	55,90
Haiti	0	0	22,52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112,63	125	0	0	58,44	27,03	33,79
Índia	1.115,63	1.226,08	683,07	742,79	790,08	887,29	0	1.392,37	1.134,35	1.388,46	480,71	0	950	1.228,09	0	125	1.270,75	1.112,76	1.609,54	1872,92	2.482,71
Indonésia	749,01	878,87	724,77	695	929,04	695	467,5	935	935	917,5	739,38	0	685	935	531,5	125	764,17	848,00	1.177,81	1031,49	102,27
Irã	829,13	829,13	829,13	829,13	829,13	829,13	829,13	829,13	829,13	829,13	829,13	0	829,13	829,13	611,05	125	746,22	663,31	580,40	497,48	414,57
Iraque	393,09	393,09	393,09	393,09	393,09	393,09	393,09	393,09	393,09	393,09	393,09	0	393,09	393,09	78,61	125	353,78	314,48	275,17	235,86	196,55
Itália	0	0	0	0	0	0	602,97	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Japão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	126,26
Jordânia	101,01	101,01	101,01	101,01	101,01	101,01	101,01	101,01	101,01	101,01	101,01	0	101,01	101,01	40,4	125	90,91	80,81	70,71	60,61	50,51
Casaquistão	111,08	88,47	137,08	111,08	74,05	95,29	0	74,05	111,08	144,48	37,02	0	111,08	37,02	104,04	125	133,3	127,34	111,48	107,09	56,44

