

**ESCOLA POLITÉCNICA DA USP**

**MURILLO JOSÉ ALMEIDA FARIA DE OLIVEIRA**

**OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE DERIVATIVOS  
EM BANCO DE INVESTIMENTO**

São Paulo  
2020

**ESCOLA POLITÉCNICA DA USP**

**MURILLO JOSÉ ALMEIDA FARIA DE OLIVEIRA**

**OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE DERIVATIVOS  
EM BANCO DE INVESTIMENTO**

Trabalho apresentado ao Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da Escola Politécnica da USP, como parte das exigências para a conclusão do curso de Engenharia Mecatrônica.

**ORIENTADOR: PROF. DR. FABRÍCIO  
JUNQUEIRA**

São Paulo  
2020

## **Catálogo-na-publicação**

**Oliveira, Murillo José Almeida Faria de**  
**Otimização do Sistema de Produção de Derivativos em Banco de**  
**Investimento M.J.A.F. de Oliveira**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade**  
**de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas**  
**Mecânicos. 73p.**

**1.SED 2. Modelagem 3.Simulação 4.Otimização**  
**I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de**  
**Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t.**

Dedico este trabalho a Deus e aos  
meus queridos pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, a Deus.

Ao Professor Fabrício, por ter sido meu orientador, guiando-me no desenvolvimento deste trabalho com dedicação, paciência e atenção.

## RESUMO

O presente trabalho apresenta a modelagem do sistema de produção de derivativos de um Banco de Investimentos via abordagem de Sistemas a Eventos Discretos (SED), a simulação de seu funcionamento via *software* e a proposta de otimizações com ênfase no aumento de sua eficiência. O sistema produtivo analisado constitui uma rede de componentes e processos, organizados no âmbito da Tesouraria do Banco, com o objetivo de transformar o pedido de um cliente num contrato final, o qual representa o fechamento da operação de derivativo. Por meio da construção do modelo que representa este sistema, bem como sua simulação, foi possível identificar os pontos a serem otimizados, ou seja, gargalos e recursos ociosos. Um conjunto de cenários com diferentes recursos foi simulado, a partir do qual foi possível melhorar relevantemente a eficiência do sistema no âmbito do software, ampliando em torno de 70% o número de contratos fechados e reduzindo a quantidade de recursos necessária.

**Palavras-chave** – SED, Modelagem, Simulação, Sistema, Otimização.

## **ABSTRACT**

This paper presents the modelling of the derivatives production system of an Investment Bank, by using a Discret Event System (DES) approach, simulating its operation via software and proposing optimizations, focusing on the increase of its efficiency. The analysed productive system constitutes a network of components and processes, organized in the environment of the Bank Treasury, in order to transform a client demand into the final contract, which represents the finalization of a derivative operation. By constructing the model that represents this system, as well as its simulation, it was possible to identify the optimization points, i.e., bottlenecks and idle resources. A group of scenarios with different resources was simulated, from which it was possible to relevantly improve the system efficiency in the software environment, increasing at approximately 70% the number of closed contracts, and reducing the resources quantity.

**Keywords** – DES, Modelling, Simulation, System, Optimization

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1 – Exemplo de operação para contrato de swap.</i>	22
<i>Figura 2 – Etapas de uma simulação</i>	32
<i>Figura 3 – Esquema básico do Sistema de Produção de Derivativos do Banco</i>	36
<i>Figura 4 – Fluxograma básico do Sistema de Produção de Derivativos</i>	36
<i>Figura 5 – Representação de Localidade ou Processo</i>	37
<i>Figura 6 – Representação de local de origem ou destino – Sales Desk</i>	37
<i>Figura 7 – Representação de local de origem ou destino – Trading Desk</i>	37
<i>Figura 8 – Representação de local de origem ou destino – Back Office</i>	37
<i>Figura 9 – Diagrama de Localidades</i>	39
<i>Figura 10 – Diagrama de Entidades</i>	41
<i>Figura 11 – Diagrama de Processos</i>	43
<i>Figura 12 – Curvas de probabilidade para os processos</i>	49
<i>Figura 13 – Modelo no software ProModel</i>	50
<i>Figura 14 – Utilização dos recursos</i>	53
<i>Figura 15 – Número de dsídas do sistema versus horas de simulação</i>	53
<i>Figura 16 – Gráfico da utilização (%) dos recursos para cada proposta</i>	55
<i>Figura 17 – Nova proposta de utilização (%) adotando valores médios</i>	56
<i>Figura 18 - Gráfico da utilização (%) dos recursos para cada nova proposta</i>	58
<i>Figura 19 – Saídas do sistema por proposta</i>	61
<i>Figura 20 – Quantidade de Recursos por Cenário</i>	62
<i>Figura 21 – Fluxograma – Fechamento de Operação (Parte 1)</i>	71
<i>Figura 22 – Fluxograma – Fechamento de Operação (Parte 2)</i>	72
<i>Figura 23 – Fluxograma – Fechamento de Operação (Parte 3)</i>	73



## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Relação de recursos</i>	42
<i>Tabela 2 – Descrição do Modelo</i>	43
<i>Tabela 3 – Relação de recursos e processos</i>	44
<i>Tabela 4 – Teste para Sales Desk A</i>	45
<i>Tabela 5 – Frequências esperadas versus reais, para Sales Desk A</i>	45
<i>Tabela 6 – Teste para Sales Desk B</i>	45
<i>Tabela 7 – Frequências esperadas versus reais, para Sales Desk B</i>	46
<i>Tabela 8 – Teste para Sales Desk C</i>	46
<i>Tabela 9 – Frequências esperadas versus reais (Sales Desk C)</i>	46
<i>Tabela 10 – Teste para Trading Desk</i>	46
<i>Tabela 11 – Frequências esperadas versus reais, para Trading Desk</i>	47
<i>Tabela 12 – Teste para Back Onshore</i>	47
<i>Tabela 13 – Frequências esperadas versus reais (Back Onshore)</i>	47
<i>Tabela 14 – Teste para Back Offshore</i>	47
<i>Tabela 15 – Frequências esperadas versus reais (Back Offshore)</i>	48
<i>Tabela 16 – Lógica dos processos no software ProModel</i>	51
<i>Tabela 17 – Relação de recursos por proposta</i>	54
<i>Tabela 18 – Tempo ocupado (%) dos recursos por proposta</i>	54
<i>Tabela 19 – Proposta adotando valores médios para os recursos</i>	55
<i>Tabela 20 – Erro entre a utilização obtida e o objetivo</i>	57
<i>Tabela 21 – Relação de recursos para os novos cenários</i>	58
<i>Tabela 22 – Tempo ocupado (%) dos recursos por novo cenário</i>	58
<i>Tabela 23 – Erro entre a utilização obtida e o objetivo</i>	60
<i>Tabela 24 – Relação de saídas do sistema</i>	62
<i>Tabela 25 – Relação de recursos do sistema</i>	62
<i>Tabela 26 – Métricas de Média e Variância por proposta</i>	64
<i>Tabela 27 – Análise de Variância para todos os cenários</i>	64
<i>Tabela 28 – Análise de variância para as Propostas D – I a D – V</i>	65
<i>Tabela 29 – Análise de variância para as Propostas D – II a D – V</i>	65
<i>Tabela 30 – Análise de variância para as Propostas D – III a D – V</i>	65
<i>Tabela 31 – Análise de variância para as Propostas D – IV a D – V</i>	65

<i>Tabela 32 – Saídas para cada cenário</i>	66
<i>Tabela 33 – Critério de Utilização</i>	70
<i>Tabela 34 – Critério de Saídas</i>	70
<i>Tabela 35 – Critério de Utilização</i>	70

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1 Relevância econômico-social.....	14
1.2 Mérito técnico-científico.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO ESTADO DA ARTE.....	16
2.1 Sistema Financeiro.....	16
2.2 Derivativos.....	18
2.2.1 Ambientes de Negociação .....	18
2.2.2 Tipos de Derivativos.....	19
2.2.3 Derivativos do sistema estudado .....	23
2.3 Relevância Microeconômica.....	23
2.4 Relevância Macroeconômica .....	26
2.5 Sistemas a Eventos Discretos .....	28
2.6 Trabalhos Correlatos.....	31
3 OBJETIVOS GERAIS .....	33
3.1 Mapeamento do Sistema.....	33
3.2 Modelagem do SED .....	33
3.3 Análise do SED via simulação.....	33
3.4 Indicação de pontos de melhoria .....	33
4. MODELAGEM DO SISTEMA PRODUTIVO.....	35
4.1. Mapeamento do Sistema de Produção .....	35
4.2 Modelagem do SED.....	38
4.2.1 Localidades.....	38
4.2.2 Entidades .....	39
4.2.3 Recursos .....	41
4.2.4 Processos .....	42
4.2.5 Testes de Hipótese .....	44
4.3 Modelagem no <i>software</i> ProModel.....	50
5. SIMULAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO .....	52
5.1 Simulação do sistema atual.....	52
5.2 Proposta de otimização .....	52
5.2.1 Análise das Propostas .....	57

5.2.2	Análise de novas propostas .....	60
5.2.3	Saídas do Sistema .....	61
5.2.4	Quantidade de Recursos .....	62
5.2.5	Decisão do melhor cenário via análise de variância (ANOVA).....	63
6.	CONCLUSÕES.....	67
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
	APÊNDICE I.....	70
	APÊNDICE II.....	71

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho surge a partir da identificação de uma necessidade na Tesouraria de um Banco de Investimentos, sediado em São Paulo. Esta área é responsável pela criação dos seguintes produtos financeiros: investimentos, câmbio e derivativos, voltados aos clientes corporativos, bem como pessoas físicas de alta renda.

Embora tais produtos sejam contratos e não bens físicos, organiza-se um sistema de produção a fim de entregá-los aos clientes, de modo a atender os objetivos da negociação e satisfazer as necessidades das partes envolvidas. Sendo assim, o sistema produtivo é caracterizado pelo recebimento de uma entrada, o pedido do cliente, o qual sofre uma série de transformações, que envolve *Front e Back Offices*, a fim de se chegar ao produto final, um contrato representativo da operação.

O sistema é caracterizado por um grupo considerável de pessoas e movimenta uma parcela relevante do volume financeiro da Tesouraria, apresentando papel preponderante para os negócios da Instituição. Desse modo, existe uma forte demanda interna em prol de sua otimização, bem como procura-se atender a necessidade de se mapear todas as partes e processos envolvidos, tendo em vista que não se tem ideia clara da relação entre os componentes do sistema e dos tempos requeridos por cada processo que o constitui. Sendo assim, tem se procurado mapear e identificar os pontos de melhoria do sistema, pois os contratos de derivativos, por ele produzidos, apresentam um forte risco à Instituição e ao cenário macroeconômico como um todo.

Nesse contexto, surgiu a necessidade de propor otimizações ao sistema produtivo, com o principal objetivo de melhorar a sua eficiência e, considerando essa abordagem, o foco deste projeto incide sobre a otimização da produção dos derivativos, a qual apresenta grande complexidade e demanda um número maior de melhorias, em relação aqueles envolvendo os outros produtos financeiros (investimentos e câmbio).

Adota-se uma abordagem de Sistemas a Eventos Discretos (SED), compreendendo o sistema produtivo como um conjunto de estados que se modificam discretamente no tempo; buscando construir um modelo que descreva a Produção com respeito ao paradigma de SED, a fim de simular o seu funcionamento em ambiente de *software* e, a partir da análise dos resultados da simulação, propor pontos de melhorias que possam proporcionar otimizações ao sistema, sobretudo em termos de eficiência.

## 1.1 Relevância econômico-social

Assaf Neto (2018, p. 315) define derivativos como “instrumentos financeiros que se originam (dependem) do valor de outros ativos”. Ou seja, são contratos cujo valor está diretamente associado ao valor dos ativos intrínsecos a eles (chamados de ativos-objeto), os quais podem ser de natureza financeira, como taxas de câmbio e juros, ou física, como produtos agrícolas, pecuários ou minerais, denominados *commodities*.

Desse modo, caso a taxa de câmbio entre dólar e real se desvalorize, ou seja, a moeda dólar perca valor frente ao real (graças, por exemplo, a um leilão de ativos de uma estatal brasileira, que promove a venda de dólares e compra de reais por grandes empresas estrangeiras), é de se esperar que os contratos de derivativos que possuem essa taxa de câmbio como ativo-objeto também se desvalorizem. Paralelamente, caso o preço do minério de ferro aumente (graças a um rompimento de barragem que diminui a oferta de ferro, por exemplo), também se espera o aumento do preço dos derivativos “lastreados” nesses ativos-objeto.

Uma vez compreendidos esses aspectos, será possível delinear a relevância desses produtos para o Mercado Financeiro, considerando sua preponderância para os eventos que levaram à Crise de Crédito de 2008, bem como a necessidade de realizar controles e otimizações sobre os sistemas de produção de bancos de investimento. Dessa forma, é relevante considerar não apenas a melhoria de resultados (sejam indicadores financeiros ou produtivos), mas também a profilaxia de novas crises locais ou globais associadas à má gestão dos contratos de derivativos.

## 1.2 Mérito técnico-científico

O Trabalho tem como embasamento a abordagem de Sistemas a Eventos Discretos (SED), desde a modelagem à simulação, tópico que constitui objeto de pesquisa em Engenharia Mecatrônica.

Conforme Miyagi (2006), “*Man made systems* como sistemas de manufatura, de transporte, de comunicação, de redes de computadores, etc., são caracterizados por uma dinâmica decorrente da ocorrência de eventos e são hoje objeto de controle através de dispositivos como os controladores programáveis. Do ponto de vista teórico esta classe de sistemas é classificado na área de Sistemas a Eventos Discretos (SED)”.

Kumar e Garg (1995) evidenciam que “o campo de Sistemas a Eventos Discretos emergiu para prover um tratamento formal de muitos dos sistemas *man-made*, [...] que são

orientados a eventos, altamente complexos e não suscetíveis aos tratamentos clássicos baseados em equações diferenciais ou de diferenças”.

Considerando-se essas asseverações, o presente trabalho observa um sistema produtivo do setor financeiro sob a óptica de SED, procurando-se realizar uma modelagem de seu funcionamento, denotando-se os eventos, entidades, atributos, atividades e estados envolvidos, a fim de se propor otimizações que venham melhorar o tempo em sistema (ou o tempo da chegada da entidade inicial até a saída da entidade final), bem como sua eficiência, por meio da modelagem do sistema e simulação de Eventos Discretos.

Miyagi (2006) aponta para a variedade dos campos de aplicação para a simulação de SED, dentre os quais “sistemas de manufatura, sistemas de saúde, sistemas envolvendo recursos naturais, sistemas de transporte, sistemas de construção civil, sistemas de restaurantes e entretenimento, reengenharia e processo de negócios, processamento de alimentos e sistemas computacionais”. O autor também ressalta a relevância da abordagem de SED voltada aos *man made systems*, os quais: “são caracterizados por uma dinâmica decorrente da ocorrência de eventos e são hoje objeto de controle através de dispositivos como os controladores programáveis” (Miyagi, 1996).

Portanto, a abordagem de Sistemas a Eventos Discretos pode ser utilizada tanto para a Manufatura quanto para Serviços e, nesse sentido, o presente Trabalho intenta contribuir para a produção técnico-científica no campo da modelagem e análise por SED, aplicada ao setor de serviços financeiros.

Desse modo, aborda-se um sistema de produção bancário de Tesouraria sob a óptica de um sistema de manufatura, de modo a observar o contrato de derivativo como uma entidade, modificado conforme a ocorrência de eventos próprios do fluxo produtivo, o qual se estende desde a chegada de um pedido do cliente a ser atendido pelo conjunto de mesas e setores do Banco de Investimento, até a saída de um contrato final formalizado – o qual precisa atender ao conjunto de exigências necessárias para mitigar os diversos riscos que envolvem uma operação de derivativos, conforme previamente elencados.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO ESTADO DA ARTE**

A fim de construir um modelo que descreva a atividade de um sistema produtivo em banco de negócios com o intuito de otimizá-lo, é preciso considerar tanto os aspectos teóricos que caracterizam a estrutura financeira nacional e como ela se relaciona com as instituições bancárias, quanto os conceitos relativos à abordagem de Sistemas a Eventos Discretos, a qual será utilizada para a modelagem e simulação do sistema estudado.

Sendo assim, esta seção apresenta os tópicos, que embasam o desenvolvimento do Trabalho: Sistema Financeiro, Derivativos, Sistemas a Eventos Discretos e Trabalhos Correlatos. O primeiro discorre sobre a estrutura básica do Mercado Financeiro e como as Instituições Bancárias dialogam com esse sistema. O segundo evidencia os conceitos envolvendo os contratos derivativos, bem como sua relevância para a macroestrutura apresentada no primeiro tópico. O terceiro tópico elenca os conceitos relacionados aos Sistemas a Eventos Discretos, os quais serão utilizados para a modelagem do sistema produtivo. Por fim, apresentam-se alguns trabalhos correlatos, seja em relação ao objeto de estudo, seja quanto à semelhança de abordagens adotadas, a fim de mapear como problemas similares têm sido estudados e compreender as contribuições deste trabalho para o cenário acadêmico.

### **2.1 Sistema Financeiro**

Para Assaf Neto (2018, p. 61), “o mercado financeiro pode ser interpretado como o ambiente da economia onde se realizam todas as transações com moedas e títulos”. Atuante nesse mercado, o autor aponta que “o Sistema Financeiro Nacional pode ser entendido como um conjunto de instituições financeiras e instrumentos financeiros que visam, em última análise, transferir recursos dos agentes econômicos (pessoas, empresas, governo) superavitários para os deficitários” (Assaf Neto, 2018, p.40).

Uma instituição financeira bancária se enquadra nesse Sistema como um componente operativo, responsável por intermediar a transferência financeira dos poupadores para os recebedores de recursos. Essas instituições podem ser caracterizadas sob a óptica do volume de negócios. Os bancos de varejo compreendem um número amplo de clientes, enquanto os bancos de negócios, ou de atacado, “estão voltados preferencialmente para operações financeiras de maior porte e complexidade, trabalhando, por isso, com um número mais reduzido de clientes, porém de poder aquisitivo mais alto. As operações desses bancos são



mais estruturadas e voltadas para atender necessidades mais específicas dos clientes” (Assaf Neto, 2018, p.48).

A complexidade das operações se torna perceptível no referente aos produtos derivativos. Conforme descrito anteriormente, tais produtos dependem de forma direta do segmento de atuação dos clientes e de suas necessidades operacionais. Hull (2016, p. 12) aponta que há três tipos de clientes, ou negociadores, de derivativos, classificados conforme os contratos que negociam: os *hedgers*, especuladores e arbitradores.

