

NILMAR NUNES NASEVICIUS

IMPLEMENTAÇÃO DOS MODELOS DE CAPITAL REGULATÓRIO
PADRÃO, IRB E *CREDIT RISK PLUS* PARA UMA CARTEIRA DE
CRÉDITO

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para conclusão do curso de MBA em
Engenharia Financeira

Área de Concentração:
Risco de Crédito e Capital

Orientador: Alexandre Oliveira

São Paulo
2014

MBA/EF
2014
N 1º Sm

Esc Politécnica-Bib Eng Eletr



M2014G

IMPLEMENTAÇÃO DOS MODELOS DE CAPITAL REGULATÓRIO
PADRÃO, IRB E *CREDIT RISK PLUS* PARA UMA CARTEIRA DE
CRÉDITO

FICHA CATALOGRÁFICA

x
M2014G

Nasevicius, Nilmar.

Implementação dos modelos de capitão regulatório padrão, IRB e *Credit Risk Plus* para uma carteira de crédito / Nilmar Nunes Nasevicius. - 2014. 79 f.

Orientador: Alexandre Oliveira.

Tese (MBA) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – PECE - POLI

1. Finanças. 2. Risco de Crédito. 3. Modelagem Estatística. 4. Modelos Regulatórios. 5. Modelos de Cálculo de Capital. Oliveira, Alexandre. II. Tese (MBA) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – PECE - POLI

S. Eng. Finanças

[2475679]

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador Alexandre Oliveira, pela atenção, apoio, compreensão e incentivo durante o trabalho.

Agradeço fortemente minha amada Tatiana Oliveira pelo apoio incessante neste trabalho e na vida.

Agradeço em geral, ao pessoal de Riscos Integrado e Risco de Crédito e Capital do Banco Votorantim, com ênfase ao Polydoro, Henrique, Caio e Roger. E também sou muito grato a todos pela paciência e ajuda.

Por fim, um agradecimento mais do que especial a minha família, pois se consegui fazer algo foi com o alicerce dado por eles.

RESUMO

Para se proteger contra perdas inesperadas e manter a solvência em períodos de crise, toda instituição financeira deve calcular o capital mínimo requerido para suas operações, sendo que o resultado não pode ser superior a um determinado piso, denominado Patrimônio de Referência (PR), apurado segundo diretrizes do Banco Central do Brasil. Atualmente, todos os bancos brasileiros devem mensurar o capital mínimo requerido de acordo com normas padronizadas. Entretanto, tais diretrizes buscam acompanhar a evolução do mercado financeiro, consequentemente, as metodologias para mensuração do capital para risco de crédito estão em constante estágio de desenvolvimento. Este trabalho visa comparar as metodologias de cálculo de capital para risco de crédito sobre a ótica de implementação dos modelos padronizados (RWAcpad) e internos (IRB e Capital Econômico), utilizando uma carteira teórica, de forma que os resultados obtidos dessa implementação sejam comparáveis. Assim, possibilita-se as comparações sobre as óticas metodológicas (quantitativas, qualitativas e computacionais) e seus respectivos impactos sobre essa carteira teórica.

Palavras-Chave: Risco de crédito. Alocação de capital. Acordo de Basiléia. Capital Econômico. Capital Padrão. Capital IRB.

ABSTRACT

To protect against unexpected losses and to maintain solvency in crises periods, each financial institutions must calculate a minimum capital requirements for its operations, whereas the result cannot be higher than a minimum, called Patrimônio de Referência (PR), determined by rules published from Brazilian Central Bank. Actually, every Brazilian banks should measure minimum capital requirements according to standardized approaches. However, such guidelines aim to follow financial markets evolution, thereafter, credit risk capital methodologies are in constant development. The present work aims to compare the calculation of credit risk capital methodologies on the implementation of standardized (RWAcpad) and internal approaches (IRB e Economic Capital), using a theoretical portfolio, so that the results obtained can be compared. Thus, comparison between methodological views (quantitative, qualitative and computational) and their respective impacts over the theoretical portfolio can be done.

Keywords: Credit risk. Capital allocation. Basel. Economic Capital. Requirements Capital. IRB capital

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de clientes por segmentos.....	37
Tabela 2: Exposição por segmentos	37
Tabela 3: Concentração de <i>rating</i>	39
Tabela 4: Concentração de RWAcpad por <i>rating</i>	46
Tabela 5: Exposição por Capital RWAcpad.....	46
Tabela 6: Concentração de RWAIRB por <i>rating</i>	50
Tabela 7: Exposição por Capital RWAIRB.....	50
Tabela 8: Concentração de RWACR+ por <i>rating</i>	53
Tabela 9: Exposição por Capital RWACR+.....	54
Tabela 10: Concentração de Capital por segmento	59
Tabela 11: Comparação RWA e CR+	60
Tabela 12: Capital por CR+ e V@R.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de Cálculo do RWA.....	21
Figura 2: Conceito de Capital Econômico e V@R de Crédito	26
Figura 3: Distribuição de <i>rating</i> na carteira	38
Figura 4: <i>Rating</i> por Segmento.....	38
Figura 5: Comparação da PD por segmento	40
Figura 6: Box-Plot da PD	40
Figura 7: Comparação da Volatilidade de PD por segmento	41
Figura 8: Box-Plot da Volatilidade de LGD.....	42
Figura 9: Comparação da LGD por segmento.....	43
Figura 10: Box Plot LGD	43
Figura 11: Percentual de RWAcpad por segmento	45
Figura 12: Distribuição do RWAcpad por segmento	47
Figura 13: Percentual de RWAIRB por segmento	49
Figura 14: Distribuição do RWAIRB por segmento	51
Figura 15: Percentual de RWACR+ por segmento	52
Figura 16: Distribuição do RWACR+ por segmento	54
Figura 17: Comparação entre percentual de RWAcpad, RWAIRB e CR+.....	58
Figura 18: Razão entre EAD por RWAcpad, RWAIRB e CR+.....	59

LISTA DE SIGLAS

BACEN	Banco Central do Brasil
BIS	<i>Bank of International Settlements</i>
BCBS	<i>Basel Committee on Banking Supervision</i>
CMN	Conselho Monetário Nacional
CR+	<i>Credit Risk Plus</i>
FGC	Fundo Garantidor de Crédito
IF	Instituição Financeira
IRB	<i>International Rating Based</i>
PEPR	Percentual de Exposição Ponderada ao Risco
PF	Pessoa Física
PJ	Pessoa Jurídica
RW _{Acpad}	Parcela de capital de Risco de Crédito
RW _{ACR+}	Capital por <i>Credit Risk Plus</i>
RW _{IRB}	Parcela de capital de Risco de Crédito por modelos internos
VaR	<i>Value at Risk</i>

SUMÁRIO

1. Introdução.....	11
1.1 Objetivo	11
1.2 Motivação e Justificativa	11
1.3 Estrutura do Trabalho.....	12
2. Regulamentação bancária sob visão de Risco de Crédito	14
2.1 Introdução ao Risco de Crédito.....	14
2.2 Capital Regulamentar	15
2.2.1 Exigências para Risco de Crédito – O Acordo de Capital de 1988	16
2.2.2 Novo Acordo de Basiléia	17
3. Descrição das técnicas aplicadas	20
3.1 Capital requerido	20
3.1.1 Formulação e cálculo do capital regulatório.....	20
3.2 Capital por modelos internos	22
3.2.1 Componentes de risco de crédito: conceito de <i>default</i> , probabilidade de <i>default</i> , perda dada inadimplência, exposição líquida e perda esperada.....	22
3.2.2 Valor em risco e capital econômico.....	25
3.3 Capital IRB.....	28
3.3.1 Introdução ao capital IRB.....	28
3.4 Capital <i>Credit Risk Plus</i>	30
4. Análises Realizadas	35
4.1 Os Dados.....	35
4.2 Análises descritivas dos dados	36
4.3 Capital Regulatório <i>RWAcpad</i>	44
4.4 Capital IRB.....	48
4.5 Capital <i>Credit Risk Plus</i>	51
5 Comparações dos Modelos	56
5.1 Comparações dos Modelos.....	56
5.2 Comparações dos resultados	58
6. Conclusões	62

7. Referências Bibliográficas	64
APÊNDICE A – Programas desenvolvidos em SAS.....	67

1. Introdução

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como principal objetivo aprimorar o conhecimento e dissertar sobre as metodologias de cálculo de capital para risco de crédito para instituições financeiras, implementando e comparando as metodologias utilizadas e seus respectivos impactos. E descrever as principais diferenças nas abordagens empregadas neste projeto.

Para tanto, este trabalho revisa e apresenta metodologias de cálculo do capital para Risco de Crédito e seus insumos, inclusive considerando os princípios regulatórios.

Tendo todos estes descritos, iniciam-se as comparações metodológicas e estruturais. Assim, tornando-se viável a aplicação em uma carteira, a qual se apresenta de forma descritiva. Enfim, após aplicações e análises das metodologias é feita uma comparação dos resultados obtidos pelas distintas maneiras de cálculo capital apresentando-os como conclusão.

1.2 Motivação e Justificativa

Devido à imposição regulatória, pela necessidade de prevenção e mensuração de possíveis eventos inesperados, e a abrangência de possibilidades de estudos, os trabalhos sobre Capital para Risco de Crédito vêm sendo cada vez mais exigidos pelas instituições financeiras.

Estudos anteriores, como o de Oliveira [2013], Maranhão [2010], entre outros, mostraram diversas abordagens para o cálculo do capital para risco de crédito das instituições financeiras.

O trabalho realizado por Maranhão [2010] enfatiza técnicas como Algorítmico recursivo de Panjer, mas apenas para o cálculo do capital econômico aplicado a uma carteira. Com o intuito de aprimorar este estudo, este trabalho se justifica ao apresentar aplicações com mais abordagens de cálculo do capital para risco de crédito, como o Capital Requerido (RWA), capital econômico (CR+) e o capital IRB.

Assim, o presente trabalho apresenta uma implementação e comparação entre as três metodologias de cálculo do capital, aplicado em uma mesma carteira e demonstrando resultados obtidos e os aspectos de cada aplicação.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está distribuído em sete capítulos, descritos brevemente a seguir:

No capítulo 1 será apresentado o objetivo, motivação e justificativa, e estrutura que o trabalho seguirá.

No capítulo 2 será apresentada uma introdução ao risco de crédito, acordo de Basiléia e razões regulatórias.

No capítulo 3 serão apresentados os conceitos, modelos de definições de risco de crédito.

No capítulo 4 serão apresentas as análises e resultados das metodologias para cálculo do capital regulatório RWAcad e RWAirb e capital econômico por *Credit Risk Plus*.

No capítulo 5 serão apresentados os primeiros resultados do estudo de cada aplicação dos modelos utilizados.

No capítulo 6 serão apresentadas as conclusões das aplicações das metodologias e os respectivos resultados deste trabalho.

No capítulo 7 será apresentada a Bibliografia utilizada para a realização deste presente trabalho.

2. Regulamentação bancária sob visão de Risco de Crédito

2.1 Introdução ao Risco de Crédito

O Risco de Crédito consiste na possibilidade de ocorrência de perdas associadas ao não cumprimento, pelo tomador ou contraparte, de suas respectivas obrigações financeiras nos termos pactuados. Em outras palavras, risco de crédito está relacionado ao fato da contraparte não honrar seus pagamentos, seja por vontade própria, por incapacidade financeira e/ou qualquer outro motivo, esse evento é conhecido como de Risco de *Default*.

Dentre os usuais elementos do risco de crédito estão:

- Alteração do valor das dívidas;
- Avaliação errada da situação econômica da contraparte;
- Demissões individuais ou em massa;
- Falência da empresa que é a contraparte;
- Grandes variações dos índices econômicos, como por exemplo, uma variação muito grande ou inesperada na taxa de juros.

Exemplos de outros tipos de eventos de Risco de Crédito:

- Risco de Concentração: grande concentração das dívidas em um único ou em poucos credores;
- Risco da Contraparte: é definido como a possibilidade de perdas decorrentes do risco bilateral que está relacionado com as oscilações nos valores de mercado de uma operação devido à movimentação de certos fatores de risco;
- Risco de Garantias: perda de valor das garantias dadas em um empréstimo;

- Risco Soberano: incapacidade de um país honrar seus compromissos devido a mudanças na política nacional ou por fatores econômicos mundiais.

É importante ressaltar que para esse estudo será considerado exclusivamente o Risco de *Default* (Risco de Crédito), através do comportamento de inadimplência do portfólio.

2.2 Capital Regulamentar

A capacidade de um banco de arcar com perdas inesperadas é dependente da quantidade de capital que ele possui. Por esse motivo, tem havido uma convergência mundial intuindo desenvolver regras cada vez mais complexas e aderentes ao atual cenário econômico sobre o capital que os bancos devem manter.

Conjecturando um sistema bancário, seria de se esperar que os bancos mantivessem um nível de capital suficiente para dar continuação às suas atividades, garantindo sua própria estabilidade e, conseqüentemente, a do sistema como um todo. Entretanto, conforme Jorion [2001], há dois fatores que intervêm nesse equilíbrio: externalidade e seguro de depósito.

A externalidade é oriunda da capacidade de um banco, ao falir, provocar um efeito em cascata, afetando outros bancos. Dessa forma, bancos que por ventura se arriscassem, aumentando sua rentabilidade às custas de manter níveis baixos de capital, poderiam prejudicar todo o sistema se eventualmente quebrassem. Isso faz com que haja um interesse maior do governo em exigir capital regulamentar.

O seguro de depósito surgiu em consequência da natureza “desestabilizadora” dos depósitos bancários. É prometido ao correntista, a qualquer momento, resgatar seus depósitos no banco. Na prática, se todos o fizerem ao mesmo tempo (a chamada “corrida aos bancos”), o banco não terá esses recursos disponíveis. Como os ativos do banco podem estar investidos em papéis sem liquidez ou imóveis, ele será forçado a converter suas aplicações em caixa às pressas, a custos enormes.

O fator que leva as pessoas a correrem aos bancos é a desconfiança de que as instituições possam não honrar seus compromissos em um futuro próximo. Para que os credores tenham confiança no sistema bancário, o governo confere a eles um seguro de depósito. Entretanto, a própria existência do seguro acaba encorajando os bancos a reduzir capital, já que têm uma opção: se forem bem sucedidos, ficam com os lucros; se não, o governo paga o que o banco deve aos correntistas. Este incentivo indesejado, chamado de risco moral, constitui mais um motivo para a exigência de capital regulamentar.

No Brasil, o seguro de depósito é conferido pelo Fundo Garantidor de Crédito (FGC), cujos recursos advêm das próprias instituições financeiras que são obrigadas a fornecer uma porcentagem dos depósitos a esse fundo.

2.2.1 Exigências para Risco de Crédito – O Acordo de Capital de 1988

As primeiras exigências regulatórias foram propostas pelo Comitê da Basiléia em Dezembro de 1987, e ratificadas no Acordo de Capital em Julho de 1988.

O Comitê da Basiléia é um grupo composto de autoridades supervisoras do G-10 (Bélgica, Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão, Holanda, Suécia, Suíça, Reino Unido e Estados Unidos), além de Luxemburgo e Espanha.