Quênia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Madagascar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Malawi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Malásia	0	0	63,89	0	0	0	188,54	0	0	0	0	0	0	0	251,11	125	0	0	0	74,11	159,75
Mali	117,94	49,56	77,15	117,94	78,63	0	28,48	39,31	83,79	108,16	0	0	128,92	117,94	78,63	125	125,45	31,45	76,26	117,95	90,34
México	1.000,00	1.000,00	933,32	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	0	1.000,00	1.000,00	1.275,75	125	1.000,00	1.000,00	200,10	337,58	436,52
Marrocos	364,71	364,71	364,71	364,71	364,71	364,71	364,71	364,71	364,71	364,71	364,71	0	364,71	364,71	364,71	125	328,24	291,77	255,30	218,83	182,36
Moçambique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Myanmar	0	0	216,18	0	0	0	108,09	0	0	0	0	0	67,5	0	324,27	125	0	86,47	0	67,43	42,40
Nepal	0	0	0	0	0	0	57,21	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	137,32	57,22
Holanda	0	0	0	0	0	0	173,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Niger	76,77	0	46,62	139,86	46,62	14,12	0	0	107,38	46,62	0	0	56,64	116,21	0	125	125,87	111,89	92,11	139,86	113,73
Nigéria	0	311,9	474,16	424,11	19,41	0	0	179,79	165,11	151,94	0	0	101,88	162,65	0	125	318,72	1036,05	1.014,38	1205,78	1.004,82
Paquistão	298,05	309,07	351,46	223,51	602,27	108,43	0	364,68	213,45	34,17	205,05	0	275,74	361,04	0	125	535,86	1103,02	1.009,30	1296,92	1.081,25
Peru	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	117,04	65,02
Filipinas	0	0	0	0	0	120	7,07	0	0	17,5	0	0	350	0	445,73	125	0	45,66	72,00	164,23	540,58
Polônia	379,7	379,7	379,7	379,7	379,7	379,7	379,7	379,7	379,7	379,7	379,7	0	379,7	379,7	379,7	125	341,73	303,77	265,80	227,83	189,85
Portugal	0	0	0	0	0	0	102,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coréia do Sul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183,48	125	0	0	0	0	51,71
Romênia	193,56	193,56	193,56	193,56	193,56	193,56	193,56	193,56	193,56	193,56	193,56	0	193,56	193,56	193,56	125	174,2	154,85	135,50	116,14	96,78
Rússia	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	0	1.443,73	1.443,73	683,89	125	1.299,36	1154,99	1.010,61	866,24	721,87
Ruanda	0	0	25,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	45,45	20,20	0	45,46	63,13
Arábia Saudita	68,53	213,77	205,61	147,87	68,53	22,22	133,51	104,73	0	253,22	68,53	0	196,49	137,07	137,07	125	215,78	161,58	186,51	182,61	158,52
Senegal	20,32	97,77	97,77	65,18	0	0	0	32,59	32,59	32,59	0	0	65,18	65,18	32,59	125	29,33	78,22	91,26	97,78	81,48
Somália	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
África do Sul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Espanha	0	0	0	0	0	0	470,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sri Lanka	0	0	0	0	0	0	43,6	0	0	0	0	0	0	0	0	125	10,08	0	30,52	26,16	87,21
Sudão	171,25	264,09	195,75	393,39	171,25	8,01	107,62	246,8	373,48	227,25	0	0	241,51	266,82	0	125	363,48	281,61	299,69	232,96	201,10
Suécia	0	0	0	0	0	0	102,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Síria	170,7	170,7	170,7	170,7	170,7	170,7	170,7	170,7	170,7	170,7	170,7	0	170,7	170,7	136,56	125	153,63	136,56	119,49	102,42	85,35
Tailândia	0	0	139,25	240	0	240	278,5	0	0	0	7,07	0	0	0	321,71	125	125,32	13,53	97,48	217,02	154,10
Tunísia	116,94	116,94	116,94	116,94	116,94	116,94	116,94	116,94	116,94	116,94	116,94	0	116,94	116,94	107,02	125	105,25	93,56	81,86	70,17	58,47
Turquia	834,29	834,29	834,29	834,29	834,29	834,29	834,29	834,29	834,29	834,29	834,29	0	834,29	834,29	602,99	125	750,86	667,44	584,01	500,58	417,15
Uganda	242,93	88,53	88,53	88,53	76,05	0	0	109,6	71,03	177,07	62,06	0	33,02	88,53	0	125	97,91	105,65	154,31	265,62	160,08
Ucrânia	443,85	443,85	443,85	443,85	443,85	443,85	443,85	443,85	443,85	443,85	443,85	0	443,85	443,85	443,85	125	399,46	355,08	310,70	266,31	221,93
Reino Unido	0	0	0	0	0	0	668,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tanzânia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
EUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Uzbequistão	201,48	192,89	168,49	260,95	185,87	67,16	0	268,64	174,03	135,76	134,32	0	310,78	315,24	0	125	231,98	214,92	235,06	201,48	167,90
Venezuela	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	285,15	125	0	0	75,21	122,46	28,52
Vietnã	131,9	100	56,25	120	0	0	460,42	0	0	192,92	323,54	0	0	0	0	125	41,91	154,34	135,05	204,24	313,52
Iêmen	208,25	267,46	212,96	233,29	132,9	101,17	160,67	233,29	233,29	257,62	103,84	0	291,61	209,14	0	125	209,96	220,56	204,13	174,97	145,81
Zâmbia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Zimbábue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
Países Atendidos	44	40	49	41	36	35	45	38	40	43	35	0	43	39	40	78	44	46	52	56	61
Mediana	0,00	0,00	25,25	0,00	0,00	0,00	7,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	125,00	0,00	18,45	70,16	69,18	57,65
Média	168,54	168,54	165,73	158,43	151,68	144,38	168,54	168,54	168,54	168,54	137,64	0,00	168,54	168,54	151,68	109,55	168,54	168,54	168,54	168,54	168,54

Desvio Padrão	306,17	314,35	276,66	279,68	296,60	295,87	284,68	319,56	315,69	314,29	276,65	0,00	299,47	320,86	277,21	41,37	296,05	299,94	296,43	308,40	328,15
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	1.443,73	0,00	1.443,73	1.443,73	1.363,17	125,00	1.299,36	1.154,99	1.609,54	1.872,92	2.482,71

Fonte: Elaborado pelo autor.