Os *hedgers* visam apenas a mitigação do risco em suas operações, procurando fixar os valores a serem pagos ou recebidos no futuro, eliminando sua sujeição às variações de mercado. Os especuladores procuram realizar negociações com a premissa de aposta – buscam ganhos caso um ativo venha ou não a se valorizar, desde que a ascensão ou queda no preço seja prevista na aposta inicial. Quanto aos arbitradores, procuram se utilizar das diferenças de preços nos mercados de derivativos para obterem ganhos. Por exemplo, caso o preço de contratos futuros de ouro subam nos Estados Unidos e caiam no Brasil, sua estratégia seria de comprar no mercado brasileiro e vender no americano.

Além da existência de várias categorias de negociadores, é necessário levar em consideração os diferentes tipos de derivativos sendo negociados no mercado: termos, futuros, opções e *swaps*. Cada um deles se diferencia pelas características da negociação: se o contrato pode ser encerrado apenas no vencimento ou antes dele, se as partes envolvidas possuem a obrigação ou a opção do pagamento, etc. Portanto, é perceptível a existência de uma ampla gama de possibilidades para o uso desses produtos, os quais dependem muito das peculiaridades das operações em que são utilizados, variando em função dos diferentes objetivos de mercado dos seus negociadores.

Tendo em vista os atributos gerais dos derivativos que fazem parte do sistema financeiro, faz-se necessária a revisão de alguns conceitos relacionados a estes produtos, que serão utilizados para a compreensão do sistema produtivo estudado. Tais conceitos, em torno dos tipos de derivativos e ambientes de negociação, são abordados na próxima seção.

## 2.2 Derivativos

### 2.2.1 Ambientes de Negociação

Existem dois ambientes possíveis para a negociação dos contratos de derivativos entre diferentes partes. São estes: bolsa e balcão. Acerca de suas características, Ramos (2019) discorre:

“Os derivativos que são negociados em bolsa (na Bolsa de Mercadorias e Futuros, por exemplo) são padronizados em termos de tipos de contrato, quantidades, valores nominais, vencimentos e eventuais locais de entrega. Por serem padronizados, eles são facilmente intercambiáveis e negociados em bolsa, o que os torna muito líquidos e atrativos. Já os contratos negociados no balcão (chamados derivativos OTC *Over the counter*), entre as tesourarias das empresas e os operadores dos bancos, têm características específicas que foram determinadas diretamente pelas partes. Esses contratos geralmente não são intercambiáveis. Dificilmente uma parte conseguirá transferir sua obrigação porque esse contrato foi elaborado para satisfazer objetivos específicos das partes que o celebraram”.

Sendo assim, é possível destacar que os produtos (incluindo derivativos) negociados em Bolsa são caracterizados por padronização (quanto aos parâmetros característicos dos contratos) e por liquidez (é possível comprar ou vender contratos em Bolsa com maior facilidade, graças tanto à citada normalização, quanto ao número de partes que atuam nesse ambiente). Dentre as bolsas ao redor do mundo, pode-se citar: a B3 (anteriormente BM&F Bovespa), a *Chicago Board of Trade*, a *NYSE Euronext* e a *Tokyo Financial Exchange*.

Já quanto ao mercado de balcão, verifica-se uma bilateralidade, pouca padronização, parametrização de contratos conforme as situações e necessidades das partes envolvidas. A maior liberdade em realizar as negociações é compensada pelo aumento do risco de crédito, ou seja, do risco de as partes envolvidas no contrato não pagarem suas obrigações.

Conforme aponta Hull (2016), enquanto nas bolsas há uma câmara de compensação (*clearing house*), a qual realiza o papel de intermediação entre as partes, garantindo o pagamento das obrigações, no mercado de Balcão não existe essa compensação organizada e confiável. Ao contrário, pode haver apenas garantias e compensações também bilaterais, que variam conforme as negociações.

Segundo definição da B3 (a bolsa de valores de São Paulo) sobre a câmara brasileira de compensação: “A *clearing* integrada realiza o registro, aceitação, compensação, liquidação e gerenciamento do risco de contraparte de operações do mercado de derivativos financeiros, de *commodities* e de renda variável, dos mercados à vista de ouro, de renda variável e de renda fixa privada, realizadas em mercado de bolsa e em mercado de balcão organizado, bem como de operações de empréstimo de ativos” (B3, 2019).

Considerando-se os ambientes de negociação, entende-se que este trabalho analisa um sistema que produz contratos derivativos de balcão, ou seja, aqueles menos padronizados e desprovidos da compensação realizada pela bolsa de valores. Logo, nota-se a necessidade de processos eficientes e ao máximo imunes a erros, já que falhas em operações nesse mercado podem implicar em resultados financeiros indesejados, os quais não serão localizados por um órgão central (Bolsa). Além disso, todos os processos relacionados à imunização aos diversos riscos relacionados às operações de balcão (das variações do mercado ou de inadimplência da contraparte, por exemplo) devem ser eficazes, uma vez que não há uma câmara central para garantir a mitigação desses riscos, cujo controle é imprescindível para a saúde do sistema financeiro em operações que ganhem escala, conforme o caso da Crise de 2008, que será analisado na seção 2.4.

### **2.2.2 Tipos de Derivativos**

Nos mercados brasileiro e estrangeiro (*offshore*), são negociados quatro tipos principais de contratos de derivativos, explicados a seguir. Sequencialmente, são descritos quais destes contratos são produzidos pelo sistema estudado neste trabalho.

#### **a. Termos**

Os derivativos chamados de Termo ou “NDF” (*Non-Deliverable Forward*) são caracterizados por fixarem um determinado preço a um ativo-objetivo, o qual será entregue no vencimento do contrato.

Para Hull (2016), “este é um contrato para comprar ou vender um ativo em uma determinada data futura por um preço específico. Ele pode ser diferenciado de um contrato à vista, que é um contrato para comprar ou vender um ativo quase imediatamente”.

Sendo assim, a parte com a posição comprada neste contrato é aquela que tem a obrigação de receber o ativo da contraparte com posição vendida, na data de vencimento. Por exemplo: caso uma empresa tenha uma dívida em dólares e acredite que essa moeda irá se

valorizar com relação ao Real, vindo a atingir o preço R\$ 6,20 daqui a um ano, pode firmar um contrato a termo pelo preço hipotético de R\$ 6,00. Sendo assim, não irá sujeitar sua dívida às variações do câmbio, e será obrigada a comprar dólar pelo preço acordado de R\$ 4,00 na data de vencimento do contrato.

O termo cujo ativo-objeto é a taxa de câmbio USD/BRL (dólar-reais) encontra relevância especial para a resolução de frequentes descasamentos entre fluxos de caixa associados a essas moedas nos balanços das empresas. Essa técnica de se proteger contra as volatilidades do mercado (associadas a taxas de câmbio, juros, dentre outros ativos) é conhecida como *Hedge*, cuja relevância será estudada mais à frente.

## **b. Futuros**

Hull (2016) aponta que, semelhante ao produto Termo, o contrato futuro é caracterizado pela compra ou venda de certo ativo-objeto, numa determinada data futura, por um preço previamente acordado. Sendo assim, numa análise inicial, esse produto possui a mesma finalidade dos contratos a termo.

No entanto, Molero (2018) estabelece a disparidade entre esses dois tipos de derivativos:

“O contrato futuro diferencia-se do contrato a termo por duas questões: i) no contrato a termo tem-se baixa liquidez, enquanto que no contrato futuro se tem alta liquidez; entenda liquidez como a capacidade de entrar e sair da posição a qualquer momento; ii) no contrato a termo tem-se risco de crédito [...] enquanto que no contrato futuro se tem risco bolsa ou risco *clearing*. O contrato futuro tem alta liquidez, porque a bolsa adota a padronização dos contratos”.

Dessa forma, pode-se notar que, enquanto os contratos a termo são negociados no mercado de balcão, portanto caracterizados por maior informalidade e liberdade de negociação entre as partes, a negociação dos futuros é feita de maneira normalizada e padronizada na Bolsa de Valores (a B3, no caso de São Paulo). Logo, os contratos futuros possuem maior liquidez, ou seja, uma parte que tenha comprado um contrato futuro pode facilmente vender o mesmo em Bolsa.

### c. Opções

Os derivativos anteriormente definidos se caracterizam por obrigações em realizar alguma ação relativa ao ativo-objeto – seja ela de comprar ou vender esse ativo. No entanto, as opções trazem oportunidades diferenciadas ao seu negociador: não há obrigação em comprar/vender o ativo, mas sim uma opção de fazê-lo.

“Um contrato de opção é um derivativo que dá ao seu detentor escolhas futuras. Podemos comparar opções a seguros: o detentor tem o direito, mas não a obrigação de realizar uma determinada ação durante ou ao final da ‘vida’ do contrato”. Giambiagi (2017).

Existem dois tipos elementares de opções: *calls* (opções de venda) e *puts* (opções de compra). A parte comprada numa *call* tem o direito (ou a opção) de comprar um determinado ativo-objeto em uma data futura por um preço específico (*strike price*, ou preço de exercício). Quanto à parte comprada numa *put*, possui o direito de vender certo ativo subjacente, numa data futura, ao preço *strike* (Giambiagi, 2017).

### d. Swaps

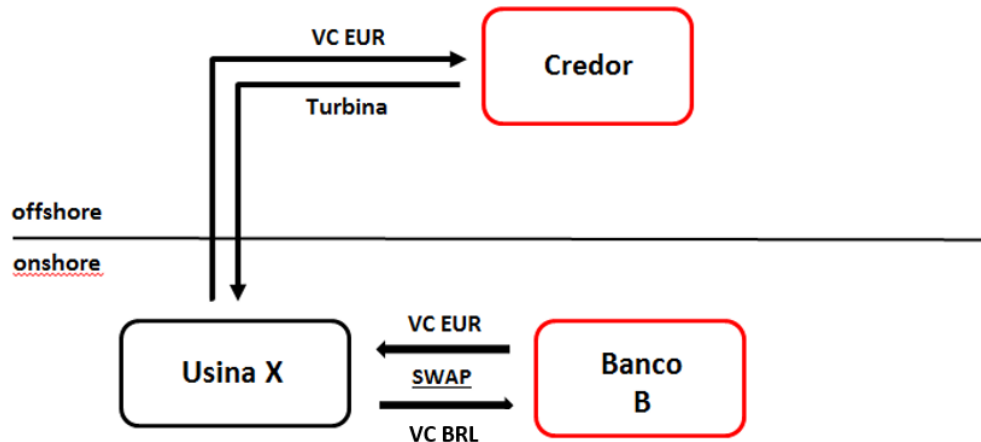
Os *swaps*, como o próprio nome indica, são caracterizados pela troca entre dois fluxos de caixa: um acompanha a variação no preço de um certo ativo-objeto; outro acompanha a variação no preço de outro ativo.

“Um *swap* é um contrato de balcão entre duas empresas de trocar fluxos de caixa no futuro. O contrato define as datas quando os fluxos de caixa devem ser pagos e o modo como serão calculados. Em geral, o cálculo dos fluxos de caixa envolvem o valor futuro de uma taxa de juros, taxa de câmbio ou outra variável de mercado. [...] Enquanto o contrato a termo é equivalente à troca de fluxos de caixa em apenas uma data futura, os *swaps* normalmente levam a trocas de fluxos de caixa em diversas datas futuras”. (Hull, 2016).

A título de exemplo, analisa-se a seguir um caso hipotético (ilustrado pela Figura 1).

A usina hidrelétrica X realizou o aluguel de uma turbina hidráulica de uma companhia alemã. Os pagamentos referentes a este aluguel devem ser realizados em Euros, e são representados, na Figura 1, como “VC EUR”.

**Figura 1 – Exemplo de operação para contrato de swap.**



Fonte: o Autor (2020)

No entanto, essa usina, situada no Brasil, possui todo o seu caixa cotado na moeda Real, e ficaria assim sujeita aos riscos de volatilidade cambial. Ou seja, caso o Euro se valorize frente ao Real, as parcelas do aluguel se tornarão mais caras.

Nesse caso, a hidrelétrica pode recorrer à Tesouraria do Banco B, a fim de fechar uma operação de *swap*. Desse modo, nas mesmas datas em que os pagamentos do aluguel da turbina deverão ser feitos, ocorrerá a seguinte troca de fluxos de caixa:

- Usina X pagará uma quantidade em reais para o Banco B, representada por “VC BRL” na Figura 1. Este valor a ser pago em reais é estabelecido desde o início, no momento de fechar a operação do *swap*.
- Em troca, a Usina X recebe, do Banco B, exatamente a quantia que deve pagar em Euros, referente ao aluguel de sua turbina.

Dessa forma, a Usina pode se desvencilhar da incerteza relacionada ao câmbio, uma vez que, com a operação de *swap*, consegue saber, desde o início, exatamente o valor que irá pagar em reais ao Banco B, em troca do valor em Euros que necessita para o pagamento do aluguel.

Trata-se, portanto, de um exemplo de *hedge*, pois a empresa brasileira está se protegendo de possíveis flutuações indesejáveis no câmbio, entre o Euro e o Real. Ramos (2019) discorre sobre essa prática no cenário brasileiro:

“No Brasil numerosos *hedges* cambiais de empréstimos são realizados com o uso de *swaps*, pelos quais uma entidade troca os fluxos de caixa de uma dívida em dólar americano com pagamento de juros fixos por uma dívida em reais com pagamento de juros indexados a uma taxa de juros variável, geralmente a taxa CDI dos Certificados de Depósito Interbancário”.

Além dos *swaps* cambiais, existem outras modalidades desse contrato derivativo que são negociadas (denominadas segundo os ativos-objeto a que se referem), como os *swaps* de taxas juros, de *commodities*, entre outros (Hull, 2016).

### **2.2.3 Derivativos do sistema estudado**

É importante destacar que, para o sistema de produção de derivativos da Tesouraria analisado neste trabalho, os contratos de *swaps* possuem enorme relevância, uma vez que são os mais utilizados. Quanto a sua finalidade, a maioria se trata de *hedges*, conforme o exemplo acima, voltado para clientes corporativos (empresas de médio e grande porte).

No entanto, existe uma gama de tipos de clientes, a serem descritos posteriormente quanto a modelagem, que vai desde as pessoas físicas às jurídicas.

Desse modo, os *swaps* atuam como soluções para as empresas e apresentam uma parcela considerável dos negócios de Tesouraria do Banco analisado. Devemos considerar que a necessidade de otimização se torna flagrante, pois implicaria em melhorias relevantes para a instituição financeira, bem como para seus clientes, os quais podem procurar tais operações como resposta a algum outro problema financeiro (semelhantemente à Usina do exemplo anterior), mas também como oportunidade de melhorar suas receitas financeiras, atuando não como *hedgers*, mas como arbitradores ou especuladores (o que seria o caso de clientes pessoas físicas mais do que clientes corporativos).

Acerca dessa relevância microeconômica dos derivativos e do sistema estudado, discorre a próxima seção, seguida por um estudo em termos macroeconômicos do impacto de um sistema de produção de derivativos no contexto mais geral do mercado financeiro.

## **2.3 Relevância Microeconômica**

Exemplificou-se anteriormente como uma empresa pode se utilizar dos derivativos para assegurar a estabilidade de seus resultados financeiros, ou seja, imunizar-se aos riscos de variáveis indesejadas de mercado. A estratégia de mitigar ou eliminar essa conjuntura de riscos é conhecida como *hedge*. Consequentemente, uma vez que a parte contratante não fica

exposta aos riscos, também não consegue obter os benefícios que decorrem de oscilações favoráveis nas curvas de mercado.

No exemplo anterior (seção 2.2.2), caso a variação cambial EUR/BRL (euro-reais) diminuísse, a Usina poderia pagar um aluguel mais barato (com o *hedge*, no entanto, pagará sempre o valor fixo acordado com o Banco B). Com respeito a essas considerações:

“*Hedge* pode ser definido como uma operação realizada no mercado de derivativos com o objetivo de proteção quanto à possibilidade de um preço, taxa ou índice. Por meio do *hedge*, a empresa se livra de um risco inerente a sua atividade econômica principal. O *hedger* abre mão de possíveis ganhos futuros para não incorrer em perdas futuras” (Neto, 2016).

Dessa forma, pode-se estabelecer a relevância dos derivativos como soluções para empresas. Por meio desses produtos, as corporações conseguem se proteger de riscos, associados às variações no valor de taxas de juros e de moedas, as quais podem influenciar diretamente em seus negócios.

Conforme Assaf Neto (2018, p. 317), “uma empresa com dívidas em dólar pode comprar contratos cambiais para liquidação (pagamento) futura. O intuito é eliminar o risco de uma alta mais forte na cotação da moeda estrangeira quando do vencimento da dívida [...], o que poderia encarecer demasiadamente seus custos financeiros”.

Empresas que atuam no mercado de *commodities* também podem utilizar derivativos ligados às mercadorias necessárias para sua operação ou dela resultantes. Para Assaf Neto (2018, p.317), “se um produtor agrícola tiver a intenção de negociar sua produção daqui a 4 meses, por exemplo, é possível garantir o preço vendendo, no mercado futuro, a mercadoria”.

Logo, esses produtos financeiros apresentam-se como ferramentas poderosas para proteger as empresas das flutuações aleatórias de mercado, oferecendo meios para garantir seu resultado e a estabilidade de suas demonstrações financeiras frente à volatilidade das taxas de juros, câmbio, preços de *commodities*, entre outros. Nesse sentido, Ramos (2019) destaca motivações pelas quais a companhia pode adotar estratégias de *Hedge*:

“Concentrar os esforços da gerência nas atividades operacionais, para deixar de se preocupar com os riscos financeiros de mercado [...]; Fixar o preço futuro das compras de matérias-primas para manter a margem de lucro da empresa; Transferir os riscos financeiros para outros agentes de forma a eliminar a exposição da entidade; Fixar os



fluxos de caixa futuros mudando as características de uma dívida, trocando, por exemplo, uma taxa de juros variáveis por uma taxa de juros fixa; Diversificar a exposição da entidade aos riscos financeiros; Melhorar a liquidez da entidade e reduzir os custos de transação relativos a determinados instrumentos financeiros”.

Conforme dados do *software* “Bloomberg”, do dia 25 de outubro de 2019 até 8 de novembro de 2019, a cotação USD/BRL (dólar-reais) foi de R\$ 4,00 para R\$ 4,17 – variando assim cerca de 4,25%. Desse modo, uma companhia que, na passagem entre meses, precisou realizar o pagamento de dívida em dólar sem ter assumido posição num *swap*, opção, ou algum derivativo que lhe proporcionasse *hedge*, obteve uma variação negativa em seu passivo, ou seja, um aumento de 4,25% na parcela da dívida a ser paga.

Hull (2016) também evidencia a preponderância da proteção via derivativos para companhias cujos ativos advindos de sua atividade operacional são *commodities*. Ao considerar uma mineradora responsável pela extração de ouro, ressalta: “Em geral, demora muitos anos para extrair todo o ouro de uma mina. Depois que a mineradora decide iniciar a produção em uma mina específica, sua exposição preço do ouro é enorme. Na verdade, uma mina que parece rentável no início do processo pode se tornar uma fonte de prejuízos do preço do ouro despenca” (Hull, 2016).