Entre as motivações para o Acordo de Capital, estava a queda histórica do nível de capitalização do sistema bancário. Além disso, havia um interesse em unificar a exigência de capital em um nível global, propiciando condições homogêneas de competição entre os bancos internacionalmente. As instituições financeiras de determinados países, cujas regras permitiam níveis baixos de capital em relação ao risco incorrido, apresentavam maior retorno por unidade de capital, possuindo vantagem competitiva em relação aos outros e ganhando grande fatia do mercado. O acordo, o qual só considerava risco de crédito, teve como principal fruto, fundamentalmente, a regra que os bancos deveriam manter uma taxa de capital de 8%, que nada mais é do que o máximo que os bancos podem se alavancar, mas, para a regulação brasileira esse índice é de 11%, como definido pela Resolução 3.490 do CMN e Circular 3.360 do BACEN.

2.2.2 Novo Acordo de Basiléia

O Acordo de 1988 tinha dois objetivos: garantir solvência do sistema bancário e promover condições homogêneas de competitividade para bancos de países diferentes.

A Basiléia II (denotado como Novo Acordo) tem como objetivo desenhar regras que definam um capital regulamentar mais sensível ao grau de risco ao quais os portfólios dos bancos estão expostos, diminuindo a distância entre capital econômico e capital regulamentar. Além disso, o Novo Acordo reconhece o papel crucial das autoridades supervisoras, e ajuda o mercado a disciplinar o comportamento dos bancos.

O Novo Acordo baseia-se em três pilares, descritos a seguir.

- **Pilar I: Consiste em novas regras para exigências mínimas de capital.**

Em relação a risco de crédito, foram feitas significantes mudanças. As novas regras estabeleceram alocação de capital em função da avaliação de risco da contraparte feita por alguma agência externa, no caso do modelo padrão, ou pelo próprio banco, no modelo chamado “*internal ratings based*” (IRB).

Foi introduzida, pela primeira vez, exigência de capital para cobrir riscos operacionais.

- **Pilar II: Trata do papel das autoridades supervisoras no controle de risco.**

Este papel envolve revisão contínua do processo de gestão de risco das instituições por parte dos supervisores e no tratamento de exposições que não podem ser avaliadas somente por métodos quantitativos e parâmetros objetivos.

As funções das autoridades supervisoras foram ampliadas, passando a conhecer a fundo a política de gerenciamento de risco de cada banco, verificar a estrutura organizacional adotada, assegurando-se de que há envolvimento da alta gerência da instituição em todo o processo e testar a solidez dos modelos quantitativos. A ideia é constantemente revisar a qualidade dos processos de gestão, controle e monitoramento de risco das instituições e exigir, quando necessário, capital além do calculado com as regras pré-estabelecidas.

- **Pilar III – Disciplina de Mercado**

Por disciplina de mercado, entende-se a capacidade do mercado “punir” bancos excessivamente arriscados através de custos de *funding* mais altos e até mesmo da recusando-se a financiá-los.

Os bancos são instituições especiais que não são naturalmente expostas à disciplina de mercado. O motivo é que seus credores são indivíduos que não são

capazes de avaliar adequadamente os riscos e precificá-los de acordo, exigindo maiores taxas a bancos mais arriscados.

O fato dos bancos terem um papel fundamental no sistema econômico e, por isso, disporem de instrumentos especiais como fundos do Banco Central e garantia de depósitos também cria uma rede de segurança que desencoraja os credores a avaliar a solidez das instituições.

O Pilar III obriga os bancos a aumentarem o grau de transparência ou *disclosure*, disponibilizando ao mercado relatórios com informações relevantes sobre seu perfil de risco, estrutura financeira, estratégias e políticas, nível de capitalização, etc. Seu objetivo é reforçar a disciplina de mercado aplicada aos bancos, submetendo-os dessa forma avaliação dos acionistas.

3. Descrição das técnicas aplicadas

3.1 Capital requerido

Este capítulo mostra as regras estabelecidas pelo Banco Central para alocação e conseqüentemente, o cálculo do capital regulamentar no Brasil, que está em vigor desde março de 2013, conforme circular 3.644, a qual foi alterada pela circular 3.679 de outubro de 2013. Os tópicos utilizados no capital regulatório estarão direcionados apenas para Risco de Crédito conforme as características da carteira utilizada.

3.1.1 Formulação e cálculo do capital regulatório

O capital regulatório para risco de crédito, denotado atualmente como RWA_{cpad} , é definido como o resultado da seguinte formula:

$$RWA_{cpad} = F * EPR, \text{ onde:}$$

- $F = 0,11$ (onze centésimos);
- $EPR = \sum (Exposições * Fatores de Risco)$

Como se trata de uma carteira exclusiva de concessão de crédito para pessoa física, jurídica e instituições financeiras, a exposição neste caso se define como sendo a quantidade em reais tomada pela contraparte menos a sua respectiva provisão (conforme circular 2.682).

Para definir o fator de ponderação de risco de crédito, denotado por *FPR*, que corresponde a um percentual a ser aplicado sobre a exposição a fim de refletir seu risco de crédito, nesta carteira em exclusivo, é necessário saber apenas o tipo de contraparte e o prazo remanescente da operação.

Com intuito de melhor compreensão segue Figura 1 que descreve em um fluxo o processo de cálculo do capital requerido:

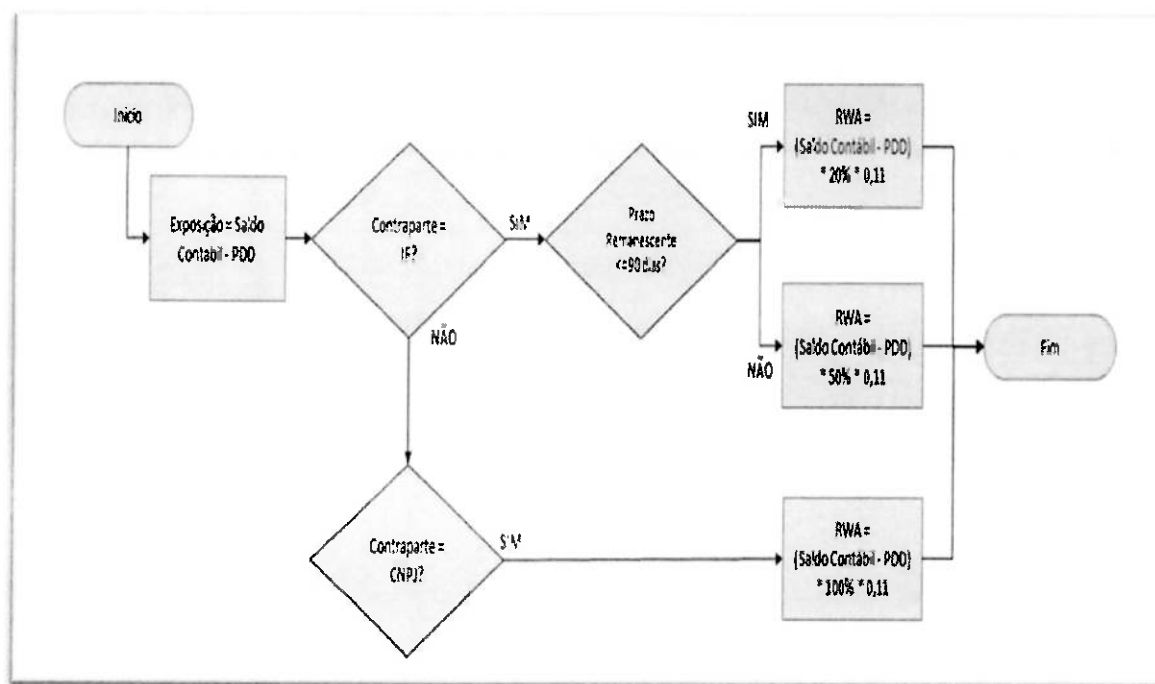


Figura 1: Fluxo de Cálculo do RWA

Os cálculos do capital serão aplicados nos próximos capítulos.

3.2 Capital por modelos internos

3.2.1 Componentes de risco de crédito: conceito de *default*, probabilidade de *default*, perda dada inadimplência, exposição líquida e perda esperada.

Para iniciar a definição e estimação dos componentes de risco de crédito e mesmo do capital para modelos internos, é fundamental a definição do conceito de *default*. Segundo o novo acordo, a inadimplência é definida como: Considera-se que houve inadimplência quando, com relação a uns tomadores em particular, um ou ambos dos eventos a seguir ocorrem:

- O banco considera improvável que o tomador irá honrar integralmente suas obrigações junto ao conglomerado bancário, sem que o banco tenha que recorrer a ações como as execuções de títulos;
- O tomador está em atraso há mais de 90 dias em qualquer obrigação de crédito junto ao conglomerado bancário. Contudo, o conceito de *default* pode ser definido também por uma modelagem estatística, já que em algumas modalidades de crédito, atrasos de 90 dias, não representam de fato a ocorrência de inadimplência, pois a maioria dos clientes, apesar de um longo período de atraso, arca com pagamento de juros e multas de atraso sem deixar de cumprir os termos de sua obrigação, como normalmente ocorre em empréstimos rurais e agropecuários. O mesmo prazo de 90 dias de atraso para outras modalidades de crédito perde sentido, pois atrasos de até 15 dias são suficientes para caracterizar o *default* como é comum nos empréstimos para segmentos pessoa física (PF) de baixa renda.

Dessa forma, é comum bancos utilizarem metodologias próprias para a definição do *default*. Assim é viável estimar, para cada modalidade de crédito, sua própria data de *default*, em que atrasos acima dessa data estimada já podem ser consideradas inadimplência.

Uma vez definido o conceito que demarca clientes inadimplentes, é possível segmentar o risco de crédito em dois fundamentais componentes: a probabilidade de *default* (PD) e a perda dada a inadimplência LGD (*Loss Given Default*, LGD).

A PD mensura a probabilidade, em determinado horizonte de tempo (em geral um ano), de um cliente entrar em inadimplência em uma operação de crédito ou em um conjunto de operações de crédito. Existem duas abordagens mais utilizadas para estimação dessa probabilidade, segundo Bluhm et al.[18]:

- Calibração da probabilidade de *default* a partir de *ratings*: *Ratings* basicamente são classificações que descrevem a capacidade de pagamento de um devedor, podendo ser resultado de uma modelagem proprietária de um banco, ou adquiridos junto a agências externas de *rating*. Como ressalta Bluhm et al.[18], *ratings* são gerados tanto de maneira quantitativa como qualitativa. Nessa metodologia, dada a classificação de *ratings* ano a ano, acompanha-se a frequência histórica de *default* por *rating*, obtém-se a partir desse histórico a média e desvio-padrão de *default* para cada *rating*, estima-se então via modelos regressivos (não lineares em geral) uma relação entre os *ratings* e suas dispersões. Todos os clientes classificados com determinado *rating*, dado seu perfil, possuem sua PD calibrada por esse método.

- Estimação da probabilidade de *default* via modelos *credit score*: Nesse método estima-se a PD a partir de uma base histórica de informações de inadimplência, por meio da qual várias metodologias estatísticas e matemáticas são implementadas, sendo as mais comuns segundo Hand e Henley [33], análise de discriminante, regressão linear múltipla, regressão logística, programação linear e não-linear, redes neurais e método de árvores de decisão. Segundo Hand e Henley [33], não há, em geral, nenhum método absolutamente melhor. O que é o melhor dependerá dos detalhes do problema (a estrutura de dados, das características usadas e do objetivo da classificação). A exatidão da classificação, medida de qualquer modo, é somente um aspecto do desempenho. Outros aspectos incluem a velocidade da classificação, a velocidade com que um *score* ou uma probabilidade pode ser revisado, a facilidade da compreensão do método da classificação, entre outros.

Após a inadimplência, o banco recupera uma parte de sua dívida através da execução de garantias, dos processos de renegociação, entre outras formas. A parcela não recuperada da dívida compreende, segundo BCBS [14], em termos percentuais do total da dívida, a LGD. Portanto, seja τ a taxa de recuperação de um empréstimo que tenha entrado em *default*, sua LGD será:

$$LGD = (1 - \tau)$$

A Exposição Bruta (EB) de um tomador de crédito é definida como o somatório do fluxo de recebimentos de todas as operações de crédito do cliente trazidos a valor presente com a adequada taxa de desconto. Contudo, em grandes bases de dados, a exposição bruta corresponde ao somatório do saldo contábil das operações de crédito do cliente. Além disso, o saldo contábil representa o resultado do que já foi pago e o que ainda resta a amortizar em cada operação.

A Exposição Líquida (EXL) do tomador, ou simplesmente valor de exposição, é o produto da exposição bruta e a LGD; $EXL = EB * LGD$, ou seja, representa em valor monetário o quanto o banco se expõe (valor que de fato perderá em situação de inadimplência) ao realizar uma determinada operação, também conhecida como severidade.

A Perda Esperada (PE), onde PE (Expected Loss – EL), por sua vez, é o produto da probabilidade de *default* e a EXL: $PE = PD * EXL$, ou seja, essa formulação é válida sob a suposição de que a LGD, EB e a PD são independentes, ou ainda, a LGD e a EB são constantes, como descreve Bluhm et al.[18]. A PE de toda a carteira, com a suposição de independência dos tomadores de Crédito, será:

$$PE_{carteira} = \sum_{i=1}^n PD_i * EXL_i$$

Onde n número total de clientes da carteira.

3.2.2 Valor em risco e capital econômico.

O conceito de valor em risco (*Value at Risk - V@R*), originalmente criado para mensurar o risco de mercado pela empresa JP Morgan, como descrevem Jorion [37] e Linsmeier et al.[41], foi rapidamente disseminado para a área de risco de crédito (Allen et al.[3]). O V@R pode ser compreendido como o quantil de uma distribuição. Usualmente diz-se que o V@R é a perda potencial para um determinado nível de confiança (unicaudal) e horizonte de tempo definido (no caso

de risco de crédito em geral de um ano). Uma definição mais formal do conceito de $V@R$ pode ser encontrada em Gundlach e Lehrbass [30].

O $V@R$ de crédito é a perda máxima para um período (em geral um ano) sendo definido como:

$$V@R_{\epsilon}[X] = \inf(c \in \mathcal{R} : P[X \leq c] \geq \epsilon)$$

onde X representa a perda agregada e ϵ representa um percentil (em geral, para crédito, esses percentis são arbitrariamente escolhidos entre o percentil 95% e o 99,9%).