A lógica pode ser também aplicada a exploradoras e comercializadoras de petróleo, usinas sucroalcooleiras, empresas de atividade agropecuária, entre outras. Para certos produtos-base da operação de uma empresa, contudo, não existem ativos-objetos em contratos de derivativo para que a proteção possa ser realizada (não há contratos futuros de nióbio ou fibra de carbono, por exemplo). Desse modo, a instituição financeira responsável pela operação precisa se utilizar de um ou mais derivativos, de modo a aumentar a correlação, ou simetria do *hedge*. Por exemplo, caso a empresa deseje se proteger da variação de preços do titânio, pode assumir posição em derivativos lastreados em alguma outra *commodity* metálica, como aço.

De qualquer forma, é possível notar a preponderância do uso dos derivativos no âmbito microeconômico, ou seja, em termos do exercício empresarial, como boa prática a fim de assegurar a estabilidade de uma companhia frente aos riscos de mercado, possibilitando a independência dos resultados contábeis com relação às volatilidades do mercado financeiro.

Logo, o presente trabalho procura desenvolver melhorias na eficiência de um sistema bancário que entrega contratos derivativos, os quais poderão fazer parte de soluções para o equilíbrio financeiro de clientes empresariais que procuram *hedge*, ou seja, assegurar o

resultado de exercício ao remover as incertezas do mercado que possam lhes impactar financeiramente. Portanto, otimizar um sistema produtivo bancário (conforme métricas a serem definidas nas seções seguintes), cuja saída final seja um contrato de derivativo, significa incrementar melhorias para ambas as partes deste contrato, uma vez que o banco de investimento poderá fechar mais contratos em menos tempo, aumentando seu *spread* (ou resultado) por unidade de tempo – e contratos eficazes que não necessitem de alterações devidas a eventuais erros operacionais – bem como os clientes-empresa poderão mais dinamicamente e eficazmente trazer soluções para seu setor financeiro e assegurar uma melhoria na solidez dos resultados de seu exercício.

Tendo em vista essas considerações sobre o impacto do sistema de produção de derivativos de um Banco no contexto das partes diretamente envolvidas no contrato, ou seja, sob a óptica microeconômica, é possível ainda raciocinar sobre o impacto da produção de derivativos entre os diversos Bancos e Empresas que se relacionam no âmbito do sistema financeiro nacional e global. A última grande crise de crédito evidenciou como erros nas operações com esse tipo de contrato, podem gerar impactos que transcendem as partes neles envolvidas e atingem toda uma macroestrutura financeira.

A análise desse evento de crise traz à tona a possibilidade de que pessoas jurídicas e físicas em geral sejam negativamente afetadas pela ingerência na negociação e controle de operações com derivativos, por parte de instituições financeiras, sejam elas Bancos ou fundos de investimento. Sobre essas considerações, à luz dos acontecimentos da Crise Financeira de 2008 e da proposta de valor do presente trabalho, discorre o tópico abaixo.

## **2.4 Relevância Macroeconômica**

Segundo aponta Hull (2016, p.1), o mercado de derivativos é “muito maior do que o mercado de ações quando mensurado em termos de ativos subjacentes. O valor dos ativos por trás de transações de derivativos em circulação é muitas vezes maior do que o produto interno bruto mundial”. O autor indica à negociação de uma vasta conjuntura desses produtos no mercado global, junto à ascensão de novas categorias de derivativos e, proporcionalmente, ao aumento de regulamentações a eles associadas.

O papel significativo exercido por esses produtos e o cuidado necessário na realização de operações que os envolve, torna-se evidente ao se analisar a Crise Econômica de 2008, em que os derivativos influenciaram diretamente. Para Hull (2016, p. 210), as negociações com esses produtos ligados a ativos arriscados (hipotecas de financiamentos imobiliários nos

Estados Unidos) geraram um cataclismo financeiro global, visto que a inadimplência dos devedores, desses financiamentos, provocou uma reação em cadeia de não pagamentos e falências.

Desse modo, objetivou-se que instituições financeiras responsáveis por negociar derivativos fossem submetidas a regras cada vez mais rigorosas para a gestão de suas operações e controle de seus contratos. Acerca dessas regulamentações:

“À medida que as atividades dos bancos se tornaram mais globais na década de 1980, os reguladores dos diferentes países tiveram que trabalhar com conjunto para determinar uma estrutura regulatória internacional [...] Durante e após a crise de crédito, o Comitê de Basileia introduziu novos requisitos regulatórios, conhecidos como Basileia II.5, que aumentaram o capital para risco de mercado. Depois disso veio a Basileia III, que tornou as exigências de capital mais estritas e introduziu requisitos de liquidez” (Hull, 2016).

Ainda conforme o autor, a rentabilidade dos Bancos foi reduzida com o aumento dessas regulamentações, de modo que essas instituições sofrem hoje as consequências da crise de crédito de 2008. Já conforme o ex-ministro grego de finanças, Yanis Varoufakis (2018), a Crise trouxe um impacto sem precedentes desde o colapso de 1929, caracterizado pela perda de: “cerca de US\$ 40 trilhões de patrimônios global, US\$ 14 trilhões de riquezas das famílias somente nos Estados Unidos, 700.000 empregos norte-americanos mensais e incontáveis casas retomadas em toda a parte. A lista é quase tão longa quanto os valores, incomensuráveis” (Varoufakis, 2018).

Portanto, torna-se perceptível a relevância das negociações com derivativos entre Bancos e *players* financeiros ou não-financeiros, para o cenário econômico global. A Crise de 2008 evidenciou a necessidade de controles para os processos de emissão dos contratos derivativos – um sistema produtivo bancário deve ser eficiente em entregar estes contratos aos clientes, bem como garantir que não haja riscos nessas operações que possam eventualmente escalar para colapsos de ordem global.

Assim, ressalta-se a necessidade de se garantir a regulação e controle dessas operações, por meio de processos eficientes e seguros. Sendo assim, o presente trabalho visa auxiliar na melhoria dos mesmos, por meio da utilização de uma abordagem do campo da Engenharia Mecatrônica (SED) para criar um modelo da produção de derivativos. Dessa forma, é possível que um Banco tenha noção do funcionamento de seu processo produtivo,

mapeado e descrito no modelo, de forma que consiga melhorar a compreensão de sua própria produção e monitorar as variáveis que nela influem (conforme o paradigma da modelagem em SED, nas seções seguintes descrito).

Logo, ao melhorar o controle da produção desses contratos, tão sensível para a economia global, conforme analisado para o caso de 2008, é possível que uma instituição financeira atue na direção de evitar ineficiências no fechamento de contratos e erros operacionais, o que se torna preponderante, dado o impacto que operações em grande volume com derivativos podem exercer no mercado financeiro e na saúde macroeconômica.

Portanto, para construir o modelo do sistema produtivo acima mencionado, é preciso revisar os conceitos a ele intrínsecos, ou seja, os tópicos principais do campo de estudo dos Sistemas a Eventos Discretos, a fim de que seja possível compreender como a modelagem e simulação do sistema poderão ser realizadas e estudadas.

## 2.5 Sistemas a Eventos Discretos

Com objetivo de construir um modelo e simulação baseados na teoria de SED, faz-se necessário entender por que o objeto de estudo (a produção de derivativos de um Banco de Investimentos) pode ser considerado como um sistema a ser modelado e analisado. Para tanto, é relevante recorrer a Chung (2004), o qual define a modelagem como “um processo de criação e experimentação com um modelo matemático computadorizado de um sistema físico”. O autor estabelece um sistema como “uma coleção de componentes interativos que recebem *input* e fornecem *output* para algum propósito”.

Ao se realizar esse processo de modelagem, objetiva-se atingir os seguintes propósitos:

- “• Ganhar *insight* sobre a operação de um sistema;
- Desenvolver políticas de operação ou de recursos para melhorar a performance do sistema;
- Testar novos conceitos e/ou sistemas antes da implementação;
- Ganhar informação sem perturbar o sistema real”

(Pedgen *et al.*.. apud Chung, 2004).

Acerca de como este trabalho dialoga com os propósitos acima, discorre a seção 3. No entanto, é possível ressaltar os benefícios da modelagem e simulação a ser realizada, uma vez que essa prática oferece, conforme Chung (2004): “experimentação em tempo reduzido;

requisitos analíticos reduzidos; modelos facilmente demonstrados”. Ou seja, segundo o autor, pode-se comprimir o tempo de simulação, uma vez que esta é rodada via computador, bem como reduzir o uso de ferramentas analíticas (probabilísticas e matemáticas) para analisar o sistema, além de demonstrar facilmente o funcionamento do modelo por meio de animações em ambiente de *software*.

Já no que se refere à classificação dos sistemas conforme o tipo de ocorrência dos eventos, estes podem ser definidos como contínuos ou discretos. Kumar e Garg (1995) definem um sistema a eventos discretos (SED) como “um sistema dinâmico que evolui conforme ocorrências assíncronas de certas mudanças discretas, chamadas eventos. Por exemplo, um evento pode ser a chegada de um cliente em uma fila, finalização de uma tarefa ou falha de uma máquina num sistema de manufatura, transmissão de uma mensagem em uma rede de comunicações, finalização de um programa de computador, variação de um *set point* num sistema de controle, etc.”.

Para Banks *et al.* (2010), “um modelo é definido como a representação de um sistema para o propósito de estudar esse sistema. Para a maioria dos estudos, é apenas necessário considerar aqueles aspectos do sistema que afetam o problema sob investigação”.

Considerando essas asseverações, os autores fornecem a definição de simulação a eventos discretos, como: “a modelagem de sistemas em que as variáveis de estado mudam apenas em um conjunto discreto de pontos no tempo”. Além disso, ressaltam as vantagens de se realizar essa simulação, considerando que esta oferece uma “mímica” do sistema real, oferecendo resultados que este último também proveria. Sendo assim, a validade da modelagem de SED, para sistemas de manufatura, torna-se visível ao considerar que:

“Um sistema de manufatura recebe um conjunto de entradas (materiais, informações, energia, etc.), a partir das quais os materiais serão fisicamente processados e adquirirão valor agregado pela utilização de um conjunto de elementos complexos (máquinas e pessoas), o que resultará como saída: produtos acabados, destinados diretamente aos consumidores, ou bens semi-acabados que serão utilizados pelos clientes para fabricar outros produtos acabados” (Antunes *et al.* apud Black, 1998).

No entanto, a fim de se analisar o comportamento desse *man-made systems*, bem como construir previsões acerca de sua dinâmica futura, é necessário utilizar a simulação voltada para SED.

Miyagi (2006) afirma que: “a simulação de sistemas a eventos discretos é própria para a análise de sistemas no qual o estado (discreto) das variáveis muda apenas com a ocorrência de eventos (considerados instantâneos)”. Para o autor, por meio de um modelo de simulação podem ser feitas análises sobre o comportamento do sistema, de modo a realizar previsões sobre seu funcionamento.

Nesse contexto, Chung (2004) ressalta algumas limitações da simulação e cuidados a serem tomados ao realizá-la. Aponta para imprecisão de resultados conforme a entrada de informações imprecisas, o que ressalta a importância da etapa de coleta de dados para a simulação. O autor ainda indica uma conjuntura de fatores necessários à simulação, dentre os quais: o cuidado na escolha de hipóteses simplificadoras, o requerimento de treinamento especializado e a preponderância de se executar várias vezes uma simulação que envolva sistemas probabilísticos.

A fim de definir os elementos de um sistema de eventos discretos, reporta-se a Banks *et al.* (2010), que observa a existência dos seguintes componentes:

- a. Entidade: “Objeto de interesse em um sistema”.
- b. Atributo: “Propriedade da entidade”.
- c. Atividade: “Representa uma ação que ocorre dentro de um sistema”.
- d. Evento: “Ocorrência que altera o estado do sistema” e que “pode ser entendido como uma atividade primária e instantânea que não admite decomposição”
- e. Estado: “Descreve uma situação do sistema e é identificado pelos valores das suas variáveis num determinado instante”.

Chung (2004) ressalta que as entidades são os componentes que “alteram o estado do sistema”, as quais podem ser tanto pessoas (como num serviço que atende aos seus consumidores) quanto objetos (como dívidas em um escritório de negociação de hipotecas, ou componentes aguardando para serem usinados numa fábrica).

Desse modo, percebe-se a ampla gama de aplicações possíveis da modelagem e simulação – o objeto de estudo analisado neste trabalho se aproxima do exemplo de Chung (2004) acerca do escritório de hipotecas.

O autor também destaca as filas como elementos relevantes de um sistema, definindo-as como: “O segundo maior tipo de componente que sistemas simples possuem são filas. Fila é o termo de simulação para linhas. Entidades geralmente entram em uma fila até que sejam

processados. Sistemas simples geralmente utilizam a prioridade de filas *first-in-first-out* (FIFO)”.

Tendo em vista essas considerações teóricas, é possível observar que o sistema de produção de derivativos, anteriormente descrito, pode ser analisado como SED, por meio de simulação de Eventos Discretos. Para tanto, buscar-se-á uma orientação de trabalho em simulação conforme proposta por Banks *et al.* (2010) e evidenciada no diagrama da Figura 2.

A partir de então, faz-se necessário investigar como os sistemas de serviços bancários têm sido modelados em trabalhos acadêmicos, ou ainda se a abordagem de SED já foi utilizada para a modelagem de algum sistema bancário focado em produtos financeiros (dentro ou fora do mercado de derivativos).

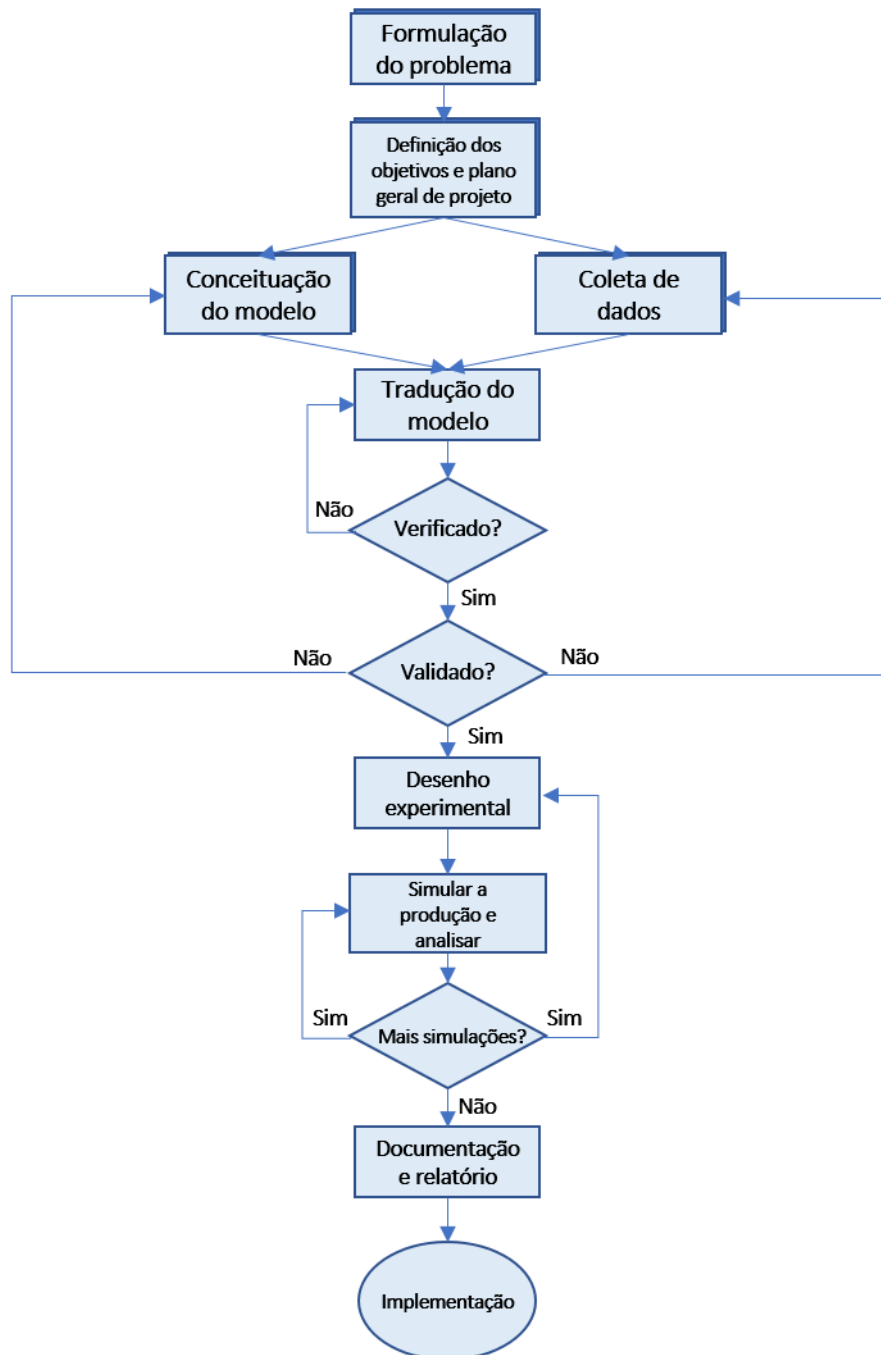
## 2.6 Trabalhos Correlatos

Em sua monografia, Michailovici (2012) utiliza modelagem orientada a objetos para propor um sistema de informação, a ser implementado numa Tesouraria de Instituição Bancária, o qual conteria registros de operações financeiras realizadas, com o intuito de facilitar o acesso de informações aos usuários.

O autor emprega UML (*Unified Modeling Language*), construindo diagramas de casos de uso e de sequência. Define classes de objetos (conforme o paradigma de programação orientada a objetos) e, por fim, apresenta um diagrama de classes do sistema sugerido. Evidencia também modelos de *layout*, com propostas de interface homem-máquina. Portanto, Michailovici (2012), semelhantemente ao autor deste Trabalho de Conclusão, enfoca a modelagem de um sistema voltado às operações em Banco de negócios. Porém, enquanto apresenta bases gerais para um sistema de informação a ser implementado, aqui se busca propor otimizações para um sistema a eventos discretos, com base em simulação.

A análise do trabalho de Muñoz *et al.* (2014), por sua vez, permite ressaltar semelhanças em termos de abordagem e objetivos, uma vez que emprega modelagem de SED a fim de simular operações logísticas de um banco situado no México. Por fim, é identificada a produtividade e apontados problemas na atividade da Instituição. Pode-se perceber que os objetivos dos trabalhos são convergentes – otimização de um sistema produtivo – embora um enfoque esteja sobre um Banco comercial de varejo, focado em serviços de logística, e outro sobre um Banco de negócios, voltado à produção de derivativos.

**Figura 2 – Etapas de uma simulação**



Fonte: Adaptado de Banks *et al.* (2010)



### **3 OBJETIVOS GERAIS**

O presente trabalho possui os seguintes objetivos:

1. Mapear o sistema de produção de derivativos;
2. Modelar o sistema conforme o paradigma de Sistemas a Eventos Discretos;
3. Analisar o funcionamento do sistema por meio de simulação;
4. Apontar pontos de melhoria que possam otimizar o sistema.

São descritos a seguir, em linhas gerais, os objetivos a serem alcançados.

#### **3.1 Mapeamento do Sistema**

Objetiva-se realizar o mapeamento completo do sistema produtivo, ou seja, mapear todo o fluxograma representativo deste sistema e compreender o seu funcionamento desde as entradas às saídas. Levantar a curva histórica de cada processo realizado no sistema em função do tempo, o que será preponderante nas etapas de modelagem e simulação do SED.

#### **3.2 Modelagem do SED**

Nesta etapa, busca-se identificar todos os componentes do sistema conforme o paradigma de um SED, ou seja, as entidades envolvidas, localidades, processos realizados, recursos, quais são as chegadas e saídas. Também deve-se modelar as curvas de probabilidade que representam cada processo, utilizando testes de hipótese para comprovar qual função de massa probabilística se adequa a cada caso.

#### **3.3 Análise do SED via simulação**

Deve ser realizada a simulação do sistema modelado, via o *software* ProModel. O comportamento do modelo deve ser analisado, a fim de: monitorar o tempo das entidades no sistema; identificar como este tempo é distribuído entre as localidades; monitor a taxa de saídas por unidade de tempo; monitorar quais recursos estão sobrecarregados e quais apresentam maior tempo ocioso; identificar gargalos no sistema.

#### **3.4 Indicação de pontos de melhoria**

A partir da análise por meio de simulação, devem-se propor pontos de melhoria, visando: a redução do tempo das entidades no sistema; o aumento da taxa de saídas por unidade de tempo; a otimização do número de recursos necessários para realizar as atividades;

a remoção de gargalos. Desse modo, será possível melhorar a eficiência, por meio da maximização da mencionada taxa de saídas por tempo em sistema.

Essa taxa servirá como métrica para avaliar se o ponto principal de otimização (eficiência) for atingido. Uma vez que isso ocorra, será possível melhorar o sistema tanto para a instituição financeira – pois deverá aumentar sua receita com as operações por unidade de tempo, *ceteris paribus*, ou ainda reduzir seus custos com o sistema produtivo caso sejam identificados gargalos, localidades ou recursos em excesso que sejam fontes de prejuízo – quanto para os clientes que poderão mais rápida e eficientemente fecharem as operações e com isso terem acesso às soluções financeiras negociadas.

## 4. MODELAGEM DO SISTEMA PRODUTIVO

Com o objetivo de realizar a modelagem do sistema produtivo e posterior simulação, é necessário mapear o sistema real e compreender o seu funcionamento.

O sistema de produção analisado recebe uma entidade de entrada, que é o pedido de um certo cliente, e emite uma entidade de saída – um contrato. Este representa o fechamento da operação de derivativo, portanto a formalização final de que Banco e cliente são agora contrapartes – em geral de um *swap* com objetivo de *hedge*, mas também de um futuro, termo ou opção, conforme definidos na seção 2.2.2.

A necessidade da modelagem e simulação para identificar pontos de otimização, deste sistema em específico, é movida pelos seguintes critérios da Instituição Financeira:

### a. Estratégia de negócios

Essas operações constituem uma das principais estratégias de negócios com clientes; ocupa posição de destaque na área da Tesouraria e no Banco de Investimento em geral quanto aos volumes financeiros negociados.

### b. Demanda interna por otimização

O sistema produtivo analisado possui grande demanda interna por melhora de eficiência. Algumas iniciativas, de caráter qualitativo, foram tomadas anteriormente para atender essa demanda, incluindo *brainstormings* com as equipes envolvidas, a fim de se levantar soluções possíveis no sentido de melhorar a métrica de eficiência.

Isto posto, serão apresentados, na seção 4.2, os diagramas que descrevem o sistema de produção, quanto às suas localidades (Figura 9) e processos (Figura 11). Nas figuras, foram omitidos por confidencialidade os nomes das instituições financeiras envolvidas.

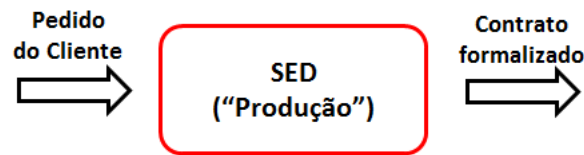
### 4.1. Mapeamento do Sistema de Produção

Procura-se, nesta seção, definir esquematicamente o sistema produtivo mapeado, desde esquemas iniciais mais básicos até o fluxograma completo.

Dessa forma, o sistema produtivo estudado pode ser esquematicamente descrito no formato mais elementar da Figura 3, em que se destacam as entidades de entrada e de saída:

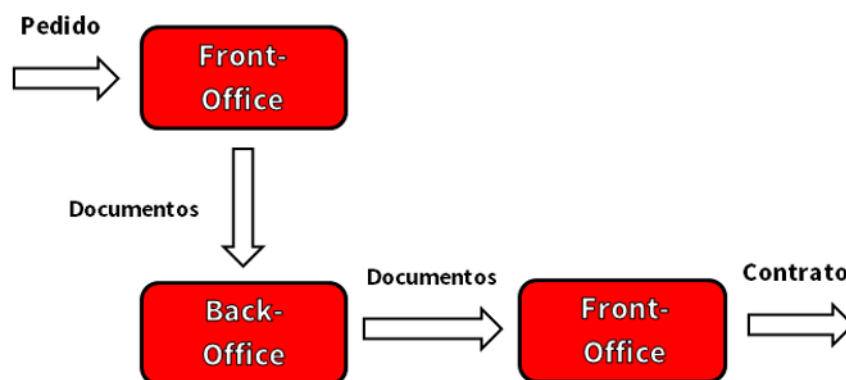
Ao se abrir o sistema a fim de evidenciar suas localidades internas e como se comunicam entre si, obtém-se o diagrama da Figura 4.

**Figura 3 – Esquema básico do Sistema de Produção de Derivativos do Banco**



Fonte: o Autor (2020)

**Figura 4 – Fluxograma básico do Sistema de Produção de Derivativos**



Fonte: o Autor (2020)

Na Figura 4, ressalta-se que a entidade de entrada, pedido, transforma-se em “documentos” ao longo do processo. Esta é uma nomenclatura genericamente adotada para uma série de entidades, as quais serão descritas na seção 4.2.2. Além disso, no diagrama se destacam as duas localidades que compõe o sistema, ou seja, *Front e Back Offices*. No entanto, estas podem ser abertas em outras localidades, as quais serão adotadas de fato para a modelagem. São estas:

**a. Front Office**

1. *Sales Desks*
2. *Trading Desk*

**b. Back Office**

1. *Back Office Onshore*
2. *Back Office Offshore*

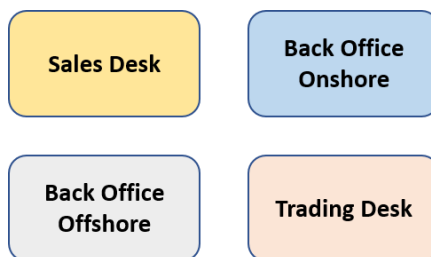
Tendo em vista esse mapeamento básico do sistema, elenca-se, no Apêndice II, o fluxograma mais completo levantado para o sistema de produção. Ressalta-se que o sistema

descrito por este *workflow* é responsável pela emissão do contrato de derivativo (em geral *swaps*, conforme apontado na seção 2.2.3) e, portanto, representa o fechamento da operação de derivativo com o cliente.

Algumas diferenças na organização do sistema são verificadas para o caso do encerramento da operação antes do vencimento (ocasião chamada de “liquidação antecipada”) ou para o caso da apuração periódica dos resultados da operação. Ambos os casos não são foco desta modelagem – a qual incide na produção dos contratos, não em seu encerramento antecipado ou apuração de seus resultados.

No fluxograma (Apêndice II), utilizam-se as seguintes convenções para representar o *workflow* (Figuras 5, 6, 7 e 8).

**Figura 5 – Representação de Localidade ou Processo**



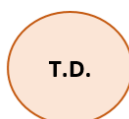
Fonte: o Autor (2020)

**Figura 6 – Representação de local de origem ou destino – *Sales Desk***



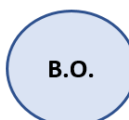
Fonte: o Autor (2020)

**Figura 7 – Representação de local de origem ou destino – *Trading Desk***



Fonte: o Autor (2020)

**Figura 8 – Representação de local de origem ou destino – *Back Office***



Fonte: o Autor (2020)

## 4.2 Modelagem do SED

Com base no fluxograma representativo do sistema, é possível construir um modelo que possa descrever o seu funcionamento real. Utilizando blocos relacionados num diagrama que representam as localidades, em cada qual existe um *pool* de recursos, os quais realizam a transformação das entidades, desde as chegadas (pedido do cliente) até as saídas (contratos), é possível construir uma representação do modelo, a qual será apresentada nas seções seguintes, bem como utilizada posteriormente em ambiente de *software*, a fim de se realizarem as simulações e proposição de otimizações.

Portanto, serão definidos os componentes do modelo e explicadas as relações entre eles, seguindo a ordem de: localidades, entidades e processos.

### 4.2.1 Localidades

Para o sistema modelado, são definidas as seguintes localidades:

#### I. *Sales Desk A, B, C e D*

Representam as mesas de vendas dos derivativos do sistema real. São definidos quatro locais (A, B, C e D), conforme as atividades que desenvolvem no sistema. O *pool* de recursos dessas Mesas é o mesmo – os *Sales Traders* – a serem descritos na seção 4.2.3

Uma série de processos é desempenhada nessas localidades durante o funcionamento (seção 4.2.4), associados a diferentes transformações nas entidades envolvidas.

#### II. *Back Office Onshore*

Representa a localidade homônima do sistema real. São utilizadas pelos *Back Office Onshore Analysts*, os quais realizam um único processo neste local.

Situa-se entre a *Sales Desk – A* e o *Back Office Offshore*, sendo necessário para a modificação da entidade advinda da mesa anterior, que a torna apta para o processamento na mesa seguinte.

#### III. *Back Office Offshore*

Refere-se à localidade homônima do sistema real. São usadas pelos *Back Office Offshore Analysts*, que realizam um único processo neste local.

A entidade de entrada advém do *Back Office Onshore* e, após as modificações realizadas pelos recursos, é encaminhada para o local seguinte, ou seja, a *Sales Desk – C*.

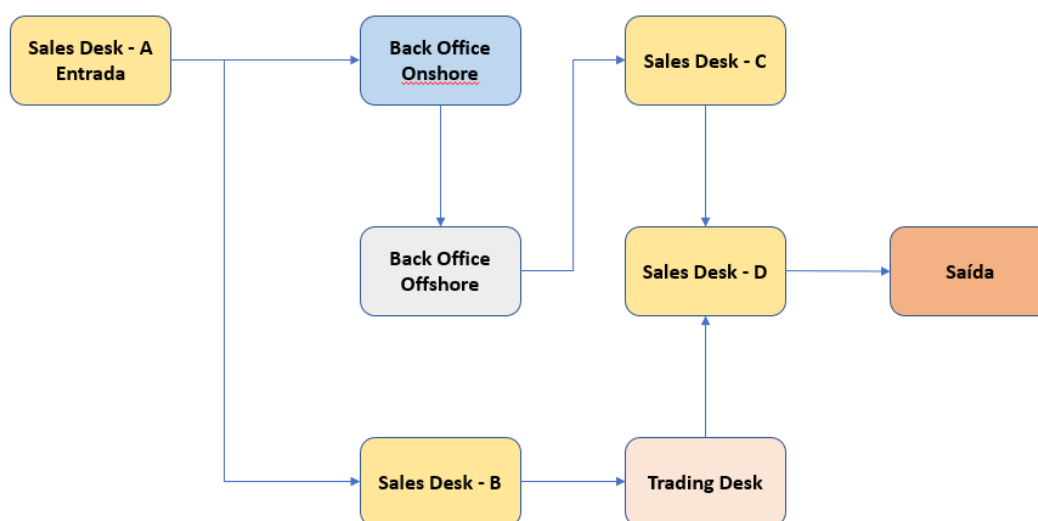
#### IV. *Trading Desk*

Local utilizado pelos recursos *Traders*, com objetivo de gerar uma das entidades finais do sistema produtivo, que serão transformadas no contrato que sai do mesmo.

Seu insumo provém da *Sales Desk – B*, o qual é modificado para ser processado, em seguida, pela *Sales Desk – D*.

Com base nas descrições anteriores, pode-se definir o diagrama de localidades mostrado na Figura 9. Neste, ressaltam-se também a relação entre locais, ou seja, de que direção vem e para onde são encaminhadas as entidades, após os processos impetrados pelos recursos.

**Figura 9 – Diagrama de Localidades**



Fonte: o Autor (2020)

#### 4.2.2 Entidades

As entidades que compõem o sistema, bem como suas características, são as seguintes:

##### I. Pedido do cliente

Entidade de entrada no sistema. Representa o pedido que chega na *Sales Desk*, a partir de um cliente da Tesouraria. Este é processado pelos recursos da Mesa, a fim de emitir a entidade seguinte, ou seja, o boleto manual.

Sua frequência de chegada obedece a uma função de probabilidade, a qual será descrita na seção 4.2.5.

## II. Boleto manual

Entidade emitida pela *Sales Desk – A*, a partir do processamento das chegadas. O boleto é insumo para dois outros processos, realizados em duas localidades diferentes. Dessa forma, assim que o pedido do cliente é processado, duas entidades “Boleto Manual” são criadas, seguindo dois caminhos: uma vai para o *Back Office* (inicialmente para o *Onshore* e depois o *Offshore*), e outra continua no *Front Office*, sendo encaminhada para a *Sales Desk – B*. Em ambos os caminhos, a entidade será processada até se transformar em um boleto sistêmico, ou seja, no Boleto do Sistema SG ou no Boleto do Sistema MX.

## III. Boleto do Sistema SG

Resultante do processamento do Boleto manual, na *Sales Desk – C*.

Esta entidade será enviada à *Sales Desk – D*, onde será unida ao Boleto do Sistema MX, a fim de criar o contrato final.

## IV. Boleto do Sistema MX

Resultante do processamento do Boleto manual, realizado na *Trading Desk*. Este boleto será enviado à *Sales Desk – D*, onde deve ser unido ao Boleto do Sistema SG, a fim de criar o contrato final.

## V. Contrato

Saída do sistema. É resultante da junção entre as duas entidades anteriores (boletos sistêmicos), realizada na *Sales Desk – D*.

Tendo em vista as descrições elencadas até o momento, bem como sua inter-relação no sistema produtivo, é possível construir o diagrama apresentado na Figura 10, em que se ressaltam cada chegada e saída nas localidades.

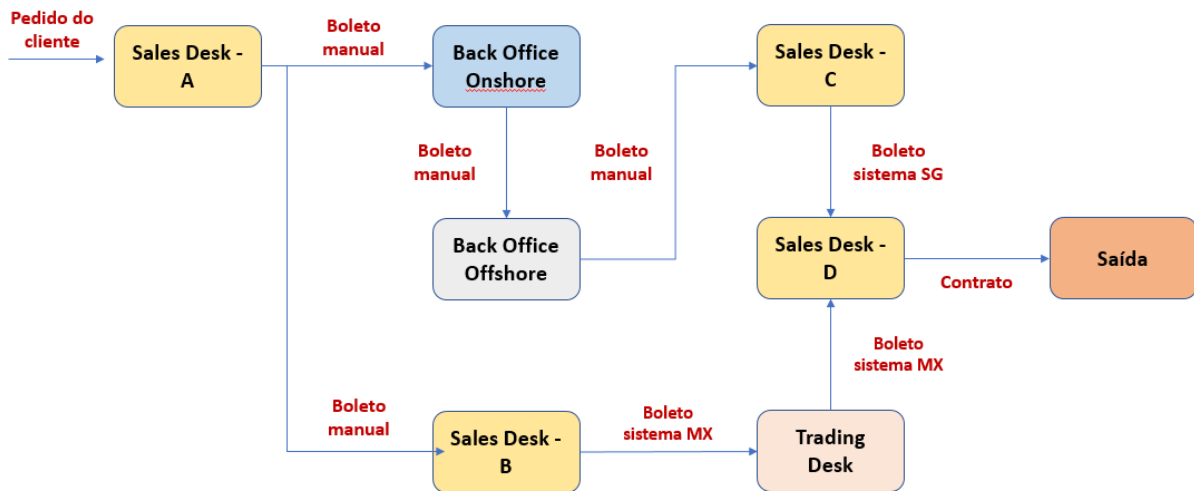
São considerados os seguintes atributos para as entidades:

- Varejo
- *Corporate*
- *Private*

Cada atributo representa um segmento ao qual pertence o cliente atendido pelo sistema, ou seja, se for uma pessoa física deve ser *Private*, se for uma pessoa jurídica deve ser Varejo ou *Corporate*. Essas classificações dependem diretamente de cadastros internos da Instituição Financeira.



**Figura 10 – Diagrama de Entidades**



Fonte: o Autor (2020)

#### 4.2.3 Recursos

O modelo é caracterizado pelos seguintes recursos, os quais são responsáveis pela realização dos processos (seção 4.2.4) em cada localidade (seção 4.2.1):

*I. Sales Trader*

Presente nas *Sales Desks A, B, C e D*. Realizam mais de um processo conforme a localidade em que se encontram.

*II. Trader*

Atuante na *Trading Desk*. Responsável por um dos últimos processos necessários para a geração do contrato final, ou seja, o tratamento do boleto do sistema MX e seu envio à *Sales Desk D*, onde será unido ao boleto do sistema SG para a geração do contrato.

*III. Back Office Onshore Analyst*

Responsável pelo processamento inicial do boleto manual em *Back Office* e seu envio para a ponta *Offshore*.

*IV. Back Office Offshore Analyst*

Responsável pelo processo do boleto manual, o qual provém da ponta *Onshore*, e seu envio para a *Sales Desk C*.

Tendo em vista essas descrições, pode ser construída a Tabela 1, com a relação de recursos para cada localidade, bem como a Tabela 3 (localizada na seção 4.2.4), indicando os processos realizados por estes recursos.