Para a definição de CE Capital Econômico, tem-se a seguinte relação:

$$PI_c[X] = V@R_c[X] - PE$$

Onde

$$PI_c[X] = \text{Perda Inesperada (Unexpected Loss - UL)} = CE.$$

Essa relação pode ser observada, de maneira intuitiva, na Figura 2:

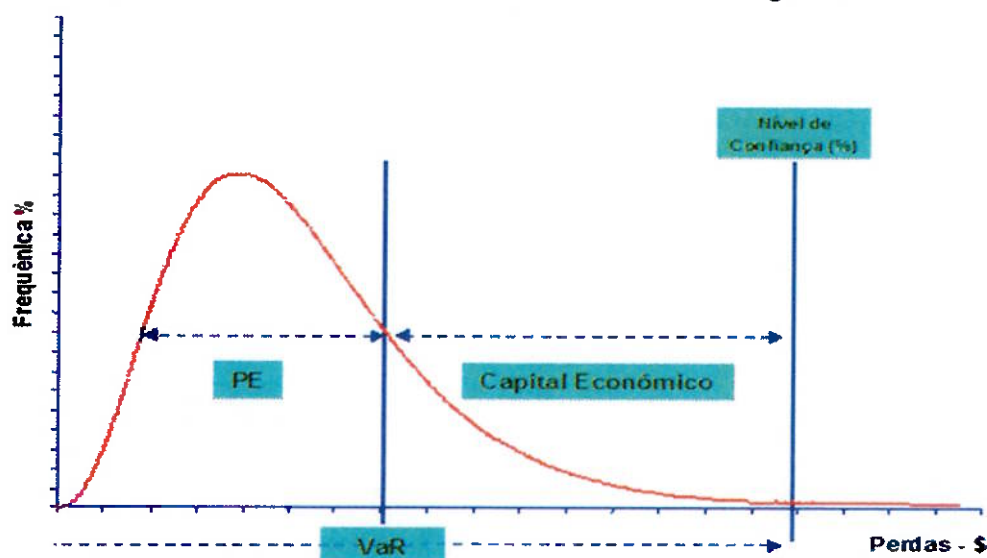


Figura 2: Conceito de Capital Econômico e $V@R$ de Crédito

No modelo *CreditRisk+* (CR+), que será um dos focos nos estudos apresentados neste trabalho, a distribuição de perda é discreta e, por esse motivo, é necessária a utilização de algumas aproximações, conforme sugere Gundlach e Lehrbass [30]:

$$V@R_\epsilon[X] \approx \bar{\rho}_\epsilon(X) = \inf(n \in \mathbb{N} : P[X \leq c] \geq \epsilon)$$

Ou ainda por meio de uma interpolação linear:

$$V@R_\epsilon[X] \approx \rho_c(X) \approx \bar{\rho}_\epsilon(X) - 1 + \frac{\epsilon - P([X \leq \bar{\rho}_\epsilon(X) - 1])}{P([X \leq \bar{\rho}_\epsilon(X)])}$$

Uma outra sugestão de interpolação, também encontrada em Gundlach e Lehrbass[30], considera para um percentil q escolhido para o $V@R_\epsilon$ sendo dado por:

$$V@R_{(q_1, q_2)} = U * \left[(u_{q_2} - 1) + \left(\frac{q - q_1}{q_2 - q_1} \right) \right]$$

Segundo BCBS [11], os “bancos devem gerir o risco de crédito de toda sua carteira de forma conjunta assim como suas exposições individuais”. A gestão do risco conjunto (probabilidade conjunta) da carteira é o objetivo dos modelos baseados em uma metodologia de $V@R$.

3.3 Capital IRB.

3.3.1 Introdução ao capital IRB

Trata-se de uma abordagem baseada em *ratings* interno (*Internal Rating Based* - IRB) que subdivide-se em outras duas possibilidades:

- IRB básico: o banco estima por meio de seus modelos próprios a PD, e os valores dos demais componentes são fornecidos pelo regulador;
- IRB avançado: todos os componentes de risco de crédito são estimados por meio de modelos próprios.

Na abordagem IRB, o CER é calculado com base em um modelo V@R de crédito, com nível de confiança de 99,9% e horizonte de tempo de um ano. A fórmula calcula em um primeiro passo o seguinte valor:

$$K = LGD \left[N \left(\frac{N^{-1}(PD) + R^{0,5} * N^{-1}(0,99)}{(1 - R)^{0,5}} \right) - PD \right]$$

onde N é a função de distribuição da Normal padrão, N^{-1} é a inversa da função de distribuição da Normal padrão, o R é a correlação estabelecida por Basileia. A fórmula do K “transforma” a probabilidade de *default*, a partir de sua média não condicional para a média condicional a um quantil de 99,9% da distribuição de estados da economia, conforme BCBS [15].

O capital exigido é crescente em relação à PD e LGD, ou seja, operações mais arriscadas estão sujeitas a maior requerimento de capital. O capital também

é função da “correlação de Basiléia”, sendo que quanto maior este valor entre os eventos de inadimplência, maior o requerimento de capital.

O valor da correlação é dado por uma fórmula que tem diferentes valores para cada classe de ativo. Apresentamos a fórmula para as classes *Corporate* e *Varejo*. Nestas duas classes, a correlação é decrescente em relação à PD. No Varejo a carteira é mais diversificada e os eventos de inadimplência dependem mais do risco idiossincrático do que do “estado da economia”. Por essa razão, a correlação é menor.

$$R_{corporate} = 0,12 * \left[\frac{1 - e^{-50*PD}}{1 - e^{-PD}} \right] + 0,24 * \left[\frac{1 - e^{-50*PD}}{1 - e^{-PD}} \right]$$

$$R_{varejo} = 0,03 * \left[\frac{1 - e^{-35*PD}}{1 - e^{-PD}} \right] + 0,16 * \left[\frac{1 - e^{-35*PD}}{1 - e^{-PD}} \right]$$

A correlação para as classes Soberanas e Interbancárias é a mesma do *Corporate*. Para o crédito imobiliário residencial, a correlação é fixa em 15%, sendo significativamente maior que para o Varejo em geral.

Por fim temos, conforme BCBS [13],

$$CER = K * EB * 12,5.$$

A implementação do Acordo de Basiléia II no contexto brasileiro se deu por meio do Comunicado 12.746 de 9 de dezembro de 2004 do Banco Central com o título: “Os procedimentos para a implementação da nova estrutura de capital - Basiléia II”.

O CER no caso brasileiro guarda, contudo, algumas peculiaridades. Primeiramente, não será utilizada no Brasil a abordagem padronizada, segundo o

percentual utilizado para o *CER* não segue a formulação original de 8%, sendo no Brasil 11% sobre os ativos já considerados os fatores de ponderação de cada risco (crédito, mercado, liquidez e operacional). Segundo BCBS [14], seria utilizado no lugar da *EB* a Exposição no momento do *default* quando calculada ou fornecida pelo regulador (Exposure at Default – EAD).

3.4 Capital *Credit Risk Plus*

A essência da abordagem *Credit Risk Plus* (CR+) consiste em aproximar a distribuição de *default* Binomial, onde o *default* de um contrato ocorre uma única vez, por uma distribuição de Poisson, de cálculo bastante simples, porém atribuindo probabilidades não-nulas à eventos de múltiplos *default* de um mesmo emissor de um contrato. Esta aproximação é conhecida como aproximação de Poisson, em virtude da troca do processo Binomial por um processo de contagem de Poisson.

A metodologia consiste, inicialmente, na escolha de uma unidade básica de perda (em dinheiro) denotada aqui por $U > 0$.

As exposições $\{e_A\}$, $A = 1, 2, 3, \dots, n$ são aproximadas por múltiplos inteiros da unidade básica de perda U , $V_A U$ e as PDs são reajustadas de forma a manter a perda esperada inalterada, ou seja:

$$PD_A(\text{ajustada}) = \frac{e_A}{V_A U} PD_A$$

Em seguida, as exposições são mapeadas em bandas de exposição comum, quer dizer, em sub-carteiras $j = 1, 2, 3, \dots, m$ que consistem de todas as exposições com o mesmo múltiplo inteiro da unidade básica de perda U .

Neste trabalho será tomado o $\left(U = \frac{\max[V_A]}{B}\right)$.

A escolha da unidade U é feita levando em conta não somente as características da carteira, comparando entre si os tamanhos das exposições, mas também as condições de infraestrutura, de forma que a maior exposição da carteira não produza um múltiplo inteiro desta unidade U demasiadamente grande, impedindo a alocação de memória dos *arrays* de exposições em múltiplos inteiros desta unidade U . Este procedimento é bastante robusto de forma a pouco influenciar os resultados de cálculo de capital.

A metodologia *Credit Risk Plus* assume agora, que o número de *defaults* na banda j é distribuído segundo um processo de Poisson, com mesmo número esperado de *defaults* usando um paradigma de *default* Binomial (aproximação de Poisson). Isto significa que a constante de Poisson do processo que modela o número de *defaults* da banda j é dada por:

$$\mu_j = \sum_{V_A=V_j} p_A$$

O próximo passo consiste em calcular a função geradora $G_j(Z)$ da perda da banda j , isto é:

$$G_j(Z) = \sum_{n=0}^{\infty} P(n \text{ defaults } Exp. V_j) Z^{nV_j}$$

O qual se pode utilizar a aproximação de Poisson, onde a função geradora da perda na banda j é igual a:

$$G_j(Z) = e^{-\mu_j + \mu_j Z^{V_j}}$$

Utilizando da hipótese de independência estatística dos eventos de *default*, a função geradora de perda é dada pelo produto das funções geradoras das bandas $j = 1, 2, 3, \dots, m$:

$$G(Z) = e^{\sum_{j=1}^m \mu_j + \sum_{j=1}^m \mu_j Z^{V_j}}$$

As figuras de risco calculadas expandindo a função geradora $G(Z)$ em uma série de potências, onde o coeficiente A_n do termo Z^n denota a probabilidade de uma perda financeira de n unidades básicas U , melhor denotado por nU . As relações recursivas de Panjer permitem o cálculo destas probabilidades:

$$A_0 = G(0) = e^{-\sum_{j=1}^m \mu_j}$$

$$A_n = \frac{1}{n} \sum_{V_j \leq n} \varepsilon_j A_{n-V_j}$$

Onde ε_j denota a perda esperada normalizada pela unidade básica de perda:

$$\varepsilon_j = PD_j \times V_j$$

Na versão metodológica do modelo *Credit Risk Plus* com volatilidade, usa-se agora um paradigma de independência condicional debaixo da ação de um único fator sistêmico de risco que atua simultaneamente em todas as bandas. Na abordagem *Credit Risk Plus* isto é feito pela introdução de uma distribuição Gama para os parâmetros de Poisson:

$$f_{\alpha,\beta}(X) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$$

Os parâmetros α e β da distribuição Gama podem ser estimados diretamente por meio de fórmulas algébricas a partir das estatísticas média (μ) e variância (σ^2) da distribuição:

$$\alpha = \frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

$$\beta = \frac{\sigma^2}{\mu}$$

Neste caso, após a formação das bandas de exposições $j = 1, 2, 3, \dots, m$, introduz-se um processo de Poisson cuja constante é modulada pelo fator latente distribuído de acordo com a distribuição Gama. Neste, a média e o desvio padrão do número de *defaults* na banda j é dada por:

$$\mu_j = \sum_{V_A=V_j} p_A$$

$$\sigma_j = \sum_{V_A=V_j} \sigma_A$$

Debaixo do paradigma de independência condicional, para cada realização X_j da constante de Poisson da banda j , os eventos de *default* são independentes. Em termos incondicionais pode-se escrever que a função geradora incondicional da perda na banda j é dada por:

$$G_j(Z) = \int_0^{+\infty} e^{X_j(Z^{V_j-1})} f(X_j) dx_j$$

Em função do carácter algébrico das distribuições de Poisson e Gama, a integral pode ser calculada como sendo igual a:

$$G(Z) = \prod_{j=1}^m \left(\frac{1 - p_j}{1 - p_j Z^{V_j}} \right)^{\alpha_j}$$

A determinação final das probabilidades das perdas é feito por um processo recursivo de Panjer. De fato, calculando a derivada logarítima da função $G(Z)$, quer dizer, calculando a função $G'(Z)/G(Z)$, obtém-se a seguinte expressão:

$$\frac{G'(Z)}{G(Z)} = \sum_{j=1}^m \left[\frac{\alpha_j p_j V_j Z^{V_j-1}}{1 - Z^{V_j-1}} \right]$$

Como membro direito da equação acima consiste a soma das frações racionais polinomiais, a derivada logarítima também será uma fração racional que pode ser expressa como o quociente de dois polinômios $A(z)$ e $B(z)$ de graus $r < s$ respectivamente. Através do cálculo das somas das frações racionais, obtém-se uma expressão da forma:

$$\frac{G'(Z)}{G(Z)} = \frac{A(Z)}{B(Z)} = \frac{a_0 + a_1 z + \dots + a_r z^r}{b_0 + b_1 z + \dots + b_s z^s}$$

Por fim, o algoritmo de Panjer modificado produz os seguintes valores para as probabilidades associadas às perdas da carteira:

$$A_0 = G(0) = \prod_{j=1}^m (1 - p_j)^{\alpha_j}$$

$$A_{n+1} = \frac{1}{b_0(n+1)} \left\{ \sum_{i=1}^{\min(r,n)} a_i A_{n-i} - \sum_{j=0}^{\min(s-1,n-r)} b_{j+1} (n-1) A_{n-j} \right\}$$

Após essa formulação pode-se estimar a perda inesperada, a qual pode ser inclusa outras visões como por exemplo, a inclusão de setores. Para maiores informações vide CreditRisk+ [1997].

4. Análises Realizadas

4.1 Os Dados

Para obter os dados utilizados neste trabalho, foi empregada uma carteira fictícia, porém que mantivesse as características de uma base real de uma instituição financeira nacional, tanto em proporção (tamanho da base em geral) como em média (valores das carteiras e parâmetros de entrada a serem modelados). Permitindo a aplicação dos modelos propostos de forma que e os resultados obtidos destes possam ser expostos sem apresentar risco de integridade às informações originais.

A base é composta de uma carteira com dois nichos de negócio, atacado e varejo, e ambos possuem apenas produtos com características de concessão de crédito. Esses dois nichos de concessão se apresentam nos seguintes segmentos: Atacado, *Middle*, Tesouraria e Varejo.

Abaixo segue a descrição das variáveis utilizadas neste trabalho:

- Identificador da operação:
Número clientes denotado por i , onde $i = 1, 2, \dots, 24981$.
- Segmento:
Trata-se dos quatro possíveis segmentos, atacado, *middle*, tesouraria e varejo;
- Tipo de contraparte:
Conforme edital 3.360 do BACEN, este é o código da correspondente contraparte tomadora do crédito, a qual nesta carteira constam instituições financeiras (IF), pessoas físicas (PF) e pessoas jurídicas (PJ);

- Prazo remanescente da operação:
É o prazo, contado em dias, para a quitação do contrato.
- EAD da operação:
Valor numérico da exposição do cliente i ;
- PD da operação:
Valor da probabilidade do cliente i entrar em *default*;
- Vol de PD:
Volatilidade da PD do cliente i ;
- LGD:
Valor percentual da provável recuperação do cliente i que este venha a ser *default*;
- M:
Prazo médio da operação do cliente i ;
- *Rating*:
Rating regulatório denotado pelos códigos (AA, A, B, C, D, E, F e H) que é definido segundo edital 2.682 para cada operação do cliente i .

Os demais dados serão originados desses apresentados acima.

4.2 Análises descritivas dos dados

A carteira utilizada neste trabalho é composta de 24.981 clientes, os quais apresentam-se totalizados conforme tabela 1:

Segmento	Quantidade	Perc. Da Carteira
Atacado	701	2.81%
Middle	7000	28.02%
Tesouraria	280	1.12%
Varejo	17000	68.05%
Total	24981	100.00%

Tabela 1: Quantidade de clientes por segmentos.

O maior montante de clientes consta no segmento Varejo, seguido por *Middle*, Atacado e Tesouraria. Entretanto, este percentual é referente à quantidade de clientes. Ao pensar no valor das operações, no caso as exposições denotadas por EAD, tem-se a tabela 2:

Segmento	EAD	Percentual por Segmento
Atacado	561,884,441.16	46.81%
Middle	11,706,247.00	0.98%
Tesouraria	564,719,496.82	47.05%
Varejo	61,933,044.90	5.16%
Total	1,200,243,229.89	100.00%

Tabela 2: Exposição por segmentos

Através das tabelas anteriores, é notório que o maior total de exposição consta no segmento Tesouraria, apesar deste ter o menor volume de clientes, o segmento Atacado tem o segundo maior montante de exposição e também apresenta um pequeno número de clientes, situação oposta dos segmentos Varejo e *Middle* que apresentam grande volume de clientes porém de pouca representatividade em montante de exposição.