**Tabela 1 – Relação de recursos**

<b>Recurso</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Localidade(s)</b>
<b>Sales Trader</b>	20	Sales Desks - A, B, C e D
<b>Trader</b>	2	Trading Desk
<b>Back Office Onshore Analyst</b>	7	Back Office Onshore
<b>Back Office Onffshore Analyst</b>	5	Back Office Offshore

#### **4.2.4 Processos**

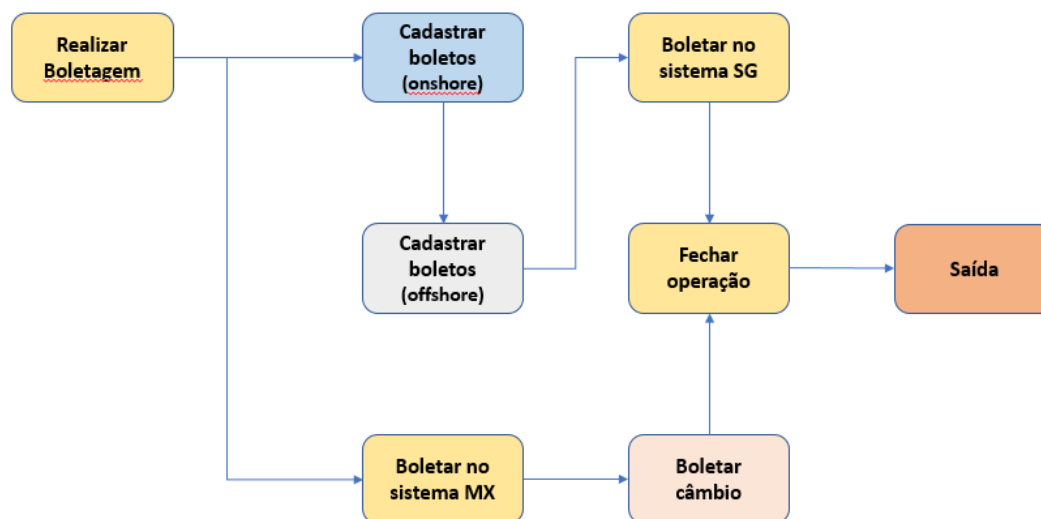
O fluxo das transformações das entidades do sistema é caracterizado pelos seguintes processos:

- I. Realizar Boletagem  
 Processo realizado na *Sales Desk – A*. É feito pelos recursos *Sales Traders* e transforma o pedido do cliente no boleto manual.
- II. Cadastrar boletos (*Onshore*)  
 No *Back Office Onshore*, os boletos manuais são processados pelos recursos dessa localidade. O processo do sistema real é um cadastro feito pelos analistas, necessário para a continuidade do fluxo.
- III. Cadastrar boletos (*Offshore*)  
 Os boletos manuais são novamente processados, no âmbito do *Back Office Offshore*. É realizado um cadastro no sistema real, o qual habilita o boleto para ir à próxima etapa do fluxo.
- IV. Boletar no sistema SG  
 Por meio deste processo, na *Sales Desk – C*, é feita a transformação do boleto manual num boleto do sistema SG. Este último segue para o processamento final do sistema.
- V. Boletar no Sistema MX  
 Na *Sales Desk – B*, o boleto manual é transformado num boleto do sistema MX, o qual será utilizado como insumo pela *Trading Desk*.
- VI. Boletar Câmbio  
 Os recursos *Traders*, localizados na *Trading Desk*, processam a entidade boleto do sistema MX (insumo de sua localidade), enviando-o para o processamento final do sistema.
- VII. Fechar operação  
 Na *Sales Desk – B*, são unidos os boletos dos sistemas MX e SG, resultando assim no contrato (saída do sistema). Dessa forma, representa-se o fechamento da

operação de derivativo do sistema real, caracterizada por um contrato fechado entre a Instituição Financeira e o cliente.

Conforme as descrições dos processos postadas até o momento, é possível construir o diagrama da Figura 11, que relaciona os processamentos realizados no sistema.

**Figura 11 – Diagrama de Processos**



Fonte: o Autor (2020)

Tendo em vista todas as descrições de localidades, processos e entidades, pode-se construir a Tabela 2, onde é apontada a relação entre os componentes mencionados do modelo.

**Tabela 2 – Descrição do Modelo**

<i>Localidade</i>	<i>Processo</i>	<i>Entrada</i>	<i>Saída</i>
<i>Sales Desk A</i>	Realizar boletagem	Pedido do cliente	Boleto manual
<i>Sales Desk B</i>	Boletar no sistema MX	Boleto manual	Boleto sistema MX
<i>Sales Desk C</i>	Boletar no sistema SG	Boleto manual	Boleto sistema SG
<i>Sales Desk D</i>	Fechar operação	Boleto sistema SG + Boleto sistema MX	Contrato
<i>Back Office Onshore</i>	Cadastrar boletos (onshore)	Boleto manual	Boleto manual
<i>Back Office Offshore</i>	Cadastrar boletos (offshore)	Boleto manual	Boleto manual
<i>Trading Desk</i>	Boletar Câmbio	Boleto Sistema MX	Boleto Sistema MX

A fim de realizar a simulação do funcionamento do sistema, faz-se necessário obter o comportamento de cada processo no tempo, ou seja, a frequência de entidades processadas com o tempo. Esta é descrita por meio de alguma função de probabilidade e, a fim de testar a

aderência das frequências reais a estas funções, são realizados testes de hipótese, conforme descritos na seção 4.2.5.

**Tabela 3 – Relação de recursos e processos**

<b>Recurso</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Localidade(s)</b>	<b>Processos</b>
<b>Sales Trader</b>	20	Sales Desk A	Realizar boletagem
<b>Sales Trader</b>	20	Sales Desk B	Boletar no sistema MX
<b>Sales Trader</b>	20	Sales Desk C	Boletar no sistema SG
<b>Sales Trader</b>	20	Sales Desk D	Fechar operação
<b>Back Office Onshore Analyst</b>	7	Back Office Onshore	Cadastrar boletos (onshore)
<b>Back Office Onffshore Analyst</b>	5	Back Office Offshore	Cadastrar boletos (offshore)

#### 4.2.5 Testes de Hipótese

Com o objetivo de verificar a aderência das frequências dos processos às funções probabilísticas, utilizam-se os testes de hipótese. Nesse procedimento, é preciso obter a frequência real (observada) das entidades processadas, e as comparar com o valor esperado pelo teste. A diferença entre os valores, utilizando-se a métrica do Erro *Chi* Quadrado, deve ser menor que o valor F crítico do teste, a fim de que haja uma aderência da frequência à função exponencial.

Para o cálculo do erro *Chi* quadrado, é utilizada a seguinte expressão:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Em que:

$\chi^2$  é o erro Chi quadrado;

$O_i$  é o número de observações na i-ésima classe;

$E_i$  é o número de observações esperadas na i-ésima classe;

n é o número de classes.

Para se obter o valor esperado em cada classe, utiliza-se:

$$E_i = \frac{\bar{X}}{N}$$

Onde:

$\bar{X}$  é a média dos valores da distribuição;

N é a quantidade de valores que compõe a distribuição.

Tendo em vista as expressões anteriores, são calculadas as métricas dos testes, cujos resultados são apresentados desde a Tabela 4 até a 15.

**Tabela 4 – Teste para Sales Desk A**

<b>Localidade</b>	<b>Sales Desk A</b>
<b>Tempo Mínimo (min)</b>	1,83
<b>Tempo Máximo (min)</b>	163,05
<b>Tamanho - Amostra</b>	32
<b>Média (min)</b>	55,5
<b>Classes</b>	7
<b>Erro Total</b>	2,56
<b>F Crítico</b>	11,07

**Tabela 5 – Frequências esperadas versus reais, para Sales Desk A**

<i>Classes</i>	<i>Valor Esperado</i>	<i>Valor Observado</i>	<i>Erro</i>
1	4,57	3	0,54
2	4,57	7	1,29
3	4,57	3	0,54
4	4,57	5	0,04
5	4,57	4	0,07
6	4,57	5	0,04
7	4,57	5	0,04
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>2,56</b>

**Tabela 6 – Teste para Sales Desk B**

<b>Localidade</b>	<b>Sales Desk B</b>
<b>Tempo Mínimo (min)</b>	0
<b>Tempo Máximo (min)</b>	564
<b>Tamanho - Amostra</b>	56
<b>Média (min)</b>	212
<b>Classes</b>	8
<b>Erro Total</b>	11,43
<b>F Crítico</b>	12,59

**Tabela 7 – Frequências esperadas versus reais, para Sales Desk B**

<i>Classes</i>	<i>Valor Esperado</i>	<i>Valor Observado</i>	<i>Erro</i>
1	7	12	3,57
2	7	7	0,00
3	7	5	0,57
4	7	2	3,57
5	7	4	1,29
6	7	7	0,00
7	7	11	2,29
8	7	8	0,14
<b>Total</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>11,43</b>

**Tabela 8 – Teste para Sales Desk C**

<b>Localidade</b>	<b>Back Onshore</b>
<b>Tempo Mínimo (min)</b>	0,00
<b>Tempo Máximo (min)</b>	564,00
<b>Tamanho Amostra</b>	31,00
<b>Média (min)</b>	313,74
<b>Classes</b>	5
<b>Erro Total</b>	6,90
<b>F Crítico</b>	7,81

**Tabela 9 – Frequências esperadas versus reais (Sales Desk C)**

<i>Classes</i>	<i>Valor Esperado</i>	<i>Valor Observado</i>	<i>Erro</i>
1	6,2	5,00	0,23
2	6,2	4,00	0,78
3	6,2	5,00	0,23
4	6,2	12,00	5,43
5	6,2	5,00	0,23
<b>Total</b>	<b>31,0</b>	<b>31,0</b>	<b>6,9</b>

**Tabela 10 – Teste para Trading Desk**

<b>Localidade</b>	<b>Trading Desk</b>
<b>Tempo Mínimo (min)</b>	11
<b>Tempo Máximo (min)</b>	581
<b>Tamanho Amostra</b>	279
<b>Média (min)</b>	38
<b>Classes</b>	6
<b>Erro Total</b>	5,58
<b>F Crítico</b>	9,49

**Tabela 11 – Frequências esperadas versus reais, para Trading Desk**

<i>Classes</i>	<i>Valor Esperado</i>	<i>Valor Observado</i>	<i>Erro</i>
1	6,3	3,0	1,75
2	6,3	7,0	0,07
3	6,3	5,0	0,28
4	6,3	6,0	0,02
5	6,3	11,0	3,44
6	6,3	6,0	0,02
<i>Total</i>	38,00	38,00	5,58

**Tabela 12 – Teste para Back Onshore**

<b>Localidade</b>	<b>Back Onshore</b>
<b>Tempo Mínimo (min)</b>	1,00
<b>Tempo Máximo (min)</b>	542,00
<b>Tamanho Amostra</b>	31,00
<b>Média (min)</b>	295,35
<b>Classes</b>	5
<b>Erro Total</b>	6,90
<b>F Crítico</b>	7,81

**Tabela 13 – Frequências esperadas versus reais (Back Onshore)**

<i>Classes</i>	<i>Valor Esperado</i>	<i>Valor Observado</i>	<i>Erro</i>
1	6,2	3,0	1,7
2	6,2	4,0	0,8
3	6,2	8,0	0,5
4	6,2	11,0	3,7
5	6,2	5,0	0,2
<i>Total</i>	31,0	31,0	6,9

**Tabela 14 – Teste para Back Offshore**

<b>Localidade</b>	<b>Back Onshore</b>
<b>Tempo Mínimo (min)</b>	47,00
<b>Tempo Máximo (min)</b>	581,00
<b>Tamanho Amostra</b>	31,00
<b>Média (min)</b>	321,94
<b>Classes</b>	5
<b>Erro Total</b>	7,55
<b>F Crítico</b>	7,81

**Tabela 15– Frequências esperadas versus reais (Back Offshore)**

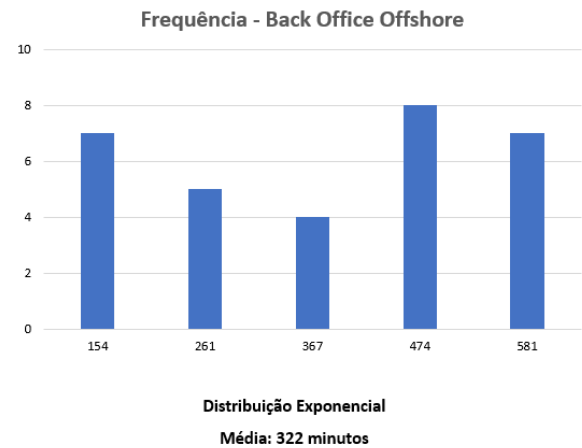
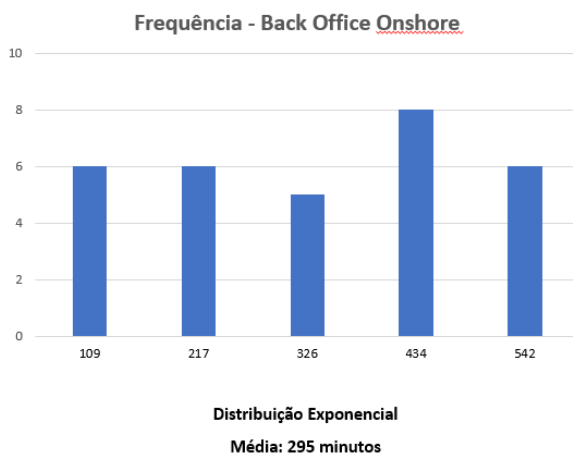
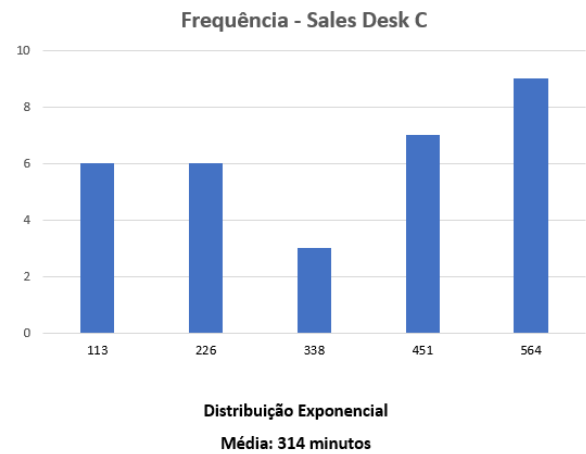
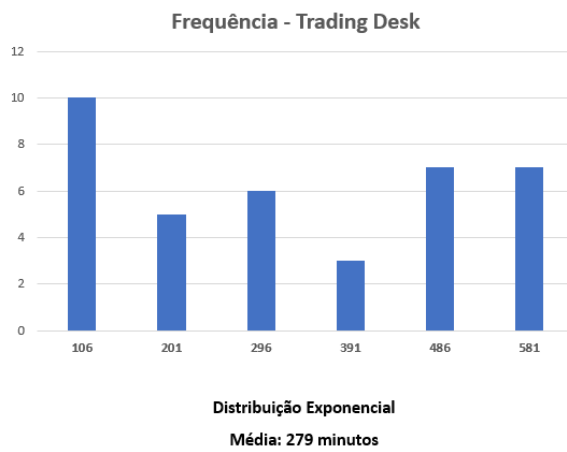
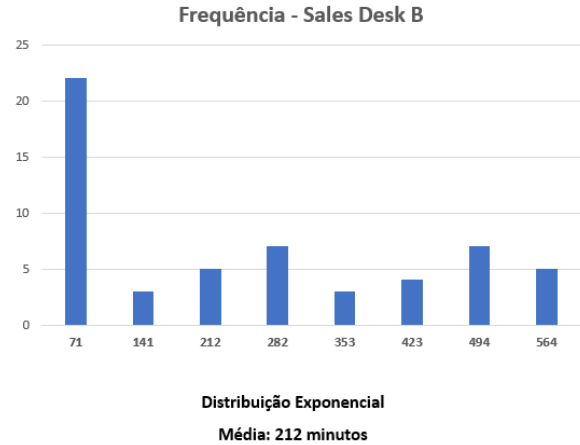
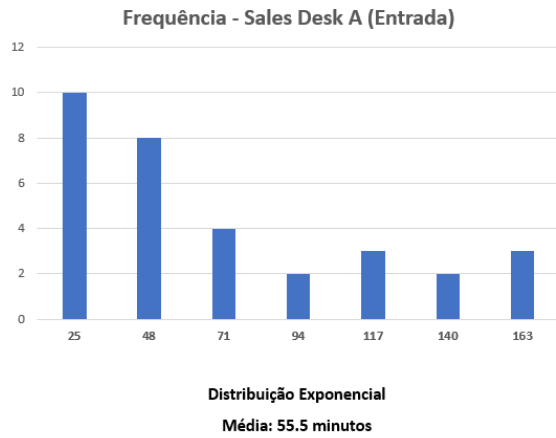
<i>Classes</i>	<i>Valor Esperado</i>	<i>Valor Observado</i>	<i>Erro</i>
1	6,2	2,00	2,85
2	6,2	5,00	0,23
3	6,2	8,00	0,52
4	6,2	11,00	3,72
5	6,2	5,00	0,23
<i>Total</i>	31,0	31,0	7,55

Portanto, é possível concluir que, para todos os processos, o erro total é menor que o F crítico pelo método do erro *chi* quadrado. Sendo assim, pode-se concluir que as curvas de frequência se aderem às funções de probabilidade exponenciais.

Dessa forma, são elencadas na Figura 12, as distribuições de probabilidade obtidas para cada processo, bem como as médias respectivas a cada uma das funções.



**Figura 12 – Curvas de probabilidade para os processos**



Fonte: o Autor (2020)

É relevante ressaltar que, excetuando-se o caso da *Sales Desk – A*, pode haver uma junção entre os tempos de fila e os tempos de processo nas distribuições. Dessa forma, destaca-se que um ponto de melhoria para esta modelagem consiste em separar ambos os tempos, de forma a aprimorar o modelo e os resultados gerados.

### 4.3 Modelagem no *software* ProModel

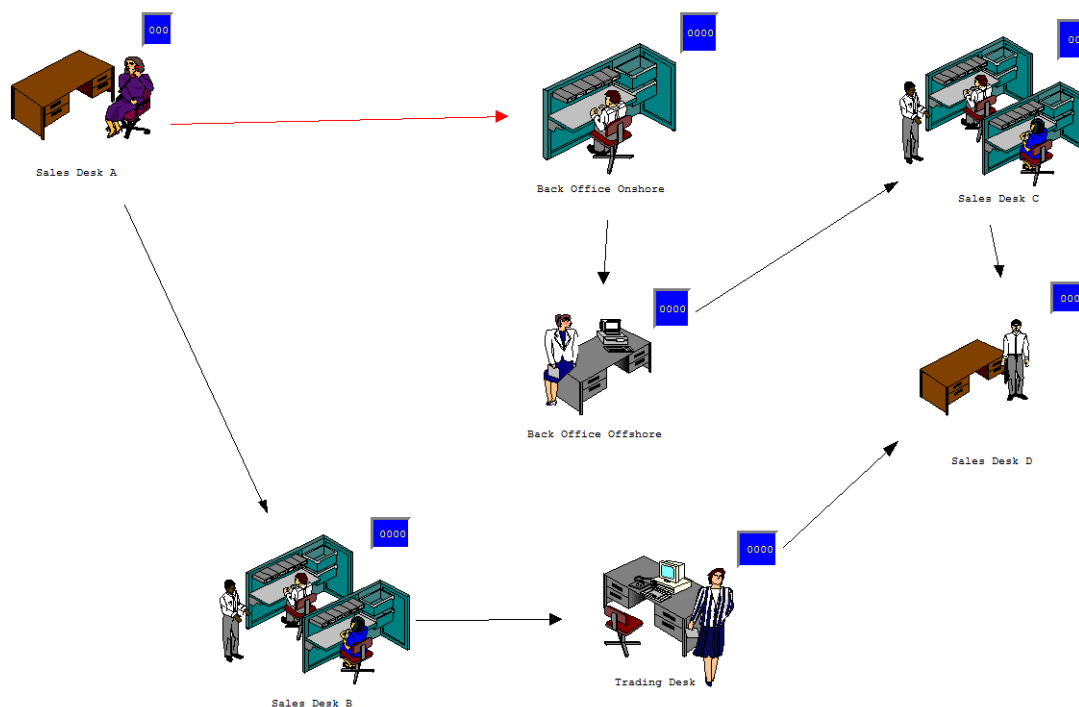
Com respeito às descrições da modelagem, elencadas na seção anterior, é possível implementar o modelo no *software* ProModel. Assim, definem-se todas as localidades, entidades, processos e recursos no âmbito deste *software*, obtendo-se a estrutura evidenciada na Figura 13.

Pode-se notar que as localidades e suas relações seguem o padrão da Figura 9. É importante destacar que, para a construção do ambiente gráfico, foram utilizadas as bibliotecas já disponibilizadas pelo programa ProModel.

A implementação dos locais, entidades e demais elementos seguem o estabelecido na Tabela 1.

A lógica dos processos implementada no *software* é descrita pela Tabela 16.

**Figura 13 – Modelo no *software* ProModel**



Fonte: o Autor (2020)

**Tabela 16 – Lógica dos processos no software ProModel**

<b>Entidade</b>	<b>Local</b>	<b>Operação</b>
Pedido_Cliente	Sales_Desk_A	Create 1 As Boleto_Manual_Front
Boleto_Manual_Front	Sales_Desk_B	Use Sales_Trader for E(212) MIN
Boleto_Manual_Back	Back_Office_Onshore	Use Back_Onshore_Analyst for E(295) MIN
Boleto_Manual_Back	Back_Office_Offshore	Use Back_Offshore_Analyst for E(322) MIN
Boleto_Manual_Back	Sales_Desk_C	Use Sales_Trader for E(314) MIN
Boleto_Sistema_MX	Trading_Desk	Use Trader for E(279) MIN
Boleto_Sistema_SG	Sales_Desk_D	Join 1 Boleto_Sistema_MX
Boleto_Manual_Front	Sales_Desk_A	

## 5. SIMULAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO

O intuito é de evidenciar a simulação do sistema atual no ambiente de *software*, bem como apresentar propostas de melhorias para o mesmo, conforme critérios a serem estabelecidos. Dessa forma, objetiva-se a análise do funcionamento do sistema real, a fim de se localizarem os pontos que carecem de melhoria, bem como otimizá-lo segundo os objetivos definidos na seção 3.

### 5.1 Simulação do sistema atual

Com base no modelo evidenciado na seção 4.3, é realizada a simulação do funcionamento do sistema atual no ProModel. No que se refere ao tempo, é estabelecido que um dia de trabalho contém um total de 10 horas, portanto 600 minutos. O tempo total de simulação adotado é de duas semanas de trabalho, ou seja, 100 horas ou 6000 minutos. Assim, após finalizar esse processo, os seguintes resultados são obtidos:

- Utilização dos recursos

É possível notar um forte desequilíbrio quanto à utilização dos recursos no sistema, ou seja, o percentual de tempo em que os mesmos são utilizados. Dessa forma, tem-se recursos muito ociosos – especialmente os *Sales Traders* – contra aqueles que estão no máximo de sua capacidade – especialmente os *Traders*, os quais caracterizam um forte gargalo no sistema.

A relação de utilização de recursos é evidenciada no gráfico da Figura 14.

- Quantidade de saídas

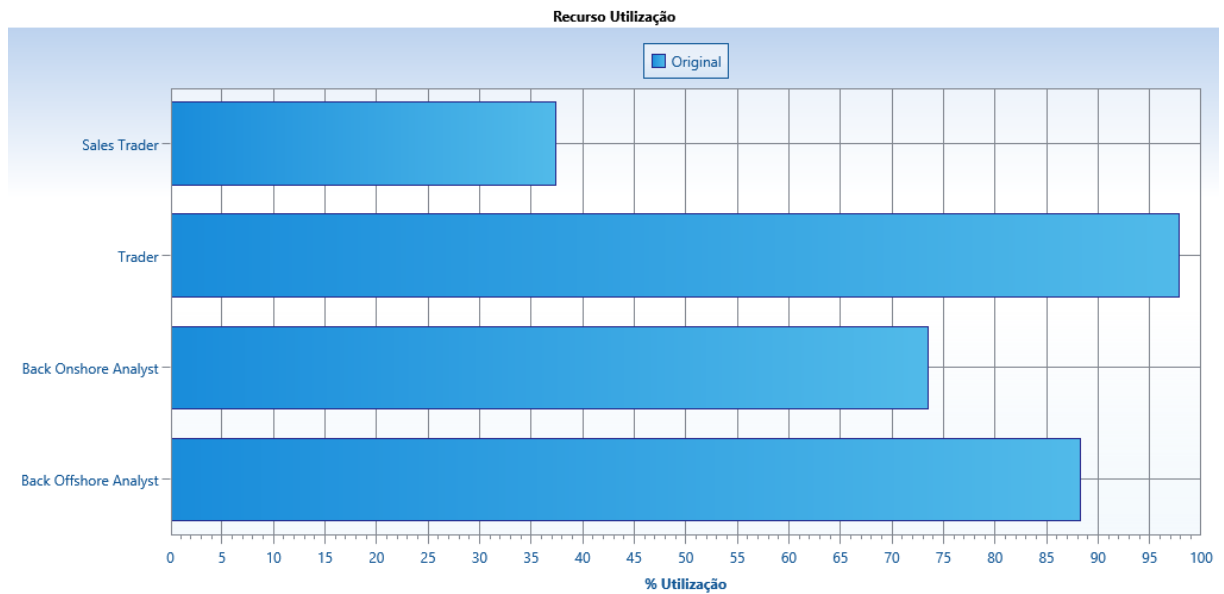
O sistema atual apresenta uma quantidade total de saídas de 38 contratos. Considerando-se as ineficiências localizadas quanto aos recursos, acerca das quais se proporá a otimização na seção 5.2, o número de saídas pode ainda ser aumentado (o que constitui uma das métricas de otimização conforme os objetivos elencados na seção 3).

A distribuição das saídas conforme as horas de trabalho é exposta no gráfico da Figura 15, para o cenário “original”, ou seja, o sistema atual.

### 5.2 Proposta de otimização

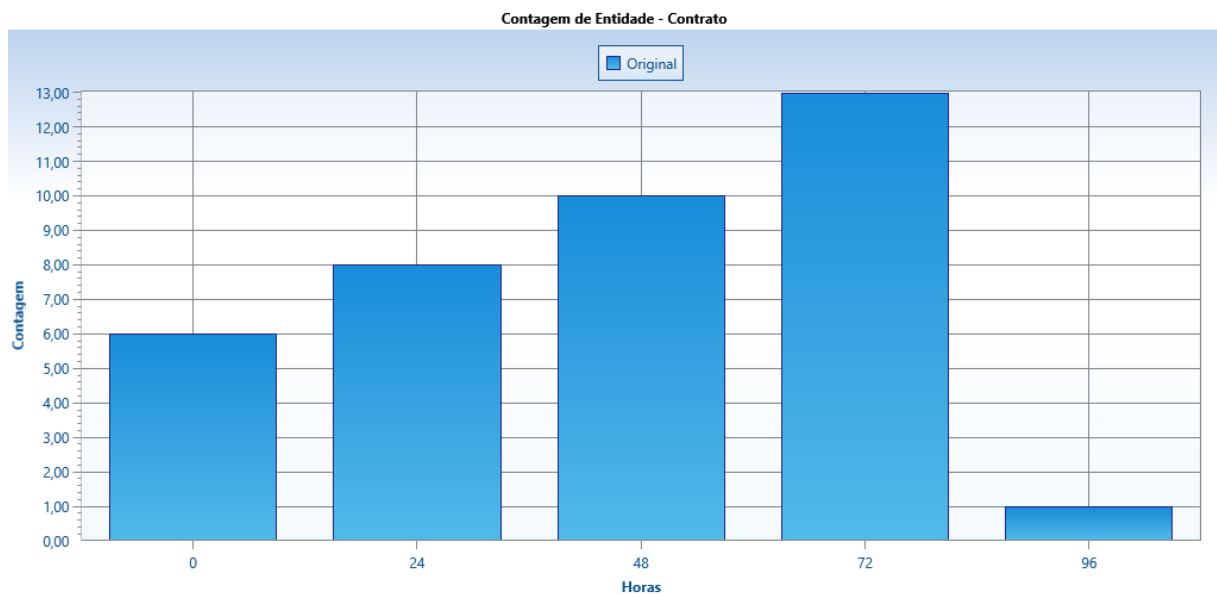
A simulação de diferentes cenários de funcionamento do sistema, por meio da alteração da quantidade de recursos para cada localidade, tem como objetivos:

**Figura 14 – Utilização dos recursos**



Fonte: o Autor (2020)

**Figura 15 – Número de saídas do sistema versus horas de simulação**



Fonte: o Autor (2020)

## **I. Melhorar a utilização dos recursos**

Define-se o tempo ideal dos recursos, em estado ocupado, em 85%. Isto equivale à 8 horas e 30 minutos, das 10 horas totais padronizadas de trabalho. Os diferentes cenários propostos devem se aproximar ao máximo desse percentual.

No processo de melhoria da utilização, deve ser implementada a remoção dos gargalos identificados na *Trading Desk* e *Back Offices*, bem como a redução do tempo ocioso considerável que está localizado nas *Sales Desks*.

## II. Maximizar a quantidade de saídas

Os cenários propostos devem maximizar o número de saídas no sistema, ou seja, os contratos de derivativos produzidos. A quantidade das saídas é utilizada como uma métrica de receita gerada pelo sistema.

## III. Minimizar a quantidade de recursos

No processo para se atingir os dois objetivos anteriores, devem ser utilizados o mínimo de recursos para cada localidade.

Assim, será possível equilibrar o sistema que se encontra desbalanceado – enquanto há um *pool* de recursos ociosos, outros são substancialmente mais requisitados e trabalham no máximo da capacidade.

Nesse contexto, são elencadas, a seguir, as descrições dos diferentes cenários propostos no ProModel em comparação com o sistema original. Inicialmente, são implementadas quatro propostas, cuja organização de recursos é mostrada na Tabela 17. Os resultados obtidos para a utilização, após as simulações, são evidenciados na Tabela 18 e na Figura 16.

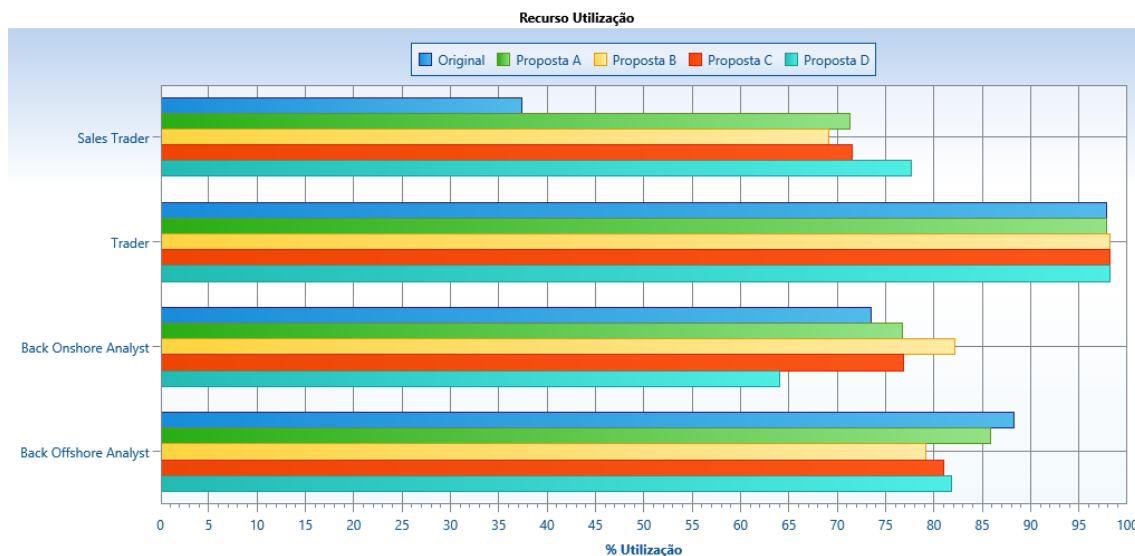
**Tabela 17 – Relação de recursos por proposta**

Recursos	Original	Proposta A	Proposta B	Proposta C	Proposta D
<i>Sales Trader</i>	20	10	10	10	8
<i>Trader</i>	2	2	1	1	1
<i>Back On. Analyst</i>	7	7	5	6	6
<i>Back Off. Analyst</i>	5	5	4	4	4

**Tabela 18 – Tempo ocupado (%) dos recursos por proposta**

Utilização (%)	Original	Proposta A	Proposta B	Proposta C	Proposta D
<i>Sales Trader</i>	37,4	71,4	69,2	71,6	77,8
<i>Trader</i>	98,0	98,0	98,3	98,3	98,3
<i>Back On Analyst</i>	73,5	76,8	82,2	76,9	64,2
<i>Back Off Analyst</i>	88,3	86,0	79,3	81,0	81,9

**Figura 16 – Gráfico da utilização (%) dos recursos para cada proposta**



Fonte: o Autor (2020)

## I. Proposta A

Adota-se o valor médio dos recursos na *Sales Desk*, comparando-se à quantidade atual. Com isso, a utilização aumenta para 72%, o que reduz substancialmente o tempo ocioso, embora ainda tenha restado algum. Nota-se, porém, que a utilização dos analistas de *Back Office* (sobretudo *offshore*), bem como os *Traders*, ainda continua relevantemente alta.

## II. Proposta B

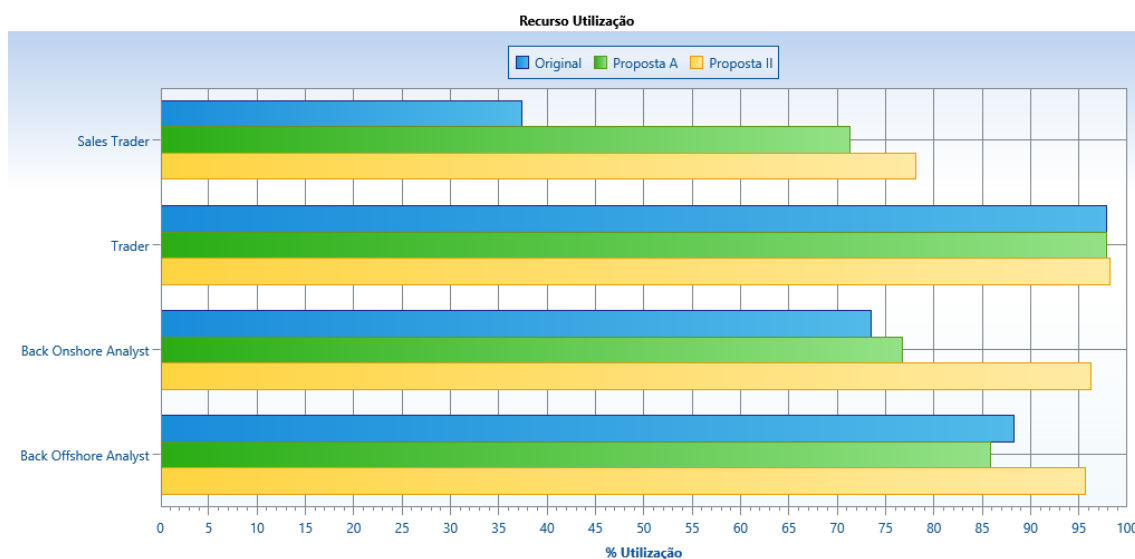
Adota-se o valor médio de recursos, com relação à quantidade atual, também para as outras *desks* (o arredondamento é feito para cima nos casos dos valores fracionados). A este cenário chama-se de Proposta II, conforme a descrição abaixo:

**Tabela 19 – Proposta adotando valores médios para os recursos**

Recursos	Original	Proposta II
<i>Sales Trader</i>	20	10
<i>Trader</i>	2	1
<i>Back On. Analyst</i>	7	4
<i>Back Off. Analyst</i>	5	3

No entanto, há uma piora significativa da utilização nos *Back Offices*, conforme o gráfico da Figurar 17.

**Figura 17 – Nova proposta de utilização (%) adotando valores médios**



Fonte: o Autor (2020)

Portanto, a princípio foi adotada a Proposta B, em que são empregados 75% dos recursos, com relação à quantidade atual, para os *Back Offices* (Figura 16). Percebeu-se que a utilização dos recursos nessas localidades não alterou relevantemente em relação à proposta A: 5% na média, variando em direções opostas entre o *Onshore* e *Offshore*.

É importante notar que, apesar da redução de metade da *Trading Desk*, a utilização piorou pouco, apenas 0,5%. Ou seja, importa pouco para o sistema atual se há um ou dois *traders* nessa Mesa – em ambos os casos, os recursos estariam quase que igualmente sobrecarregados.

### III. Proposta C

Considera-se aqui 75% do número original de analistas de *Back Office offshore* e aumenta-se para 80% do valor atual, os analistas do *onshore*. Houve uma melhoria na utilização dos recursos apenas na localidade *onshore*, conforme o esperado, porém não surtiu efeito nas outras, em que a utilização permaneceu aproximadamente inalterada.

### IV. Proposta D

Ao se alterar o número de *Sales Traders* em 50% com relação à proposta C, tem-se uma piora relevante na utilização dos mesmos. No entanto, reduzindo para 75% (da proposta C), o que significam 8 recursos, obtém-se a Proposta D (Tabela 17). Nela, pode-se ressaltar:



- Queda considerável (cerca de 12% em relação ao total) no uso dos analistas do *Back Office Onshore*, de forma que surge maior ociosidade para estes recursos.
- Piora pouco relevante para o *Back Office Offshore*;
- Desempenho inalterado dos *Traders*;
- Aumento do uso dos *Sales Traders*, mas ainda mantendo algum tempo ocioso.

Dessa forma, foi possível solucionar o problema dos gargalos nos *Back Offices*, especialmente o *Offshore*. Além disso, o tempo ocioso em *Sales* fora reduzido substancialmente, embora tenha surgido ociosidade no *Back Onshore*.

### 5.2.1 Análise das Propostas

Tendo em vista os cenários anteriormente descritos, é possível calcular o erro entre o percentual de utilização obtido em cada proposta, com relação ao objetivo de 85%, conforme a Tabela 4. Para o erro médio, considera-se uma média simples entre os módulos dos erros para cada recurso.