A análise de *rating* permite uma visão de onde está havendo a maior concentração de provisão, consequentemente maior risco da operação, conforme o edital 2682. Abaixo os *ratings* distribuídos por toda carteira:

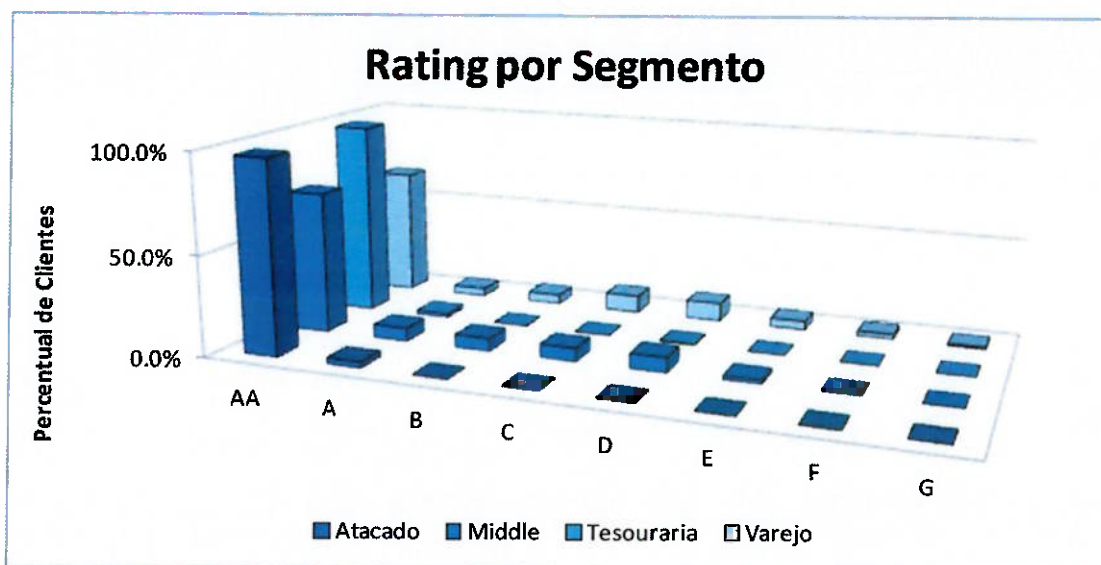


Figura 3: Distribuição de *rating* na carteira

Ao verificar a carteira como um todo nota-se que 72% da carteira consta no rating AA, e os outros 32% estão diluídos entre os outros ratings. Para uma melhor visualização por segmento segue os gráficos abaixo:

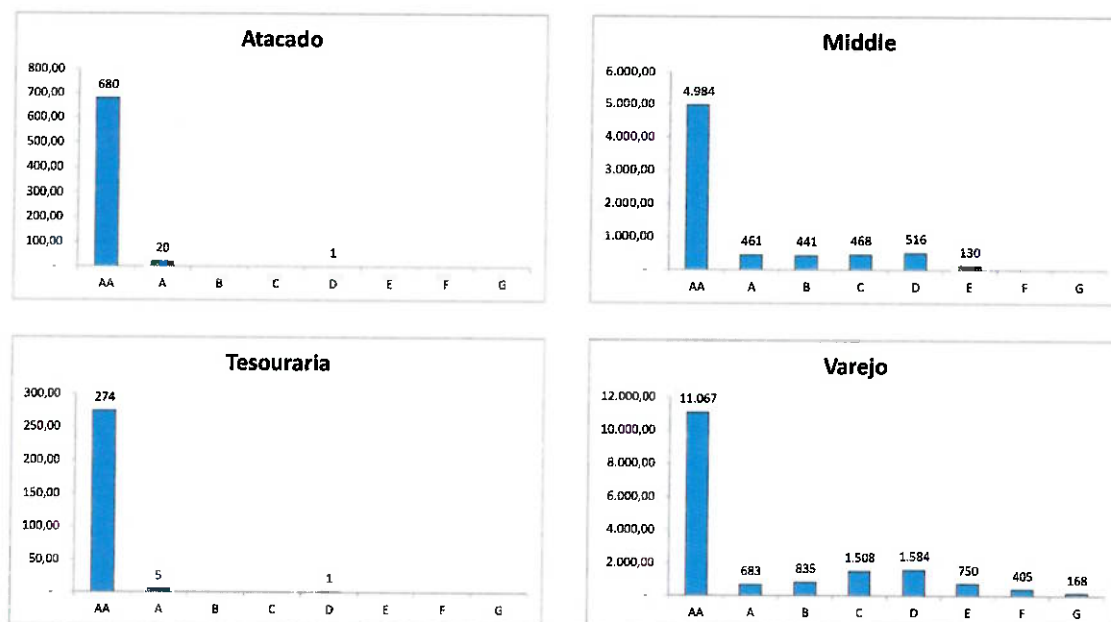


Figura 4: Rating por Segmento

A figura acima mostram que a maior parte do segmento Atacado concentra-se no *rating* AA, e há um comportamento análogo no segmento Tesouraria. Já o *Middle* e Varejo, apesar de terem uma grande concentração no *rating* AA, apresentam maior variabilidade entre os demais *ratings*.

Abaixo a tabela de concentração de *rating*:

Rating	Atacado	Middle	Tesouraria	Varejo
AA	2.72%	19.95%	1.10%	44.30%
A	0.08%	1.85%	0.02%	2.73%
B	0.00%	1.77%	0.00%	3.34%
C	0.00%	1.87%	0.00%	6.04%
D	0.00%	2.07%	0.00%	6.34%
E	0.00%	0.52%	0.00%	3.00%
F	0.00%	0.00%	0.00%	1.62%
G	0.00%	0.00%	0.00%	0.67%
Total	2.81%	28.02%	1.12%	68.05%

Tabela 3: Concentração de *rating*

A tabela 3 confirma os valores em percentuais das informações disponibilizadas nos gráficos acima, além disso é obtido os percentuais totais de cada *rating* por segmento, onde o maior valor consta, respectivamente, em Varejo, *Middle*, Atacado e Tesouraria.

A seguir será feita uma análise da PD, onde em média a carteira está com $PD_{média} = 0,092$, ou seja, esta carteira apresenta, aproximadamente, 10% de probabilidade de *default*. Ao visualizar a Figura 5 tem-se o valor mínimo, médio e máximo da PD por segmento:

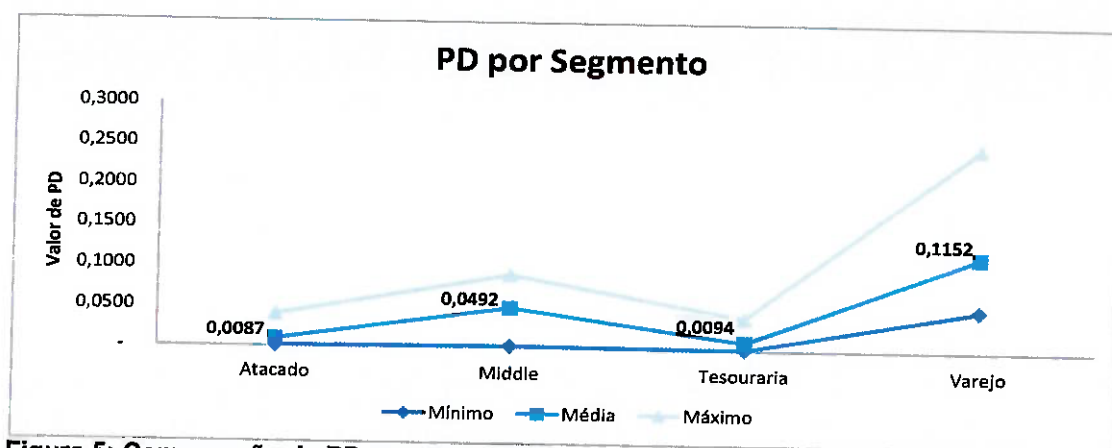


Figura 5: Comparação da PD por segmento

Pode-se afirmar que o valor médio da PD é impactado pela PD do Varejo, que apresenta um valor médio bem maior que os demais, inclusive, na quantidade de clientes. Para poder garantir a afirmação anterior, faz-se necessário uma visualização da variabilidade de todos os segmentos em relação da PD individual, para isso vide as figuras adiante:

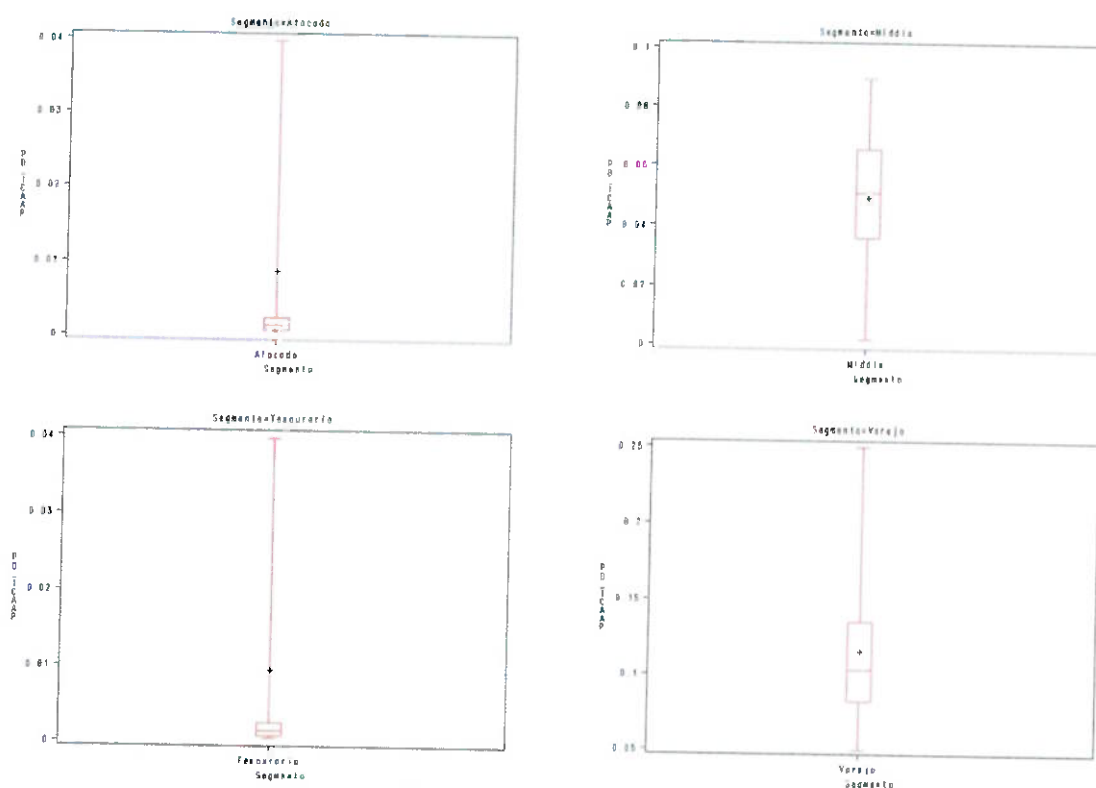


Figura 6: Box-Plot da PD

A Figura 6 corrobora a ideia de que o valor médio e a variabilidade do Varejo impulsionam a média geral da carteira. Ou seja, os demais segmentos *Middle*, Tesouraria e Atacado realmente apresentam-se com uma média a variabilidade inferior ao Varejo.

De forma similar à análise feita para a PD, inicia-se uma análise da volatilidade da probabilidade *default*. Nesta avaliação obteve-se valor médio da volatilidade para a carteira, onde: $VolPD_{média} = 0,0169$. Entretanto, se observar os segmentos separadamente tem-se que:

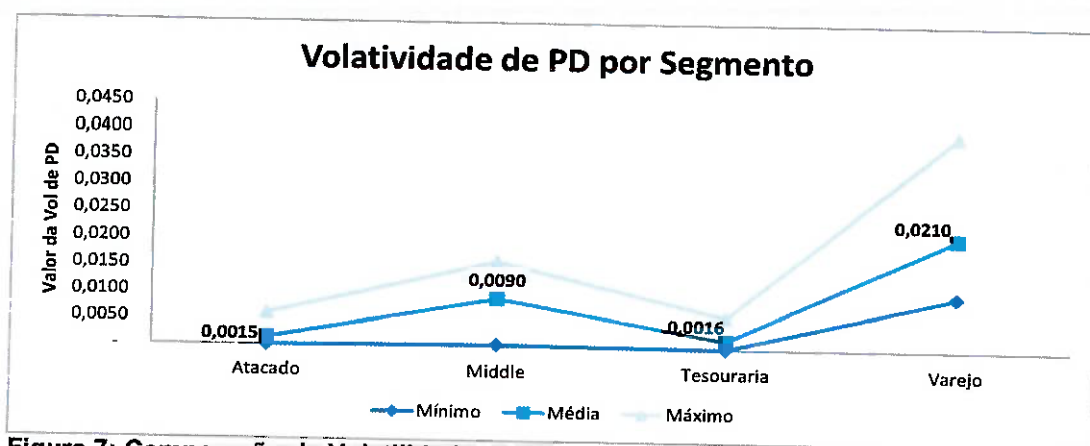


Figura 7: Comparação da Volatilidade de PD por segmento

Conforme Figura 7, nota-se que o comportamento da Volatilidade de PD é muito semelhante ao comportamento da própria PD, onde os segmentos Atacado e Tesouraria são muito parecidos em média e amplitude. Já a média da volatilidade para o segmento *Middle* é maior que os dois mencionados anteriormente e é menor que a do Varejo. Almejando uma melhor visão da volatilidade por segmento tem-se as figuras abaixo:

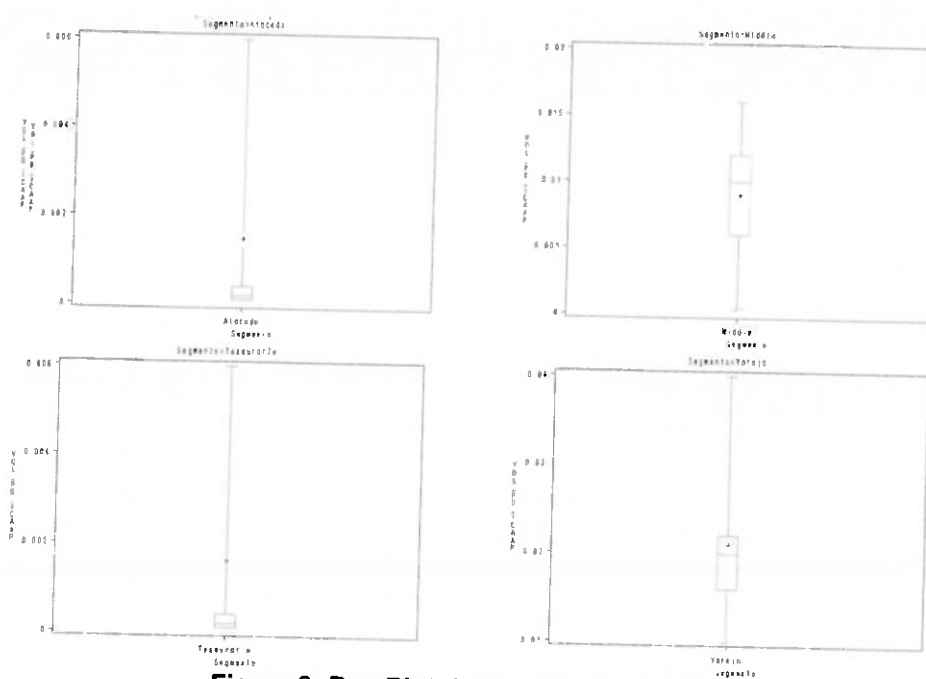


Figura 8: Box-Plot da Volatilidade de LGD

Observando a Figura 8 fica evidenciado que o comportamento da volatilidade da probabilidade de *default* é, de fato, semelhante do comportamento PD. E note que, o valor mínimo do Varejo é maior que as médias de todos outros segmentos.