**Tabela 20 – Diferença entre a utilização obtida e o objetivo**

Erros (%)	Original	Proposta A	Proposta B	Proposta C	Proposta D
<i>Sales Trader</i>	-47,6	-13,6	-15,8	-13,4	-7,3
<i>Trader</i>	13,0	13,0	13,3	13,3	13,3
<i>Back On Analyst</i>	-11,5	-8,2	-2,8	-8,1	-20,9
<i>Back Off Analyst</i>	3,3	1,0	-5,7	-4,0	-3,1
<b>Erro Médio</b>	<b>18,8</b>	<b>8,9</b>	<b>9,4</b>	<b>9,7</b>	<b>11,1</b>

Embora a Proposta D não apresente o menor erro comparativo médio, uma vez que este cenário conseguiu reduzir o tempo ocioso dos *Sales Traders*, ele será adotado como ponto de partida para as próximas implementações de cenário.

É importante ressaltar que, quanto à utilização dos recursos, o sistema apresenta ainda dois pontos importantes a serem solucionados:

- Gargalo na *Trading Desk* com 99% de utilização;
- Tempo ocioso em *Sales Desk* e *Back Onshore*.

Sendo assim, para resolver esses pontos e reduzir o erro médio, serão simulados mais alguns cenários, os quais são elencados na Figura 18, e que foram desenvolvidos a partir do número de recursos da Proposta D.

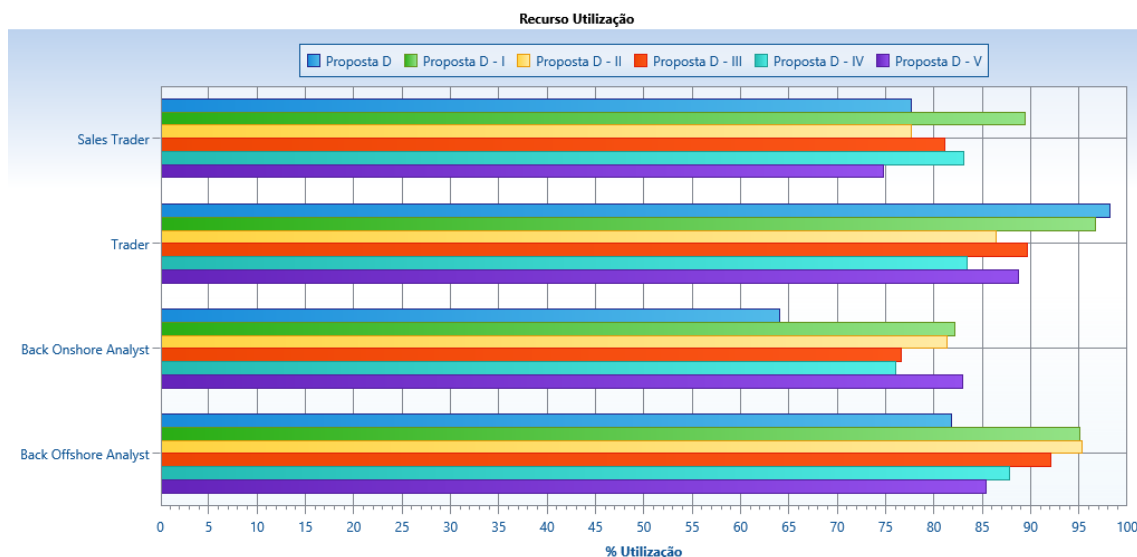
**Tabela 21 – Relação de recursos para os novos cenários**

Recursos	Proposta D	Proposta D - I	Proposta D - II	Proposta D - III	Proposta D - IV	Proposta D - V
<i>Sales Trader</i>	8	8	8	8	9	10
<i>Trader</i>	1	3	4	4	4	4
<i>Back On Analyst</i>	6	6	6	6	6	5
<i>Back Off Analyst</i>	4	4	4	5	5	5

**Tabela 22 – Tempo ocupado (%) dos recursos por novo cenário**

Ocupação (%)	Proposta D	Proposta D - I	Proposta D - II	Proposta D - III	Proposta D - IV	Proposta D - V
<i>Sales Trader</i>	77,8	89,5	77,7	81,3	83,2	74,9
<i>Trader</i>	98,3	96,7	86,6	89,8	83,5	88,8
<i>Back On Analyst</i>	64,2	95,1	81,4	76,7	76,1	83,0
<i>Back Off Analyst</i>	81,9	86,0	95,4	92,2	87,9	85,4

**Figura 18 - Gráfico da utilização (%) dos recursos para cada nova proposta**



Fonte: o Autor (2020)

## **I. Proposta D - I**

A fim de remover o gargalo da *Trading Desk*, e considerando que um número de recursos menor ou igual aos disponíveis atualmente no sistema (2 *Traders*) não pode melhorar o desempenho da mesa, nesta proposta foi simulado o cenário com 3 *Traders*.

Com a adição de um recurso, a utilização na *Trading Desk* melhorou pouco, permanecendo inadequada, acima de 95%.

## **II. Proposta D – II**

Adiciona-se outro recurso na *Trading Desk*, a fim de testar a remoção do gargalo. Obteve-se com isso uma redução de 10% na utilização dos recursos, chegando a um total de 86% para a Mesa. Logo, houve sucesso na eliminação do gargalo e assentamento do tempo de uso próximo ao objetivo de 85%.

No entanto, os recursos do *Back Office Offshore* passaram a ficar 95% do tempo ocupado. Logo, deve-se agora procurar uma forma de remover também este novo gargalo.

## **III. Proposta D – III**

A fim de reduzir o tempo ocupado para os recursos do *Back Offshore*, sugere-se inicialmente que 5 analistas sejam empregados (número equivalente ao do sistema real). Assim, melhora-se 3% a utilização nesta localidade, enquanto as outras permanecem aproximadamente constantes ou pioram, a exemplo da *Trading Desk*. Portanto, o cenário não se mostra apropriado.

## **IV. Proposta D – IV**

Visando evitar o aumento de um recurso no *Back Office* com relação ao número atual, a princípio, sugere-se neste cenário a recolocação de um recurso nas *Sales Desk*. Assim, é obtida a seguinte resposta:

- Ocupação dos recursos no *Back Office Offshore* em 87%.
- Estado ocupado dos *Sales Traders* em aproximadamente 85%;
- Menor ocupação dos recursos na *Trading Desk* em 83%;
- Aumento do tempo ocioso em *Back Onshore* – ocupado em 76% do tempo.

## V. Proposta D – V

A fim de reduzir a ociosidade do *Back Onshore* advinda da Proposta anterior, foi implementada a redução de um recurso nessa localidade. Como a resposta obtida piorou o desempenho em geral dos recursos, alterou-se (além do número no *Back Office*) a quantidade na mesa de *Sales*, aumentando um recurso (Tabela 21).

Assim, foi possível obter as seguintes respostas:

- Aumento do tempo ocupado no *Back Onshore* para 83%;
- Leve alteração na ocupação do *Back Offshore* e *Trading Desk*;
- Aumento relevante (10%) na ociosidade da *Sales Desk*.

### 5.2.2 Análise de novas propostas

A partir dos resultados advindos dos novos cenários simulados, é possível construir a tabela de erros entre a utilização obtida e o objetivo de 85%, bem como os erros médios, elencados na Tabela 23.

**Tabela 23 – Erro entre a utilização obtida e o objetivo**

Erros (%)	Proposta D	Proposta D - I	Proposta D - II	Proposta D - III	Proposta D - IV	Proposta D - V
<i>Sales Trader</i>	-7,3	4,5	-7,3	-3,8	-1,8	-10,2
<i>Trader</i>	13,3	11,7	1,6	4,8	-1,5	3,8
<i>Back On Analyst</i>	-20,9	10,1	-3,6	-8,3	-8,9	-2,0
<i>Back Off Analyst</i>	-3,1	1,0	10,4	7,2	2,8	0,4
<i>Erro Médio</i>	11,1	6,8	5,7	6,0	3,8	4,1

Percebe-se que a Proposta D – IV é aquela que apresenta o menor erro médio dentre os cenários já analisados, de 3,8%. Com exceção do *Back Office Onshore*, os recursos estão muito próximos do objetivo de 85% de tempo em uso. A Proposta D – V também é caracterizada por um baixo erro médio total. Neste caso, os *Sales Traders* são os recursos com maior tempo ocioso.

Tendo em vista essas considerações, faz-se necessário analisar os outros aspectos de desempenho dos cenários simulados, ou seja, o número de entidades (contratos) resultantes e o quantidade de recursos necessários para as produzir.

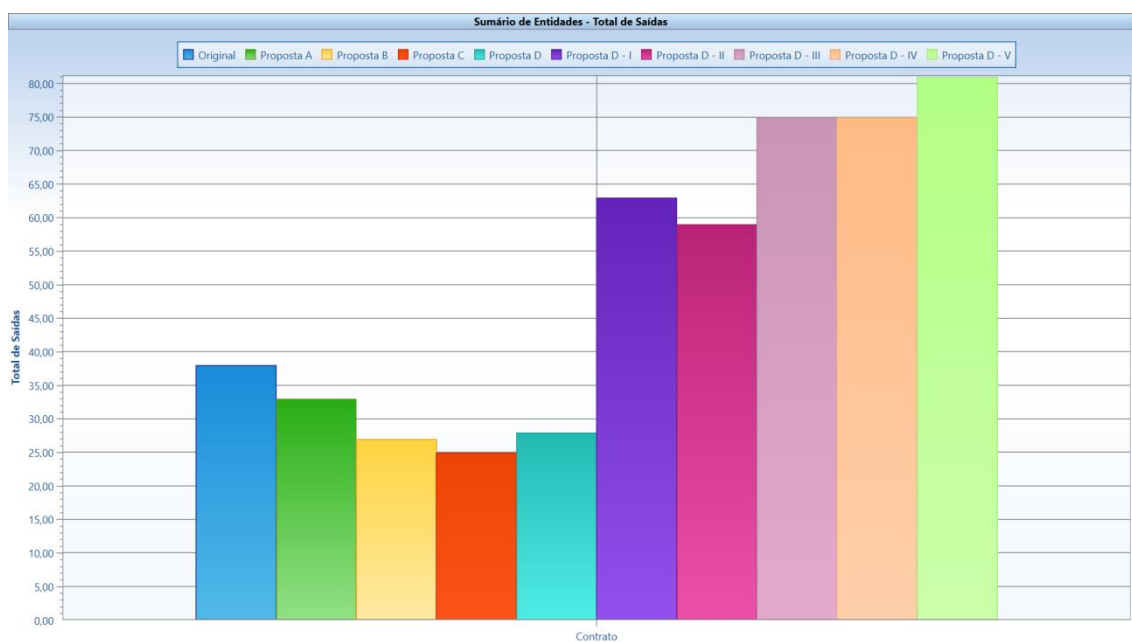
### 5.2.3 Saídas do Sistema

No que se refere às saídas do sistema para cada um dos cenários simulados, é possível construir o gráfico apresentado na Figura 19, que mostra o número de contratos de derivativo emitidos conforme as propostas implementadas.

É importante ressaltar que os cenários mais otimizados em utilização de recursos, ou seja, que obtiveram mais sucesso na remoção dos gargalos e tempos ociosos, apresentam um ganho muito relevante com relação ao sistema original. A Proposta D - IV possui um total de 75 saídas, ou seja, um aumento de 97% dos contratos de derivativo fechados.

Quanto à Proposta D - V, são entregues 43 contratos a mais que o sistema original, um aumento aproximado de 113%.

**Figura 19 – Saídas do sistema por proposta**



Fonte: o Autor (2020)

O ganho em saídas do sistema, para os cenários mais otimizados, é mostrado na Tabela 8. Quanto ao ganho absoluto, considera-se a diferença simples entre o número de entidades que saem do sistema em cada proposta e o número de saídas do sistema original. Referindo-se ao ganho relativo, leva-se em consideração as diferenças percentuais.

**Tabela 24 – Relação de saídas do sistema**

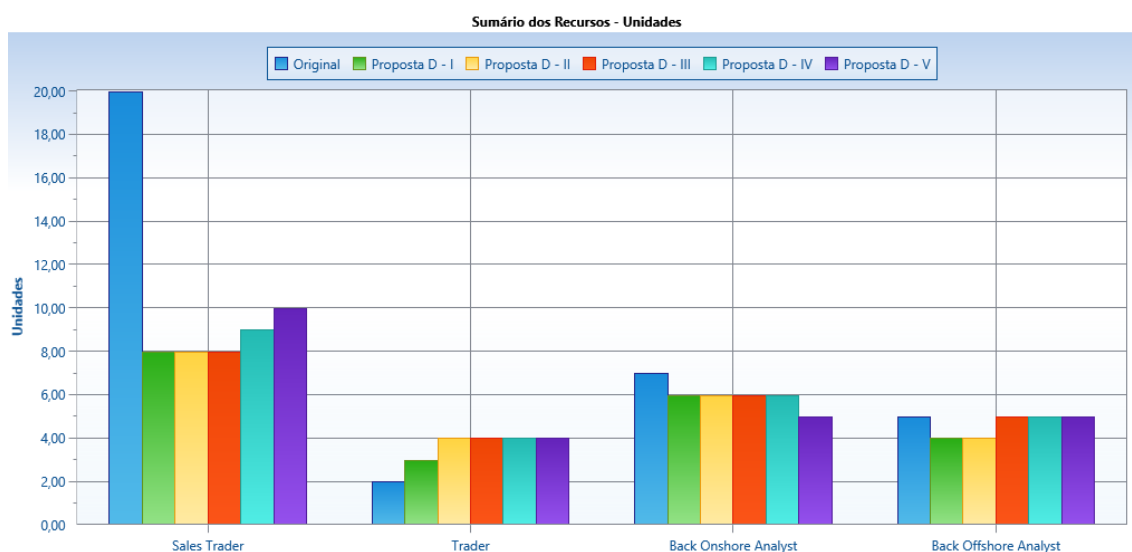
	Original	Proposta D - I	Proposta D - II	Proposta D - III	Proposta D - IV	Proposta D - V
<i>Saídas</i>	38	63	59	75	75	81
<i>Ganho absoluto</i>	0	25	21	37	37	43
<i>Ganho relativo</i>	0%	66%	55%	97%	97%	113%

#### 5.2.4 Quantidade de Recursos

No que se refere à quantidade de recursos utilizada para cada cenário, é possível construir o gráfico apresentado na Figura 20, em que se comparam as unidades empregadas para o sistema original e os cenários mais otimizados.

A quantidade de recursos usada para cada sistema é relacionada na Tabela 25. Percebe-se que a redução com referência ao sistema original, aumenta conforme os cenários se tornam otimizados em utilização dos recursos, chegando a 29% para as propostas D - IV e D - V. Ainda assim o valor representa uma redução considerável tendo em vista o sistema original.

**Figura 20 – Quantidade de Recursos por Cenário**



Fonte: o Autor (2020)

**Tabela 25 – Relação de recursos do sistema**

	Original	Proposta D - I	Proposta D - II	Proposta D - III	Proposta D - IV	Proposta D - V
<i>Recursos</i>	34	21	22	23	24	24
<i>Redução</i>	0	13	12	11	10	10
<i>Redução Relativa</i>	0%	38%	35%	32%	29%	29%

### **5.2.5 Decisão do melhor cenário via análise de variância (ANOVA)**

Com o objetivo de determinar o cenário que apresenta a maior otimização para o sistema produtivo, faz-se necessária a intervenção via análise de variância (ANOVA).

Considerando a avaliação do desempenho desse sistema, é preciso ter em mente os seguintes critérios:

#### **1. Saídas**

Métrica mensurada pelo aumento relativo das saídas do sistema, com referência ao sistema original. Os melhores cenários são os que representam os ganhos mais significativos.

#### **2. Recursos**

Critério quantificado pela redução percentual aplicada à quantidade de recursos necessários para o sistema. A otimização neste quesito é função das reduções verificadas para cada proposta.

No que se refere à escolha desses parâmetros, é levada em consideração a relevância dos mesmos para o sistema real, tanto operacionalmente quanto financeiramente. Desse modo, a quantidade de saídas é mais relevante, tendo em vista que cada contrato representa uma certa receita para a Tesouraria e para a Instituição Financeira.

Sequencialmente, deve-se considerar a quantidade de recursos, como um critério de custos. Ou seja, tudo o mais constante, a redução de recursos representa uma diminuição de despesas para a avaliação de resultados da empresa.

A utilização também é relevante para o desempenho do sistema, pois é preciso que haja um certo equilíbrio entre o uso dos recursos, ou seja, não deve haver recursos muito ociosos em contraste com outros muito ocupados.

Tendo em vista essas considerações, a principal métrica de otimização a ser adotada é a quantidade de saídas do sistema. Assim, a eficiência é avaliada pela quantidade de contratos emitidos com o tempo. Para determinar qual cenário oferece a melhor otimização em termos desta eficiência, pode-se utilizar o método de análise de variância (ANOVA).

Dessa forma, é possível analisar diferentes grupos de amostras, a fim de determinar se, entre os cenários que compõe cada grupo, há diferença entre as distribuições dos tempos necessários para a emissão dos contratos. Logo, caso não haja diferença, os desempenhos das propostas são considerados equivalentes, ou seja, qualquer uma delas oferece a mesma

melhoria de desempenho, e as eventuais diferenças entre a quantidade de contratos emitidos em cada uma podem ser explicadas pelas aleatoriedades do sistema.

Para que os cenários analisados no grupo sejam equivalentes, o coeficiente F da ANOVA deve ser menor que o F crítico. Este valor representa a razão da variação entre as médias das amostras, com relação à variação em cada amostra. Uma explicação mais abrangente sobre a métrica F pode ser encontrada em Devore (2014).

Sendo assim, são obtidas as métricas de média e variância, para as distribuições de tempo que os contratos levam para serem emitidos em cada proposta, conforme a Tabela 26.

**Tabela 26 – Métricas de Média e Variância por proposta**

<i>Grupo</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Proposta A	55.187	2.044	83.695
Proposta B	68.750	2.546	187.902
Proposta C	66.608	2.467	125.402
Proposta D - I	48.118	1.782	109.996
Proposta D - II	46.516	1.723	134.409
Proposta D - III	41.922	1.553	69.600
Proposta D - IV	39.695	1.470	49.714
Proposta D - V	39.243	1.453	112.833
Proposta D	63.866	2.365	143.795

Conclui-se que é possível aplicar a ANOVA tomando como base, diferentes grupos de cenários. Primeiramente, são analisadas todas as propostas em um único grupo, conforme a Tabela 27.

**Tabela 27 – Análise de Variância para todos os cenários**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F crítico</i>
<b>Entre grupos</b>	40.939.423	8	5.117.428	45,27	1,98
<b>Dentro dos grupos</b>	26.450.987	234	113.038		
<b>Total</b>	67.390.410	242			

Em que *SQ* é soma de quadrados, *GL* são os graus de liberdade e *MQ* é a média quadrada. Para a obtenção do coeficiente F, adota-se a razão da média quadrada entre grupos, com relação à média quadrada dentro dos grupos.

Sendo assim, conforme os resultados da Tabela 27, o coeficiente F ainda se encontra muito acima do valor crítico. Logo, é necessário adotar outras combinações entre grupos. Isolando apenas as propostas mais otimizadas, ou seja, D – I até D – V, é possível obter, via ANOVA:



**Tabela 28 – Análise de variância para as Propostas D – I a D – V**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2.396.498	4	599.124	6,29	2,44
Dentro dos grupos	12.390.334	130	95.310		
Total	14.786.832	134			

Uma vez que o F ainda apresenta um valor maior que o F crítico, são realizadas sucessivamente, análises de variância para os grupos conforme elencados abaixo:

**Tabela 29 – Análise de variância para as Propostas D – II a D – V**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F crítico</i>
<b>Entre grupos</b>	1.230.203	3	410.068	4,47	2,69
<b>Dentro dos grupos</b>	9.530.446	104	91.639		
<b>Total</b>	10.760.649	107			

**Tabela 30 – Análise de variância para as Propostas D – III a D – V**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F crítico</i>
<b>Entre grupos</b>	152.398	2	76.199	0,98	3,11
<b>Dentro dos grupos</b>	6.035.824	78	77.382		
<b>Total</b>	6.188.222	80			

**Tabela 31 – Análise de variância para as Propostas D – IV a D – V**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F crítico</i>
<b>Entre grupos</b>	152.398	2	76.199	0,98	3,11
<b>Dentro dos grupos</b>	6.035.824	78	77.382		
<b>Total</b>	6.188.222	80			

Dessa maneira, pode-se ressaltar que a combinação dos cenários D – III, D – IV e D – V já apresenta um valor F inferior ao F crítico, bem como a combinação entre as amostras D – IV e D – V.

A partir dessa análise, é possível salientar que os cenários D – III, D – IV e D – V se apresentam como soluções para a otimização do sistema, considerando-se o número de contratos fechados com o tempo. Uma vez que o critério do F crítico é satisfeito, as três amostras são equivalentes, ou seja, a variação entre elas é apenas devida à aleatoriedade do sistema.

Diante desse resultado, o aumento médio do número de contratos fechados, nestes cenários ótimos, com relação ao sistema original, segue conforme a Tabela 32.

Considera-se que as três propostas atendem de forma muito satisfatória o critério da quantidade de contratos fechados, proporcionando um aumento relevante de saídas do

sistema. Os cenários conseguem ampliar a receita financeira, ao melhorar substancialmente a sua eficiência, ou seja, a taxa de contratos emitidos com o tempo.

**Tabela 32 – Saídas para cada cenário**

<b>Cenário</b>	<b>Aumento de saídas</b>
<b>D - 3</b>	60%
<b>D - 4</b>	68%
<b>D - 5</b>	70%

No que se refere a quantidade de recursos, é possível tomar como base a Tabela 25. Dela, pode-se concluir que as soluções D – IV e D – V representam uma redução maior de recursos necessários para o sistema. Assim, uma vez que, entre os três melhores cenários quanto ao número de contratos fechados, as propostas D – IV e D – V conseguem melhorar ainda mais a receita financeira do sistema, por meio da redução das despesas financeiras via mitigação de recursos, essas propostas se sobressaem como soluções ótimas.

É preciso ressaltar que as soluções D – IV e D – V apresentam o melhor atendimento aos critérios de otimização. Ao se adotar essas propostas, é possível:

**Proposta D – IV:**

- Obter uma utilização média de recursos de 85%, com erro de 3,8%.
- Aumentar substancialmente a quantidade de contratos fechados em 68%.
- Reduzir a quantidade de recursos necessários em 29%.

**Proposta D – V:**

- Obter uma utilização média de recursos de 85%, com erro de 4,1%.
- Aumentar substancialmente a quantidade de contratos fechados em 70%.
- Reduzir a quantidade de recursos necessários em 29%.

## 6. CONCLUSÕES

A análise do sistema de produção de derivativos em um Banco de Investimento, desde seu mapeamento em pesquisa de campo, até a construção de um modelo representativo do mesmo, permitiu a descrição de seu funcionamento conforme a teoria de Sistemas a Eventos Discretos (SED) e, por fim, sua simulação em ambiente de *software*. Por meio desta, uma gama de cenários de funcionamento foi simulado, alternando-se os recursos envolvidos nos processos para que o sistema se tornasse mais eficiente, ou seja, o número de contratos fechados, por meio dele, pudesse ser ampliado.

Pode-se ressaltar que o mapeamento do sistema, etapa inicial e necessária para a modelagem, incluindo o conjunto de localidades e recursos envolvidos, a relação entre eles e a entidade que percorre o fluxo produtivo, além dos tempos associados a cada um dos processos, possibilitou a obtenção de uma visão global e precisa acerca da Produção, o que foi preponderante tanto para este Projeto quanto para a Instituição Financeira.

No que se refere à modelagem, foi possível identificar todos os aspectos do sistema produtivo conforme o paradigma de SED e os utilizar para transpor o modelo ao âmbito do *software* ProModel, onde se realizou a simulação do sistema conforme seus parâmetros atuais podendo assim, serem identificados os pontos de otimização.

A partir dos resultados advindos da simulação, foi possível propor alterações ao sistema a fim de se atingir as métricas ótimas inicialmente desejadas. Foram simulados nove diferentes cenários, a maioria dos quais promoveu melhorias na utilização dos recursos – remoção de gargalos e redução de tempo ocioso – além de ter reduzido o número de recursos necessários para os processos e ampliado os contratos fechados.

No melhor dos cenários propostos, promoveu-se um aumento de aproximadamente 70% para o número de contratos finalizados, associado a uma redução aproximada de 30% na quantidade de recursos – os quais estão distribuídos em suas atividades de forma equilibrada, ou seja, não há diferenças relevantes entre os tempos de ocupação dos recursos, os quais apresentam utilização total em torno de 85%. Foi possível ampliar relevantemente a eficiência do sistema de produção de derivativos analisado, atendendo ao principal objetivo da proposta de otimização.

Como ponto de melhoria, pode-se ressaltar a separação entre os tempos de fila e os de processo, pois não há segregação entre estes tempos na análise atual, com exceção dos processos que ocorrem na localidade *Sales Desk*. Sendo assim, ao se realizar a seção entre essas amostras, será possível um refinamento da modelagem e proposta de otimização.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, L. A. **Enciclopédia de Automática & Controle e Automação**. Vol. 1, São Paulo: Editora Blucher, 2007.
- ANTUNES, J. *et al.* **Sistemas de Produção: Conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. 1. ed. São Paulo: Bookman, 2008.
- BANKS, J. *et al.* **Discrete Event System Simulation**. Upper Saddle River, NJ: Ed. Prentice Hall, 1996.
- B3. **Clearing**. Disponível em: [http://b3.com.br/pt\\_br/produtos-e-servicos/compensacao-e-liquidacao/clearing](http://b3.com.br/pt_br/produtos-e-servicos/compensacao-e-liquidacao/clearing). Acesso em: 1 de nov. 2019.
- CHUNG, C. A. **Simulation Modeling Handbook: A Practical Approach**. CRC Press, Taylor and Francis Group, 2004.
- DEVORE, J.L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006.
- GIAMBIAGI, F. **Derivativos e risco de mercado**. 1. ed. São Paulo: Elsevier, 2017.
- HULL, J. C. **Opções, futuros e outros derivativos**. 9. ed. São Paulo: Bookman, 2016.
- KUMAR, R.; GARG, V. K. **Modeling and Control of Logical Discrete Event Systems**. 5. ed. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- MICHAILOVICI, S. **Sistema flexível de apoio a operações da tesouraria de um banco de grande porte: requisitos, modelagem e benefícios**. 2012. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://pro.poli.usp.br/wp-content/uploads/2013/04/20flex%C3%ADvel-de-apoio-a-opera%C3%A7%C3%B5es-da-tesouraria-de-um-banco-de-grande-porte-requisitos-modelagem.pdf>
- MIYAGI, P. E. **Controle Programável - Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1996.
- MIYAGI, P. E. **Introdução a Simulação Discreta**. 2006. Disponível em: [sites.poli.usp.br/d/pmr2460/arquivos/apostila\\_simulacao.pdf](http://sites.poli.usp.br/d/pmr2460/arquivos/apostila_simulacao.pdf) Acesso em: 1 de jun. 2019.
- MIYAGI, P. E. *et al.* **Modelling and Analysis of Hybrid Supervisory Systems**. London, UK: Springer, 2007.
- MOLERO, L.; MELLO, E. **Derivativos: Negociação e precificação**. 1. ed. São Paulo: Saint Paul, 2018.
- MUÑOZ, M. F. M. *et al.* **Evaluación of logistics servisse, case study: bank located in Mexico City**. In: Annual Conference and Expo. 2014. Disponível em:

<<https://search.proquest.com/openview/ce35b60a27e5de1394e908d683fad5ae/1?pq-origsite=gscholar&cbl=51908>>

NATALE, F. **Automação Industrial**. São Paulo: Ed. Érica, 1995.

NETO, A. **Mercado Financeiro**. 14 ed, São Paulo: Atlas, 2018.

NETO, L. A. S. **Derivativos: Definição Emprego e Risco**. 5. ed. São Paulo: [s. n.], 2016.

RAMOS, C. **Derivativos, Riscos e Estratégias de Hedge**. 3. ed. São Paulo: César Ramos e Cia., 2019.

VAROUFAKIS, Y. **O Minotauro global: a verdadeira origem da crise financeira e o futuro da economia** .1.ed.São Paulo: Ed. Autonomia Literária,2018.

## APÊNDICE I

### Notas para a Matriz de Decisão

**Tabela 33 – Critério de Utilização**

<b>Erro mínimo</b>	<b>Erro máximo</b>	<b>Nota</b>
0	5	10
5	10	7
10	15	4
15	20	1

**Tabela 34 – Critério de Saídas**

<b>Mínimo de saídas</b>	<b>Máximo de saídas</b>	<b>Nota</b>
105	115	10
95	105	9
85	95	8
75	85	7
65	75	6
55	65	5
45	55	4
35	45	3
25	35	2
-	25	1

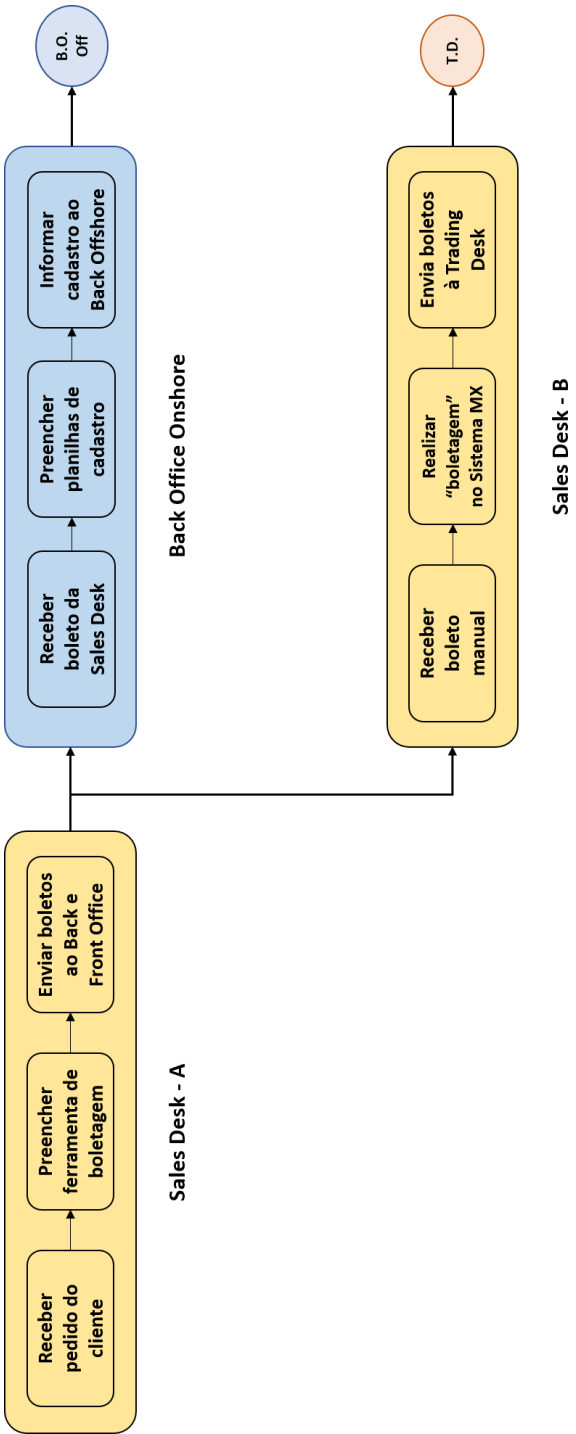
**Tabela 35 – Critério de Utilização**

<b>Erro mínimo</b>	<b>Erro máximo</b>	<b>Nota</b>
35	-	10
30	35	8
25	30	6
20	25	4
15	20	2
-	15	1

APÊNDICE II

Fluxograma – Fechamento de operação de derivativo

Figura 21 – Fluxograma – Fechamento de Operação (Parte I)



(Fonte: o Autor)

Figura 22 – Fluxograma – Fechamento de Operação (Parte 2)

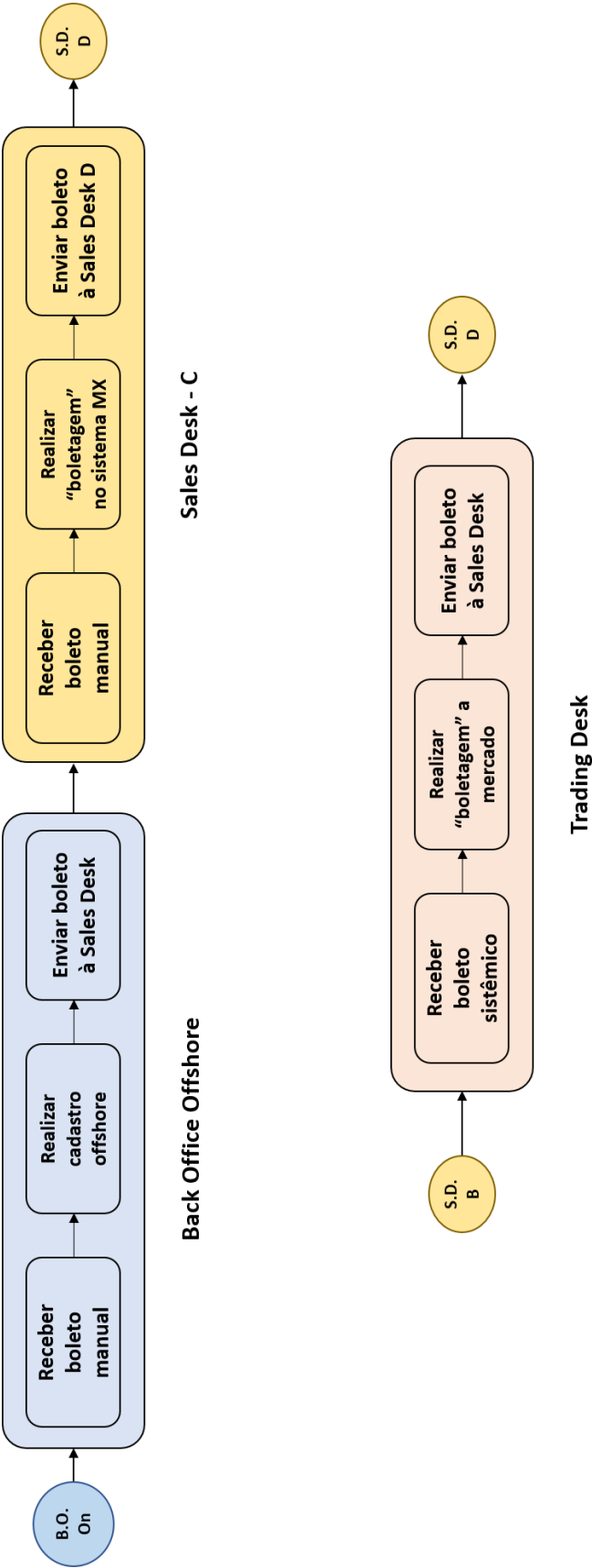
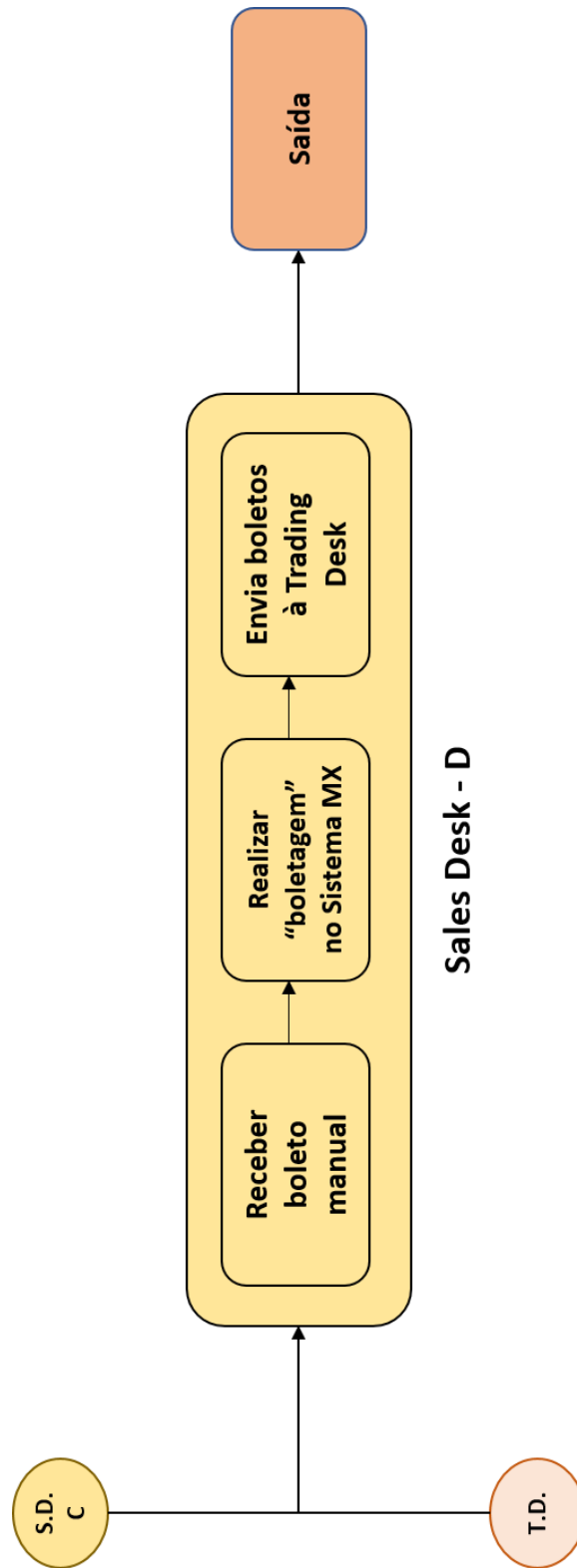




Figura 23 – Fluxograma – Fechamento de Operação (Parte 3)



(Fonte: o Autor)