Ao realizar uma análise descritiva da LGD, é obtido o valor médio da LGD de toda carteira, o qual é: $LGD_{média} = 0,6064$. Contudo, ao observar os segmentos separadamente, é observado um comportamento distinto entre os segmentos, para isso vide Figura 9:

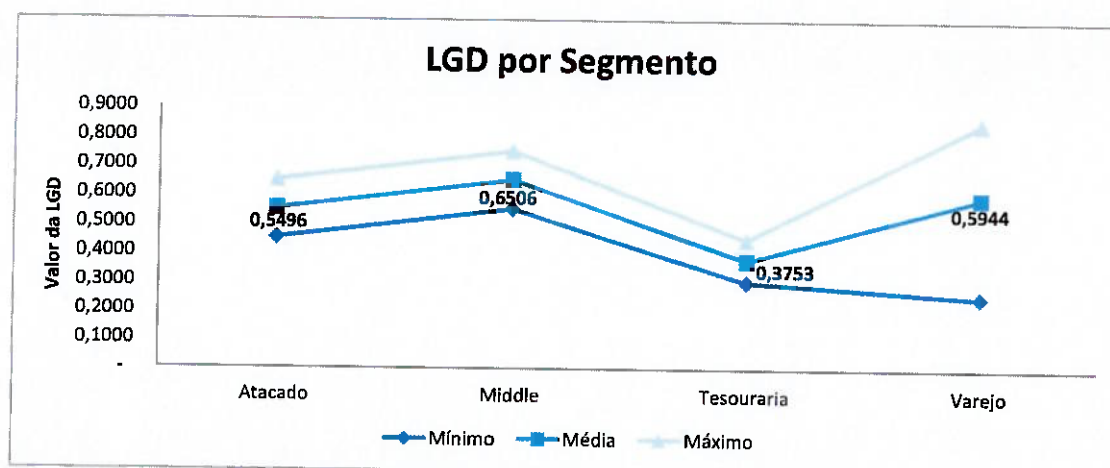


Figura 9: Comparação da LGD por segmento

O comportamento da LGD se distingue entre os segmentos da carteira, o Atacado apresenta um valor médio próximo do Varejo, já a Tesouraria apresentou o menor LGD de toda carteira, e o segmento *Middle* o maior valor. Buscando visualizar a variabilidade dos LGD pelos segmentos seguem as figuras adiante:

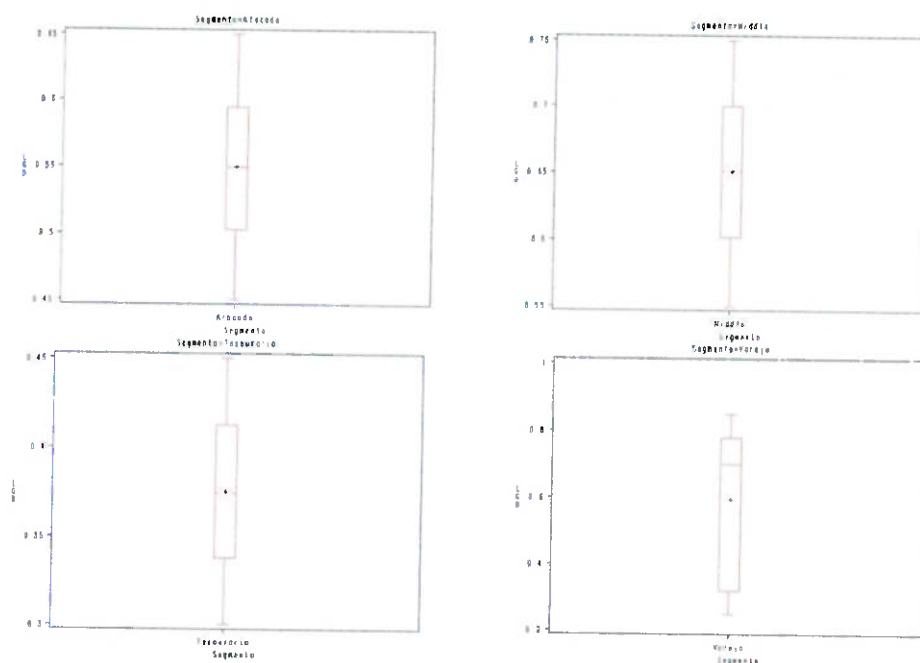


Figura 10: Box Plot LGD

Analisando o comportamento da LGD dentro de cada segmento é possível notar que a Tesouraria apresenta um menor valor, onde sua média é menor que o LGD mínimo de Atacado e *Middle*. De forma geral, todo LGD da carteira consta próximo do LGD médio, com exceção da Tesouraria. Por fim, o LGD por segmento, em valor ascendente, apresenta-se respectivamente na Tesouraria, Atacado, Varejo e *Middle*.

4.3 Capital Regulatório RWA_{cpad}

Para o cálculo do capital requerido, denotado por RWA_{cpad} (antiga PEPR), é necessário definir os Fatores Ponderadores de Risco (FPR), e como a carteira em uso é composta, apenas, por produtos com característica de concessão de crédito, a definição dos FPR torna-se simples, assim como o próprio cálculo do capital, conforme função abaixo:

$$RWA_{cpad} = \sum_{i=1}^{24981} [(\text{saldo}_i - \text{Provisão}_i) * FPR_i] * 0,11, \text{ para o } i\text{-ésimo cliente,}$$

onde o FPR poderá assumir apenas quatro valores, de forma que:

$$FPR \left\{ \begin{array}{ll} FPR = 100\%, & \text{Se Contraparte} = PJ ; \\ FPR = 100\%, & \text{Se Contraparte} = PF ; \\ FPR = 50\%, & \text{Se Contraparte} = IF \text{ e prazo remanescente} > 90 \text{ dias;} \\ FPR = 20\%, & \text{Se Contraparte} = IF \text{ e prazo remanescente} \leq 90 \text{ dias;} \end{array} \right.$$

Retomando o capítulo anterior, sabe-se que o tamanho da carteira em quantidade monetária é de R\$1.200.243.229 e o capital requerido para toda a carteira é apresentada adiante por:

$$RWA_{CPAD} = 104.305.660$$

Assim, ao fazer a razão entre a exposição total EAD e o capital requerido RWA_{CPAD} desta carteira, tem-se um valor de 8.7%. Essa razão pode ser interpretada da seguinte forma, para cada R\$1.000 investido pela instituição financeira ela deverá reter R\$87,00.

O percentual consumido do capital RWA_{CPAD} de toda carteira por segmento pode ser verificado na Figura 11:

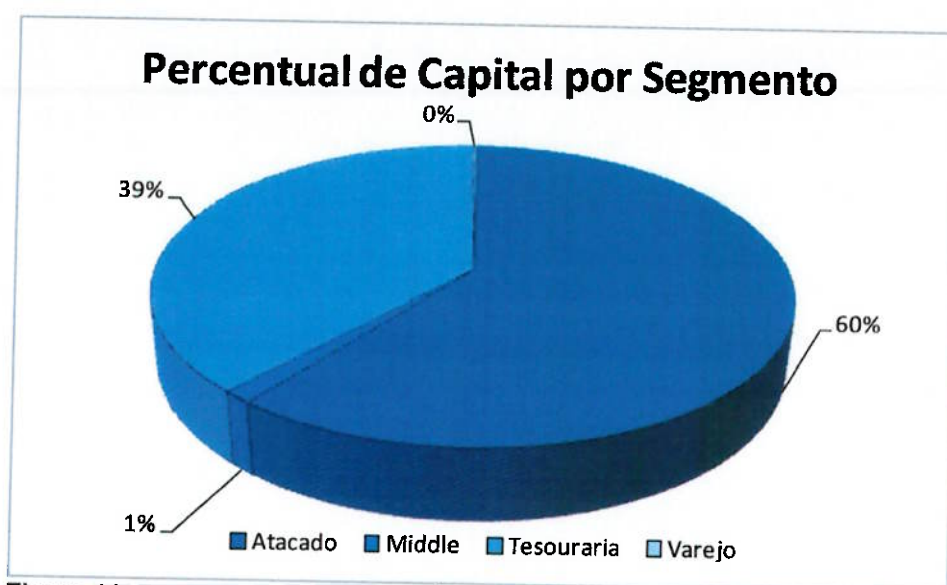


Figura 11: Percentual de RWA_{CPAD} por segmento

A Figura 11 mostra que de todo capital retido pela instituição financeira, 60% está alocado no Atacado, 39% na Tesouraria, apenas 1% no *Middle* e 0,2% no segmento Varejo. Este comportamento se assemelha à proporção de exposição da carteira, conforme o esperado, por se tratar de um modelo estático.

Após visualizar o consumo de capital por cada segmento da carteira é demonstrado a concentração de capital por *rating*, para isso vide a Tabela 4:

Rating	Atacado	Middle	Tesouraria	Varejo
AA	58.40%	0.88%	37.63%	0.15%
A	1.75%	0.09%	0.35%	0.01%
B	0.00%	0.08%	0.00%	0.01%
C	0.00%	0.09%	0.00%	0.01%
D	0.04%	0.09%	0.37%	0.02%
E	0.00%	0.02%	0.00%	0.01%
F	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
G	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total	60.19%	1.25%	38.35%	0.21%

Tabela 4: Concentração de RWAcpad por rating

A Tabela 4 e a Figura 12 mostram que dentro do consumo de capital do Atacado há forte concentração de capital no *rating* AA, comportamento semelhante do segmento Tesouraria, já os segmentos Varejo e *Middle*, apesar de serem os segmentos com menor consumo de capital, são os que apresentam maior diluição do capital dentre os *ratings*.

Sabe-se que a razão entre o capital (RWA_{CPAD}) e a exposição (EAD) da carteira é de 8,5%. Entretanto, ao pensar nesta razão envolvendo todos os segmentos, é definida a Tabela 5.

Segmento	EAD	Capital RWAcpad	Razão EAD/RWAcpad
Atacado	561.884.441,16	56.074.347,96	9,98%
Middle	11.706.247,00	1.287.687,17	11,00%
Tesouraria	564.719.496,82	40.130.490,25	7,11%
Varejo	61.933.044,90	6.812.634,94	11,00%
Total geral	1.200.243.229,89	104.305.160,32	8,69%

Tabela 5: Exposição por Capital RWAcpad

Note que a razão $(RWA_{CPAD})/EAD$ por segmento se difere entre eles, mantendo-se iguais, apenas, na Tesouraria e Varejo. Intuindo deixar essa razão mais visual, é apresentado a Figura 12:

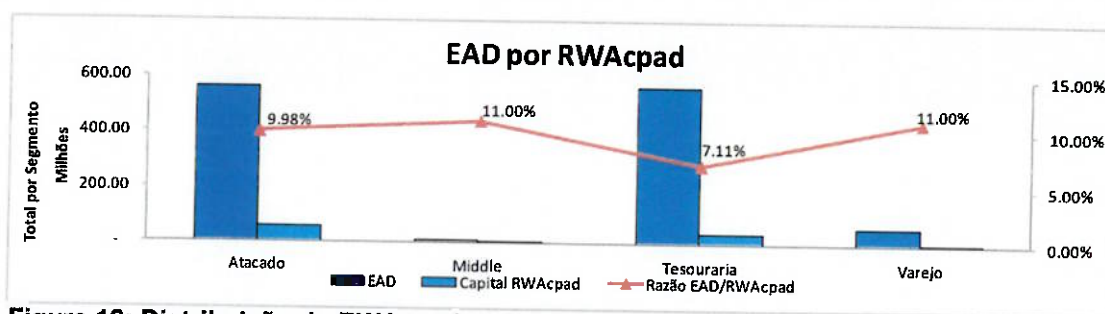


Figura 12: Distribuição do RWAcpad por segmento

Apesar do valor médio do capital requerido $RWA_{CPAD} = 8,69\%$ os segmentos individualmente possuem um valor de RWA_{CPAD} diferente da média. O *Middle* e *Varejo* têm 11% de capital requerido, pois certamente eles têm como contrapartes, apenas pessoas físicas e jurídicas, enquanto a *Tesouraria* e o *Atacado*, certamente, além de pessoas físicas e jurídicas, têm instituição financeira como contraparte.

Ao utilizar a razão entre capital requerido RWA_{cpad} pela EAD por segmento, se pensar em valor fixo de R\$1.000 a ser investido, pode-se interpretar que em cada segmento:

- Atacado, para cada R\$ 1.000 investido reter R\$111,00.
- *Middle*, para cada R\$ 1.000 investido reter R\$111,00.
- *Tesouraria*, para cada R\$ 1.000 investido reter R\$71,10.
- *Varejo*, para cada R\$ 1.000 investido reter R\$ 99,80.

Conforme Crouhy, Galai e Mark [2006], algumas críticas podem ser feitas ao Capital requerido RWA_{cpad} , tais como:

- A ponderação de riscos (FPR) não diferencia adequadamente os riscos dos ativos;

- A mesma ponderação é dada a tomadores com diferentes *ratings* (por exemplo, AA ou B);
- Não é considerado o efeito diversificação em uma carteira.

Essas críticas, dentre outras, foram fundamentais para a elaboração de um novo modelo regulatório denotado por IRB.

4.4 Capital IRB

O capital IRB, também conhecido no mercado como modelo interno para risco de crédito, almeja permitir que os bancos sejam responsáveis pela mensuração do risco de suas exposições. Entretanto, se cada banco utilizasse seu próprio modelo, o valor do capital alocado em diferentes bancos para o mesmo nível de risco poderia ser muito distinto. A solução foi impor um modelo único cujos *inputs* sejam os mesmos dos modelos gerenciais dos bancos, mas com uma série de requerimentos mínimos e assim chegou-se a um modelo, e este ficou conhecido como modelo IRB (*internal ratings based*).

O nome IRB vem do fato de que os *inputs* do modelo devem vir de um sistema baseado em faixas de classificação de risco. O modelo IRB pode ser dividido da seguinte forma: um sistema interno do banco para gestão de risco de crédito e a fórmula para cálculo do capital regulamentar, sendo que a partir do primeiro sairão os *inputs* para o segundo.

O capítulo 4.2 mostra que o tamanho da carteira em quantidade monetária é de R\$1.200.243.229. O capital requerido obtido pelo método IRB para toda a carteira é apresentado adiante por:

$$RWA_{IRB} = 45.627.529$$

Ou seja, ao submeter o total de exposição EAD pelo total de capital requerido RWA_{IRB} encontra-se a razão de 3,80%. Essa razão pode ser interpretada na seguinte forma, considere que para cada R\$ 1.000 utilizado pela instituição financeira ela deverá reter R\$38.

O percentual consumido do capital RWA_{IRB} de toda carteira por segmento pode ser verificado na Figura 13:

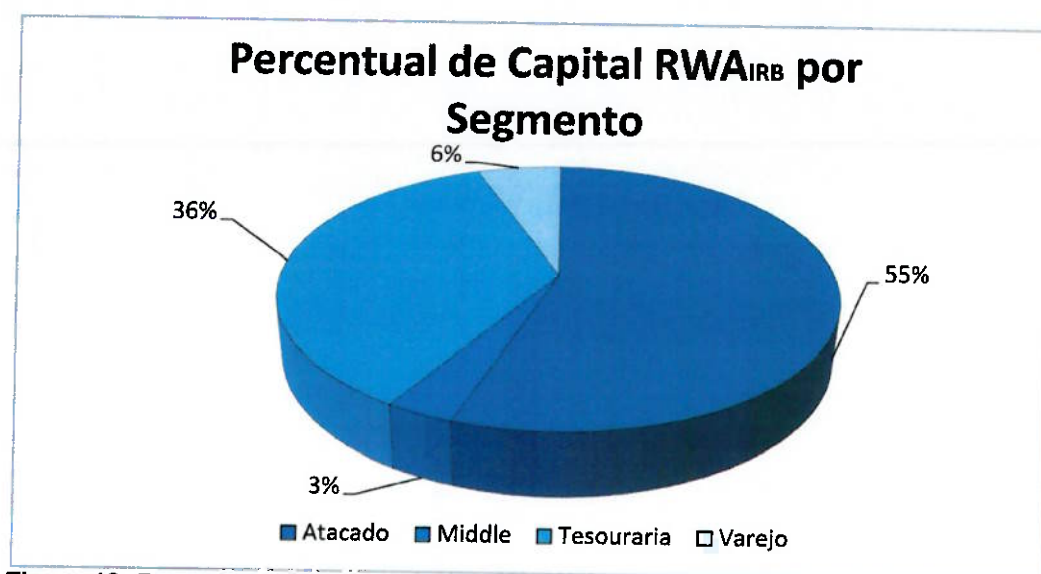


Figura 13: Percentual de RWA_{IRB} por segmento

A Figura 13 mostra que de todo capital retido pela instituição financeira, 55% está alocado para o segmento Atacado, 36% na Tesouraria, apenas 3% no *Middle* e 6% no segmento Varejo.

Após visualizar o consumo de capital por cada segmento da carteira, é demonstrado a concentração de capital por *rating*, para isso vide a tabela 6:

Rating	Atacado	Middle	Tesouraria	Varejo
AA	50,86%	2,22%	34,36%	3,91%
A	4,08%	0,26%	1,27%	0,01%
B	0,00%	0,25%	0,00%	0,01%
C	0,00%	0,31%	0,00%	0,03%
D	0,12%	0,29%	0,21%	1,74%
E	0,00%	0,05%	0,00%	0,01%
F	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
G	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Total	55,06%	3,37%	35,85%	5,72%

Tabela 6: Concentração de RWA_{IRB} por rating

A Tabela 6 e a figura 14 mostram que, dentro do consumo de capital, o Atacado, que continua com maior consumo e há forte concentração no *rating* AA, comportamento semelhante do segmento Tesouraria. Novamente os segmentos Varejo e *Middle*, apesar de serem os segmentos com menor consumo de capital, são os que apresentam maior diluição dentre os *ratings*. Contudo, ao utilizar o modelo IRB, houve uma migração no total de capital por segmento e o segmento que menos consome capital agora é o *Middle*.

Sabe-se que a razão entre o capital (RWA_{IRB}) e a exposição (*EAD*) da carteira é de 3,8%. Entretanto, ao pensar nesta razão por segmento é definido a Tabela 7:

Segmento	EAD	Capital RWA_{Acpad}	Razão EAD/ RWA_{irb}
Atacado	561.884.441,16	25.121.024,97	4,47%
Middle	11.706.247,00	1.539.180,09	13,15%
Tesouraria	564.719.496,82	16.357.645,33	2,90%
Varejo	61.933.044,90	2.609.745,42	4,21%
Total geral	1.200.243.229,89	45.627.595,80	3,80%

Tabela 7: Exposição por Capital RWA_{IRB}

Note que a razão (RWA_{IRB})/*EAD* por segmento se difere muito entre eles, agora o maior valor consta no *Middle*, seguido por Atacado, Varejo e Tesouraria. Almejando deixar essa razão mais visual, é apresentado a Figura 14:

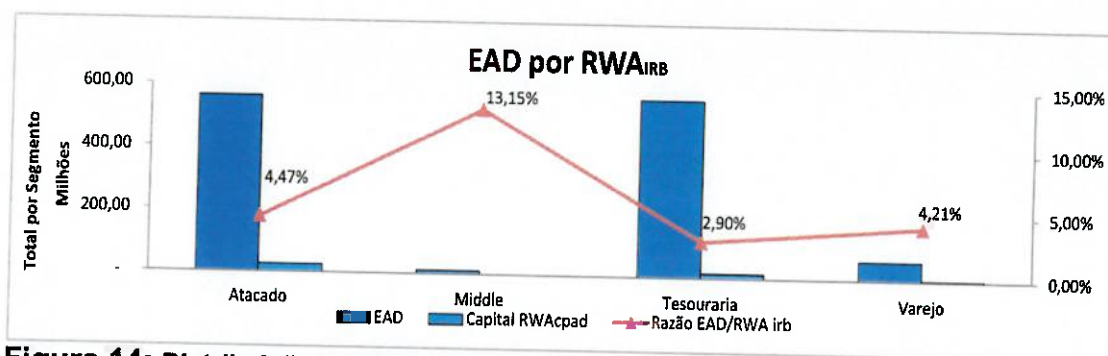


Figura 14: Distribuição do RWA_{IRB} por segmento

Note que, apesar do valor médio do capital requerido $RWA_{IRB} = 3,80\%$ este valor não se replica na carteira ao segmentá-la. O *Middle* tem um consumo de capital muito maior que todo o restante da carteira seguido respectivamente por, Atacado, Varejo e Tesouraria. Ao utilizar a razão entre capital requerido RWA_{IRB} pela EAD, isso para a carteira segmentada, tem-se que:

- Atacado, para cada R\$1.000 investido reter R\$44,70.
- *Middle*, para cada R\$1.000 investido reter R\$131,50.
- Tesouraria, para cada R\$1.000 investido reter R\$29,00.
- Varejo, para cada R\$1.000 investido reter R\$42,10.

Buscando um modelo que não seja necessariamente regulatório, que também leve em conta informações gerenciais do cliente e seja considerado apto a ser aplicado nas instituições financeiras nacionais, encontra-se o *Credit Risk Plus*.

4.5 Capital Credit Risk Plus

O modelo *Credit Risk Plus* utiliza técnica matemática atuarial juntamente com a teoria de probabilidade para calcular recursivamente a distribuição probabilística da perda agregada, e não faz conjecturas as causas dos eventos de

default. Além disso, ele utiliza as mesmas variáveis da abordagem IRB, porém levando em conta a correlação entre os *defaults*.

O capítulo 4.2 mostra que o tamanho da carteira em quantidade monetária é de R\$1.200.243.229. O capital econômico obtido pelo CR+ para toda carteira é definido abaixo por:

$$RWA_{CR+} = 20.028.583$$

Ou seja, mantendo o conceito anterior de razão entre exposição *EAD* pelo total de capital RWA_{CR+} , encontra-se o valor de 1,67%. Essa razão pode ser interpretada da seguinte forma, considere que para cada R\$ 1.000 utilizado pela instituição financeira ela poderá reter R\$ 16,70.

O percentual de capital consumido por cada segmento apresenta-se na Figura 15:

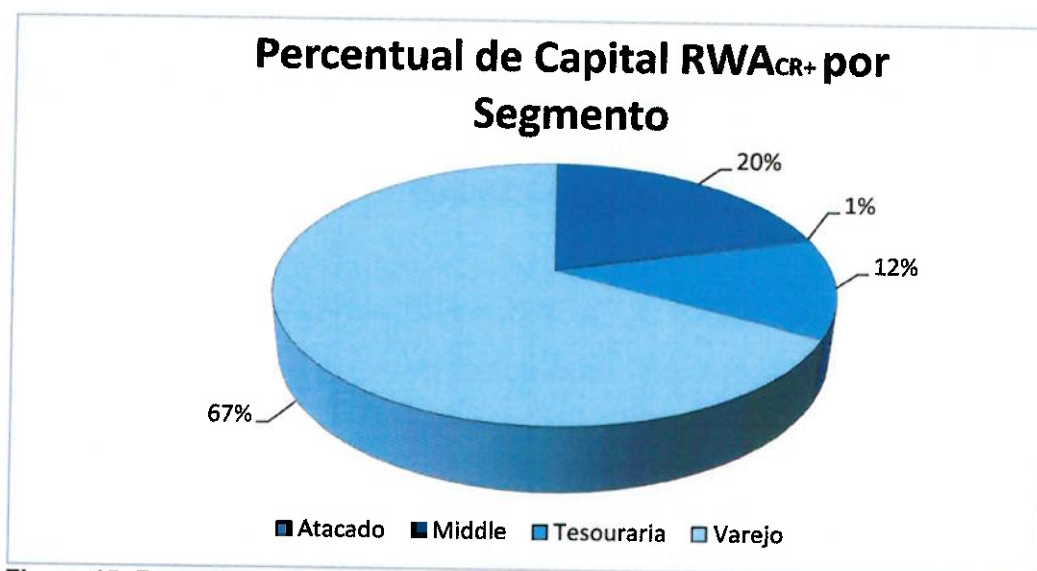


Figura 15: Percentual de RWA_{CR+} por segmento

Para este modelo, que enfatiza os modelos internos e se faz versátil em relação aos *inputs*, o consumo de capital é totalmente modificado em relação às

abordagens anteriores, havendo maior alocação de capital no Varejo, seguindo por Atacado, Tesouraria e *Middle*.

Após visualizar a mudança no consumo de capital por segmento, busca-se mostrar a concentração dentro de cada segmento em seus *ratings* conforme Tabela 8:

Rating	Atacado	Middle	Tesouraria	Varejo
AA	17,38%	0,32%	11,59%	47,72%
A	2,77%	0,04%	0,58%	0,01%
B	0,00%	0,04%	0,00%	0,01%
C	0,00%	0,05%	0,00%	0,01%
D	0,00%	0,05%	0,00%	19,45%
E	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
F	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
G	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Total	20,14%	0,50%	12,17%	67,19%

Tabela 8: Concentração de RWACR+ por rating

Note que, além do segmento *Middle* consumir menos capital, ele apresentou percentuais em mais *ratings*, seguido por Tesouraria, o qual apresenta grande concentração no *rating* AA, o Atacado com uma redução significativa em seu percentual tem concentração no *rating* AA e, por fim, o maior consumo de capital se dá pelo Varejo, que apesar da concentração no *rating* AA, apresenta um significativo percentual no *rating* D.

Entretanto, se pensar numa análise segmentada, por exemplo para precificação, é possível ver que o percentual médio é divergente do total obtido da carteira e dentre os próprios segmentos, para tal visualização vide Tabela 9:

Segmento	EAD	Capital RWAc ⁺	Razão EAD/RWAc ⁺
Atacado	561.884.441,16	4.034.486,25	0,72%
Middle	11.706.247,00	99.817,33	0,85%
Tesouraria	564.719.496,82	2.437.087,95	0,43%
Varejo	61.933.044,90	13.457.191,75	21,73%
Total geral	1.200.243.229,89	20.028.583,28	1,67%

Tabela 9: Exposição por Capital RWAc⁺

Note que a razão (RWA_{CR+})/EAD por segmento se difere muito entre eles, agora o maior valor consta no Varejo, seguido por *Middle*, Atacado e Tesouraria. Almejando deixar essa razão mais visual, é apresentada a Figura 16:

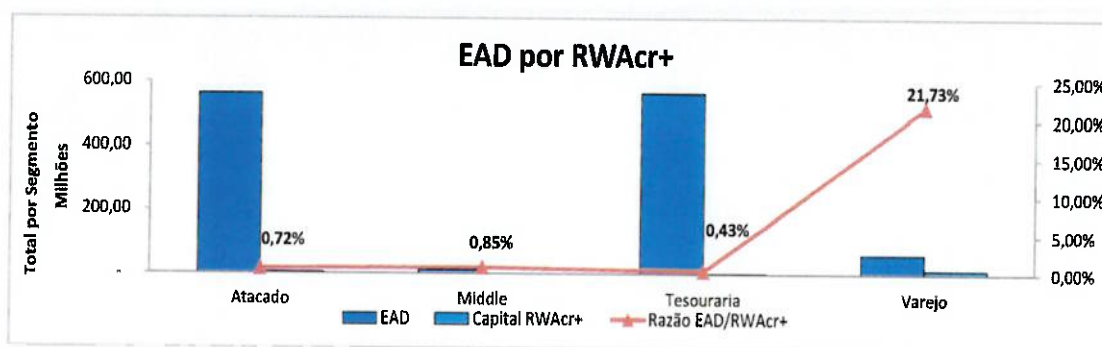


Figura 16: Distribuição do RWAc⁺ por segmento

Apesar do valor médio do capital econômico $RWA_{CR+} = 1,67\%$ este valor não se replica a carteira ao segmentá-la. A Tesouraria tem o menor consumo ao ver a razão entre o EAD por RWA_{CR+} , seguido por *Middle*, Atacado e Varejo. A razão está realmente maior onde a PD é mais significativa. É notável a inversão do consumo de capital, tal resultado pode ser interpretado de forma que:

- Atacado, para cada R\$1.000 investido reter R\$72,00.
- *Middle*, para cada R\$1.000 investido reter R\$85,00.
- Tesouraria, para cada R\$1.000 investido reter R\$43,30.
- Varejo, para cada R\$1.000 investido reter R\$ 217,30.

Estes resultados apresentados anteriormente são válidos, porém não suficiente para a comparação entre os modelos, é necessário uma comparação que leve em conta o embasamento prático e teórica da aplicabilidade de cada modelo conforme será apresentado no próximo capítulo.

5 Comparações dos Modelos

5.1 Comparações dos Modelos

Fazendo-se uma comparação inicial sobre os conceitos dos modelos pode se chegar a algumas conclusões conceituais:

O modelo requerido RWAcpad é um modelo estático, o qual depende exclusivamente, no caso desta carteira, do tipo de contraparte com quem é negociado a operação e seu respectivo prazo de quitação (conforme edital 3.644).

Apesar de ser um modelo exigido pelo BACEN e de fácil implementação, dado que há uma base de dados fidedigna e em equilíbrio com o plano contábil do banco, é um modelo que pode tornar viesada, por exemplo, a precificação do produto. Ao levar em conta apenas a contraparte, o modelo estará dando mesma credibilidade para clientes distintos, que sejam classificados como mesmo tipo de contraparte. Por exemplo, um tomador de crédito, pessoa jurídica rural de pequeno porte e uma grande multinacional estável no mercado, ambas teriam um mesmo consumo de capital em proporção, se por exemplo, fizessem um empréstimo de mesmo prazo. Ou seja, é um modelo que o BACEN utiliza para prevenir possíveis quebras no cenário econômico, mas não leva em conta o *rating* do cliente.

Já o modelo RWAirb traz uma maior flexibilização ao cálculo de capital quando permite que as instituições financeiras utilizem suas próprias estimativas para os parâmetros de risco (EAD, PD e LGD), que são insumos para o modelo de capital IRB definido, conforme circular 3.648. Apesar dessa “suposta” flexibilização de cálculo dos parâmetros, a fórmula do modelo de capital ainda é estática (vide

Capítulo 3), ou seja, fornece uma solução única. Sendo assim, o modelo IRB pode ser dividido em três partes:

- Primeiro, construção de modelos de EAD, PD e LGD com utilização de dados e metodologias próprias, por exemplo, regressão linear, logística, redes neurais dentre outras.
- Segundo, acompanhamentos dos resultados dos modelos internos e utilização dos mesmos para gerenciamento de risco e certificação de aderência.
- Terceiro, utilização dos parâmetros de crédito no cálculo do capital RWAirb, após aprovação do BACEN.

Apesar do modelo IRB permitir a utilização dos parâmetros de crédito obtido através dos modelos internos, ele é limitado a um percentual do portfólio da instituição (vide circular 3.648).

Já o Cr+ é um modelo totalmente interno que também utiliza dos parâmetros obtidos de modelos internos (PD, EAD e LGD) e tem seu próprio cálculo de capital que se dá por uma metodologia interna, onde agora pode se pensar em cenários de perdas potenciais para um nível de confiança e horizonte de tempo definido, que é o conceito de V@R, o qual é descrito em Gudlach e Lehrbass.

Pensando na aplicabilidade dos modelos, o RWAcpad se faz mais fácil de aplicar, além de ser uma exigência para o funcionamento da instituição financeira e este só leva em conta as características da operação.

O IRB também é um modelo regulatório, porém opcional, o qual leva em conta as características e estimativas do cliente e da operação, podendo assim levar a um ganho de capital, se for acatado pelo BACEN.

Por fim, o CR+ é um modelo gerencial, o qual possibilita verificar perdas potenciais em determinados níveis de confiança. Apesar da dificuldade de implementação ele se mostrará eficiente, por exemplo se pensar no cálculo do risco retorno para uma carteira de crédito. O CR+ apesar de não ser regulatório também será verificado pelo BACEN.

5.2 Comparações dos resultados

Como visto anteriormente, as três metodologias utilizadas para o cálculo de capital são distintas devidos seus métodos quantitativos e também suas aplicações, sendo assim, a comparação de resultados intui mostrar apenas a amplitudes de resultados e não a qualificação dos mesmos:

Visando mostrar o consumo de capital por cada tipo de modelo, é feito o a Figura 17, onde é utilizado o V@R 99,9% para o modelo CR+:

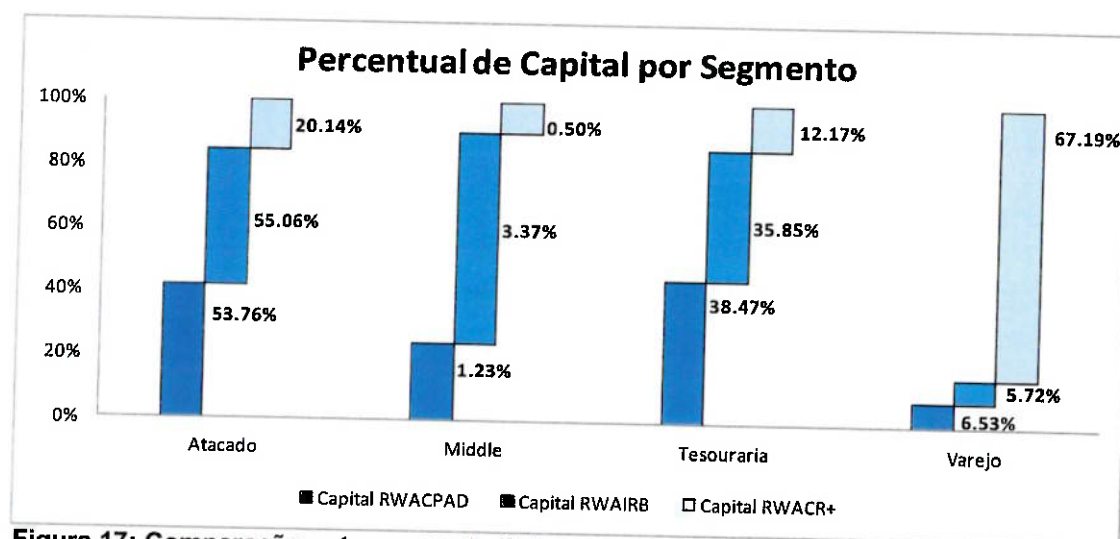


Figura 17: Comparação entre percentual de RWAcpad, RWAIRB e CR+

Para o Atacado o modelo RWAcpad e RWAirb têm um valores próximos, enquanto o CR+ apresentou menos que a metade do consumo. Para o *Middle*, o maior consumo de capital é o modelo IRB. A Tesouraria apresenta maior valor no

RWAcpad, e menor consumo de capital com o CR+. Já para o segmento Varejo o consumo de capital do CR+ é muito maior que dos outros dois modelos.

Buscando a comparação de valores de capital e a concentração por segmento tem-se a Tabela 10:

Segmento	EAD	Capital RWAcpad	Capital RWAirb	Capital RWAc+
Atacado	561,884,441.16	56,074,347.96	25,121,024.97	4,034,486.25
Middle	11,706,247.00	1,287,687.17	1,539,180.09	99,817.33
Tesouraria	564,719,496.82	40,130,490.25	16,357,645.33	2,437,087.95
Varejo	61,933,044.90	6,812,634.94	2,609,745.42	13,457,191.75
Total geral	1,200,243,229.89	104,305,160.32	45,627,595.80	20,028,583.28

Tabela 10: Concentração de Capital por segmento

Ao comparar os métodos RWAcpad e IRB, mesmo o IRB consumindo menos da metade do capital RWAcpad, eles apresentam uma concentração similar, enquanto o CR+, além de consumir menos capital que os dois modelos, a concentração é maior no Varejo.

Ao pensar na razão entre a exposição e capital pode-se verificar a Figura 18:

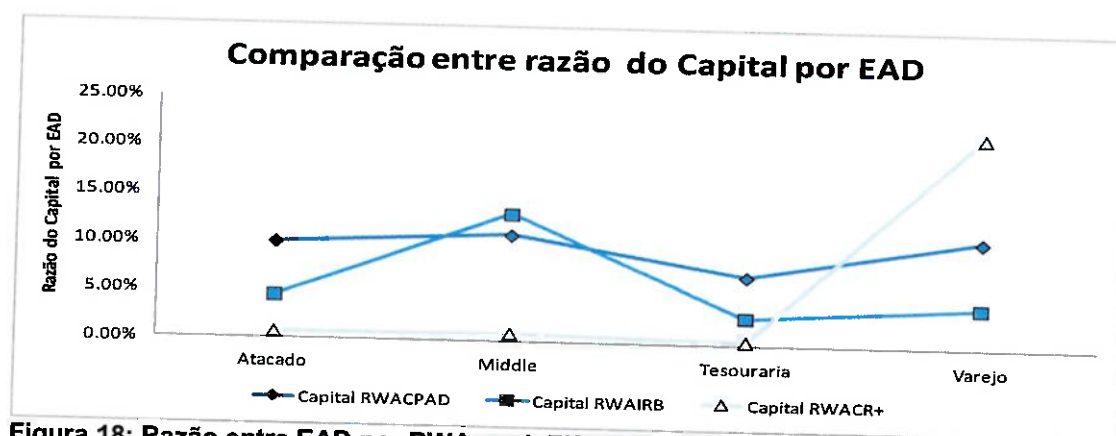


Figura 18: Razão entre EAD por RWAcpad, RWAIRB e CR+

Buscando o efeito de alocação de capital, o Varejo, segundo o CR+, seria o segmento com o maior alocação de capital, enquanto o RWAcpad permaneceu com certa constância, o IRB apresenta maior exigência no segmento *Middle*.

O capital regulatório RWA é exigido, independente das estimativas de risco como PD, EAD e LGD. Assim, fazendo agora uma comparação utilizando apenas os modelos IRB e CR+, é possível pensar em conceitos gerencias, como utilizar apenas clientes em não *default*. A seguir a comparação entre o CR+ e o IRB utilizando, agora, a perda esperada.

O capital IRB tem algumas restrições nos parâmetros de *input* (conforme circular 3.648), assim tem-se a seguinte perda esperada e capital:

Segmento	Exposição	Perda Esperada	Capital IRB
Atacado	1,113,200,457.62	4,784,727.02	37,807,435.91
Varejo	61,769,149.70	1,976,539.80	2,601,380.94
Total	1,174,969,607.32	6,761,266.82	40,408,816.85

Tabela 11: Comparação RWA e CR+

Já para o capital CR+, considerando novamente apenas clientes em não *default* e as mesmas PDs, LGDs e EADs utilizadas para o IRB e considerando o os percentis de 99%, 99,90%, 99,95% e 99,99%, para o cálculo do V@R tem-se a Tabela 12:

Segmento	Exposição	Perda Esperada	VaR @99.0%	VaR @99.5%	VaR @99.99%
Atacado	1,113,200,457.62	4,784,727.02	9,181,737.16	9,849,814.71	11,356,118.55
Varejo	61,769,149.70	1,976,539.80	10,980,935.32	12,349,054.65	15,433,731.55
Total	1,174,969,607.32	6,761,266.82	20,162,672.48	22,198,869.36	26,789,850.10

Tabela 12: Capital por CR+ e V@R

Por fim, pode-se verificar que a perda inesperada, ou seja, o capital, apresentou-se maior para o modelo IRB do que para o CR+ utilizando os mesmos parâmetros de riscos para todos os percentuais utilizados no V@R.

6. Conclusões

A proposta do trabalho foi iniciada pela contextualização do cálculo de capital para risco de crédito, apresentando os conceitos metodológicos utilizando-os nos modelos RWAcpad, RWA_{IRB} e CR+. Após a revisão conceitual dos modelos, cada um deles foram implementados na ferramenta SAS.

Uma das principais dificuldades deste trabalho consta na implementação computacional dos modelos, o qual exigiu fundamentalmente, uma base de dados que estivesse com os parâmetros de risco de crédito embutidos, no caso, PD, LGD e EAD e um conhecimento computacional da ferramenta em uso.

A aplicação do modelo regulatório RWAcpad apresentou uma lógica computacional simples, ele depende fundamentalmente de informações da operação de crédito. Dado que, as informações das operações apresentam-se estruturada de forma a refletir o plano contábil da instituição financeira em questão, a aplicação do modelo trata-se apenas, de implementar um conjunto de normas regulatórias oriundas de editais como a 3360 e 2978 dentre outras definidas pelo Banco Central do Brasil.

A implementação do modelo RWA_{IRB} apresenta uma lógica computacional um pouco mais complexa que a do modelo RWAcpad, pois ela, apesar de também ser um modelo regulatório (por exemplo 3.648), tem uma estrutura mais elaborada, ela não exige só informações da operação, no caso o EAD, como também exige estimativas que refletem (ou devem refletir) características/estimativas do tomador de crédito, esses denotados no mercado de crédito como "parâmetros de risco", no caso a PD, EAD e LGD.

O modelo CR+, foi o que apresentou a maior complexidade em sua aplicação, pois além de ser totalmente dependente dos parâmetros de riscos, por

sua vez apresenta uma estrutura matemática mais complexa, a qual exige conhecimentos de algumas distribuições estatísticas e um método de interpolação, no caso deste trabalho foi utilizado o Panjer.

Dissertar sobre a comparação numérica dos *outputs* de cada modelo não é o foco deste trabalho, pois a própria finalidade deles são distintas, cada modelo tem a sua finalidade. Apesar de todos apresentarem a figura do capital são modelos distintos com *inputs* distintos.

Para afirmar que cada modelo está apto a ser utilizado, é necessário que algumas etapas fossem levadas em consideração. No caso, o RWAcpad é um modelo regulatório, exigido mensalmente pelo BACEN, o qual elabora, fiscaliza e autoriza a utilização deste. Já o IRB que também é um modelo regulatório, utiliza de modelos internos e é exigido avaliação e acompanhamento de um histórico dos parâmetros de risco PD, EAD e LGD dentre outras exigências do BACEN. O CR+ é um modelo gerencial, que além de levar em conta os parâmetros dos modelos PD, EAD e LGD, utiliza das correlações entre as probabilidades de *defaults*, ou seja, além da validação dos parâmetros de forma análoga ao IRB, seria essencial um *backtest* para garantir a confiabilidade da metodologia aplicada.

Por fim, ficou demonstrado e anexado neste trabalho que as metodologias descritas podem ser aplicadas e implementadas em uma carteira de concessão de crédito através de uma ferramenta usual de mercado.

7. Referências Bibliográficas

ALLEN, L., BOUDOUKH, J., SAUNDERS, A.: ***Understanding Market, Credit and Operational Risk: The Value at Risk Approach***, Blackwell Publishing, 2004

Banco do Brasil, <<http://www.bb.com.br/portalbb/portalbb/page51,136,10358,0,0,1,8.bb?codigoNoticia=16577&codigoMenu=410>>, Acesso em 25 de novembro de 2013.

Basel Committee on Banking Supervision. **International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: A Revised Framework, Comprehensive Version**. Bank for International Settlements, 2006

Basel Committee on Banking Supervision. **Basel III: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems**. Bank for International Settlements, 2011.

BLUHM, C.; OVERBECK, L.; Wagner C. **An Introduction to Credit Risk Modeling**. Munich and Frankfurt, 2002.

Brasil. **Carta Circular nº 2.682**, 12 de setembro de 1996. Publicado pelo Banco Central do Brasil em 12 de setembro de 1996.

Brasil. **Carta Circular nº 3.360**, 12 de setembro de 2007. Publicado pelo Banco Central do Brasil em 12 de setembro de 2007.

Brasil. **Carta Circular nº 3.490**, 29 de agosto de 2007. Publicado pelo Banco Central do Brasil em 29 de agosto de 2007.

Brasil. **Carta Circular nº 3.644**, 4 de março de 2013. Publicado pelo Banco Central do Brasil em 4 de março de 2013.

Brasil. **Carta Circular nº 3.648**, 4 de março de 2013. Publicado pelo Banco Central do Brasil em 4 de março de 2013.

Brasil. **Resolução nº 3.679**, 29 de janeiro de 2009. Publicado pelo Banco Central do Brasil em 29 de janeiro de 2009.

Credit Suisse Financial Product (CSFP): **Credit Risk+**: A Credit Risk Management Framework, 1997.

DONELIAN, M., S., **IMPACTO DAS MEDIDAS MACROPRUDENCIAIS NO BRASIL**, 2012.

GISE, G., **Enhanced Credit Risk Plus**. Em: Gundlach M., Lehrbass, 2003.

GUNDLACH, M., LEHRBASS, F.: **Credit Risk Plus In the Banking Industry**, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2004.

HAND, D. J., HENLEY W. E.: **Statistical Classification Methods in Consumer Credit Scoring: A Review**. J.R. Statist. Soc. A, 1997.

JORION, P. **Value at Risk: The New Benchmark for Controlling Market Risk**, McGrawHill, 1996.

JORION, P. **Value at Risk**. McGrawHill, New York, 1997.

LINSMEIER, T. PEARSON, N.: **Risk Measurement: An Introduction to Value at Risk, Working Paper**, University of Illinois at Urbana Champaign, 1996.

MCCULLAGH, P.; NELDER, J.A. **Generalized Linear Models**, 2 ed. Chapman and Hall, London. 1989.

MERTON, R.: **On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates**. 1974

MOODY'S: **Modeling Default Risk**. Technical Document, Risk, 2003.

MORETTIN, P. A., BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 7ª Ed. Saraiva, São Paulo: Saraiva, 2011.

NETER, J. et al. **Applied linear regression models**. 3 ed. Irwin, 1996.

OLIVEIRA, A., **Modelos de Risco de Crédito em Carteiras, Uma Comparação Aplicada ao Caso Brasileiro**, 2013.

PANJER, H. H.: **Recursive Evaluation of a Family of Compound Distributions**, ASTIN Bull, 1981.

PANJER, H. H., WILLMOT, G. E.: **Insurance Risk Models**. Schaumburg, IL: Society of Actuaries, 1992.

SAS Institute Inc., <<http://www.sas.com/offices/latinamerica/brazil/>>, Acesso em novembro de 2013.

APÊNDICE A – Programas desenvolvidos em SAS

```

/*****
/*****
/* IMPORTAÇÃO DA BASE */
/*****
/*****

DATA WORK.Base_IMPUTESas;
  LENGTH
    Data_Ref          8
    Empresa            $ 19
    Segmento           $ 10
    Origem              $ 8
    Subsegmento        $ 19
    GrupoProduto       $ 1
    FamíliaProduto     $ 1
    Produto             $ 28
    ModalidadeProduto  $ 1
    RatingInterno       8
    Rating_PDD_2682    $ 2
    Tipo_Exposicao      $ 8
    ID_Exposicao        8
    CPF_CNPJ           8
    Chave_Grupo_Pool  8
    Classific_Ativ_Econ  8
    Classific_Geo       8
    Status              8
    Atraso              8
    DataVencimento      8
    Spread              8
    Classe_IRB          $ 11
    'Subclasse IRB'n    $ 25
    Faturamento_SME    8
    Tipo_Part_Societarias  8
    Tipo_Relac_Part_Societarias  8
    Fator_ICAAP_3581    8
    EAD                 8
    LGD                 8
    Best_Estimate_LGD   8
    M                   8
    Prazo_Medio         8
    Tabela_Rating       $ 14
    Rating_Cliente       8
    Rating_HVCRE         $ 1
    Rating_Emprest_Espec $ 1
    Rating_2682          $ 2
    REGRA_PD_CAP_ECON    $ 1
    PD_ICAAP            8
    VOL_PD_ICAAP        8
    REGRA_PD_IRB        $ 1
    PD_IRB              8
    Perda_Esperada      $ 11
    Capital              $ 11
    PEPR                8
    Perda_Esperada_IRB  8 ;

FORMAT
  Data_Ref          DATE9.
  Empresa            $CHAR19.
  Segmento           $CHAR10.
  Origem              $CHAR8.
  Subsegmento        $CHAR19.
  GrupoProduto       $CHAR1.
  FamíliaProduto     $CHAR1.

```

Produto \$CHAR28.
 ModalidadeProduto \$CHAR1.
 RatingInterno BEST12.
 Rating_PDD_2682 \$CHAR2.
 Tipo_Exposicao \$CHAR8.
 ID_Exposicao BEST12.
 CPFCNPJ BEST12.
 Chave_Grupo_Pool BEST12.
 Classific_Ativ_Econ BEST12.
 Classific_Geo BEST12.
 Status BEST12.
 Atraso BEST12.
 DataVencimento DATE9.
 Spread BEST12.
 Classe_IRB \$CHAR11.
 'Subclasse IRB'n \$CHAR25.
 Faturamento_SME BEST12.
 Tipo_Part_Societarias BEST12.
 Tipo_Relac_Part_Societarias BEST12.
 Fator_ICAAP_3581 BEST12.
 EAD BEST12.
 LGD BEST12.
 Best_Estimate_LGD BEST12.
 M BEST12.
 Prazo_Medio BEST12.
 Tabela_Rating \$CHAR14.
 Rating_Cliente BEST12.
 Rating_HVCRE \$CHAR1.
 Rating_Emprest_Espec \$CHAR1.
 Rating_2682 \$CHAR2.
 REGRA_PD_CAP_ECON \$CHAR1.
 PD_ICAAP BEST12.
 VOL_PD_ICAAP BEST12.
 REGRA_PD_IRB \$CHAR1.
 PD_IRB BEST12.
 Perda_Esperada \$CHAR11.
 Capital \$CHAR11.

PEPR BEST12.
 Perda_Esperada_IRB BEST12. ;

INFORMAT

Data_Ref DATE9.
 Empresa \$CHAR19.
 Segmento \$CHAR10.
 Origem \$CHAR8.
 Subsegmento \$CHAR19.
 GrupoProduto \$CHAR1.
 FamiaProduto \$CHAR1.
 Produto \$CHAR28.
 ModalidadeProduto \$CHAR1.
 RatingInterno BEST12.
 Rating_PDD_2682 \$CHAR2.
 Tipo_Exposicao \$CHAR8.
 ID_Exposicao BEST12.
 CPFCNPJ BEST12.
 Chave_Grupo_Pool BEST12.
 Classific_Ativ_Econ BEST12.
 Classific_Geo BEST12.
 Status BEST12.
 Atraso BEST12.
 DataVencimento DATE9.
 Spread BEST12.
 Classe_IRB \$CHAR11.
 'Subclasse IRB'n \$CHAR25.
 Faturamento_SME BEST12.
 Tipo_Part_Societarias BEST12.
 Tipo_Relac_Part_Societarias BEST12.
 Fator_ICAAP_3581 BEST12.
 EAD BEST12.
 LGD BEST12.

```

Best_Estimate_LGD BEST12.
M BEST12.
Prazo_Medio BEST12.
Tabela_Rating $CHAR14.
Rating_Cliente BEST12.
Rating_HVCRE $CHAR1.
Rating_Emprest_Espec $CHAR1.
Rating_2682 $CHAR2.
REGRA_PD_CAP_ECON $CHAR1.
PD_ICAAP BEST12.
VOL_PD_ICAAP BEST12.
REGRA_PD_IRB $CHAR1.
PD_IRB BEST12.
Perda_Esperada $CHAR11.
Capital $CHAR11.
PEPR BEST12.
Perda_Esperada_IRB BEST12. ;
INFILE DATALINES4
DLM='7F'x
MISSOVER
DSD ;
INPUT
Data_Ref : BEST32.
Empresa : $CHAR19.
Segmento : $CHAR10.
Origem : $CHAR8.

Subsegmento : $CHAR19.
GrupoProduto : $CHAR1.
FamiaProduto : $CHAR1.
Produto : $CHAR28.
ModalidadeProduto : $CHAR1.
RatingInterno : BEST32.
Rating_PDD_2682 : $CHAR2.
Tipo_Exposicao : $CHAR8.
ID_Exposicao : BEST32.
CPF CNPJ : BEST32.
Chave_Grupo_Pool : BEST32.
Classific_Ativ_Econ : BEST32.
Classific_Geo : BEST32.
Status : BEST32.
Atraso : BEST32.
DataVencimento : BEST32.
Spread : BEST32.
Classe_IRB : $CHAR11.
'Subclasse IRB'n : $CHAR25.
Faturamento_SME : BEST32.
Tipo_Part_Societarias : BEST32.
Tipo_Relac_Part_Societarias : BEST32.
Fator_ICAAP_3581 : BEST32.
EAD : BEST32.
LGD : BEST32.
Best_Estimate_LGD : BEST32.
M : BEST32.
Prazo_Medio : BEST32.
Tabela_Rating : $CHAR14.
Rating_Cliente : BEST32.
Rating_HVCRE : $CHAR1.
Rating_Emprest_Espec : $CHAR1.
Rating_2682 : $CHAR2.
REGRA_PD_CAP_ECON : $CHAR1.
PD_ICAAP : BEST32.
VOL_PD_ICAAP : BEST32.
REGRA_PD_IRB : $CHAR1.
PD_IRB : BEST32.
Perda_Esperada : $CHAR11.
Capital : $CHAR11.
PEPR : BEST32.
Perda_Esperada_IRB : BEST32. ;

```

DATALINES4;

/*****

```

/*****
/* ANALISR De BASE */
/*****
/* Analise descritiva da base*/
proc sort data=WORK.output_TestesVOL;
by segmento;
run;

/* box plot PD */
PROC BOXPLOT data=WORK.output_TestesVOL;
PLOT PD_ICAAP * segmento;
BY segmento;
ID segmento;
run;

/* box plot vol de PD */
PROC BOXPLOT data=WORK.output_TestesVOL;
PLOT VOL_PD_ICAAP * segmento;
BY segmento;
ID segmento;
run;

/* box plot lgd */
PROC BOXPLOT data=WORK.output_TestesVOL;
PLOT LGD * segmento;
BY segmento;
ID segmento;
run;

/*****
/* Captial Por RWAcpad */
/*****
Data FPR;
Set WORK.output_TestesVOL;
IF SUBSTR(Cosif,1,3) IN ('16225') AND THEN DO;
    IF contraparte IN (1) THEN codigoFPR = '01';

    IF contraparte IN (4) THEN codigoFPR = '30';

    IF contraparte IN (6,7) THEN codigoFPR = '50';

    IF contraparte IN (5,4) AND Prazo_Remanescente <= 90
THEN codigoFPR = '10';

IF contraparte IN (5,4) AND Prazo_Remanescente > 90 THEN
codigoFPR = '30';

END;

Run;

/*****
/* Captial Por CR+ */
/*****

```

```

/*****
/* Macro que calcula o CE */
%macro var_01;
%Global GRP MSG PCTL_NEW NRPE;
/* Percentil que seá apurado o V@R */
%let PCTL_NEW = 0.995;
/* Numero de interações */
%let Int = 10000; /*N_IT*/

/* AQUI SELECIONA OS CONTRATOS QUE ENTRARÃO, RETIRANDO OS PROXIMOS DO MAXIMO */

PROC SQL; /* Tratamento inicial da base de dados retirando casos atipicos */
create table Mensal.input_DATA_MOVIMENTO as
select LNK_CLI, PD, DP,
sum(EXP_LGD_OPR) as VL_EXP, /* Calculo da Exposicao */
sum(PE) as PE, /* Total de Perda Esperada */
sum(SDO_AGRP_CLI) AS SDO_AGRP_CLI
FROM WORK.Base_IMPUTESas (WHERE=(TP_OPER IN (1 3 4 5)))
WHERE IN_CLI_OP_VCD IN ('N') AND LKN_CLI NOT IN (200000,200002121)
GROUP BY LNK_CLI, PD, DP HAVING VL_EXP > 0;
QUIT; %ERRO;

proc sql; /* Inicio do calculo do CE */
create table nome_1 as
select *,
      sum(PE) as sumPE, /* Perda esperada total */
      sum(VL_EXP) as sumVL_EXP, /* Exposição Total */
      sum(VL_EXP) as MOR_VL_EXP, /* Maior Exposição */
FROM WORK.Base_IMPUTESas;
quit; %erro;

data mensal.input_&data_movimento;
set WORK.Base_IMPUTESas;
U = max(int((mor_vl_exp/100)+1),int(sumPE/100)); /* Definindo o tamanho de U */
L = int(VL_EXP/U)+1; /* v_A */
PDA = PE/(L+U); /* Prob de default Ajustada */
DPA = PDA/2; /* Variância da prob de Defaut Ajustada -
Hipoteses do modelo Original */
run; %erro;

proc sql;
create table Mensal.input_DATA_MOVIMENTO as
select*,
      sum(PDA) AS Mi, /* Mi */
      sum(DPA) as Sigma /* Sigma */
from mensal.input_&data_movimento;
quit; %erro;

proc sql;
create table Mensal.tbl_Geral_&DATA_MOVIMENTO as
select *, L - 1 as R1, /* R1 */
      L as T1, /* T1 */
      (PDA/(MI+MI**2/SIGMA**2/*ALPHA*)) * L * MI**2/sigma**2/*ALPHA/ as R2, /* R2 */
      -PDA/(MI+MI**2/SIGMA**2/*ALPHA*/) as T2, /* T2 */
      MI**2/SIGMA**2 as alfa, /* alpha */
      SIGMA**2/Mi/(1 + (SIGMA**2/Mi) as RO,
/* RO */
      int(sumPE/U) as nrPE /* Media PE */
FROM(select U, L, Mi, Sigma,
      count(LNK_CLI) as QT_Cli_GR, /* Quantidade de cliente de uma banda */
      sumPE Format Commax20., /* Pe Total */
      sumExp Format Commax20., /* Exposicao total */
      sum(PDA) as PDA Format Best0.6, /* PDA Empacotada */
      sum(DPA) as DPA Format Best0.6 /* DPA Empacotada */
group by U, L, Mi, Sigma, sumPE, sumEXP);
quit; %erro;

data mesal.TBL_PDF_&data_Movimento (keep= N1 P P_Acum Valor DT_MVT);

```

```

mensal.resultados_&data_movimento (keep=descricao valor);
Label P = 'Probabilidade de Default'
      N1 = 'Numero de Defaults';
set WORK.Base_IMPUTEsas;
array A[&int]_Temporary_;
array B[&int]_Temporary_;
array PRCT[8]_Temporary_(.5 .75 .95 .99 .995 .9975 .9999); /* Percentis que serao apurados
o V&R */
/* Zerar os Fatores A e B */
Do i=1 to &int;
  A[i]=0;
  B[i]=0;
End;
/* Calcula a probabilidade para numero de Default igual a zero */
A[i]=(1-Ro)**Alfa;
B[i]=A[i];
N = 1;
X = 1;
/* Limita as interações */
Do until ((B[N]>0.999999) OR (N+1 > &int));
/* Apura o Valor do V&r nos percentis determinado */
IF N > 2 THEN
  IF X <= 8 THEN DO;
    IF B[N-1]> PRCT[X] THEN
      DO;
        DESCRICAO = COMPRESS(PUT(PRCT[X],15.4));
        VALOR = U*(N-3 + ((PRCT[X]-B[N-2])/(B[N-1]-B[N-2]))) -sumPE;
        output mesal.TBL_PDF_&data_Movimento;
        X=X+1;
      END;
    END;
  /* Inclui valores no Vetor A */
  DO OBSNUN = 1 TO LAST;
    SET TBL_GERAL_&DATA_MOVIMENTO point=obsnum nobs=last;

    IF R1 < N THEN
      A[N+1] = [N+1] + R2*A[N-R1];
    IF T1 < N+1 AND T1 > 0 THEN
      A[N+1]=A[N+1]-T2*(N-T1)*A[N+1 - T1];
    END;
  /* Valores para plotar o Grafico da distribuicao de frequencia */
  A[N+1]=A[N+1]/N;
  B[N+1]=B[N]+A[N+1];
  P = A[N+1];
  P_acum = B[N+1];
  N1=N;
  VALOR = N * U;
  N = N+1;
  DT_MVT = "&DATA_MOVIMENTO"
  OUTPUT MENSAL.TBL_PDF_&DATA_MOVIMENTO;
END;

/* MENSAGEM DE ERRO CASO NAO CONVERGA */
IF N+1 > &INT THEN
DO;
  FILE LOG;
  PUT '/ >>..... ATENCAO NAO CONVERGIU .....<< \';
  ABORT 225;
END;
STOP;
FORMAT valor COMMAX20.2;
RUN; %ERRO;

%LET VAR "";

DATA _NULL_; /* 0.99995*/
SET MESAL.RESULTADOS_&DATA_MOVIMENTO;
IF DESCRICAO = '0.9950' THEN /* o QUE GRAVAR SE ISSO ROLAR */
CALL SYMPUT('VAR',VALOR);
RUN;%ERRO;
%MEND;

```



```

%Macro VAR_02;
/*Base de Dados Origem */
proc sql;
create table INFOCAR.OPR_&DATA_MOVIEMTNO AS
SELECT * FROM INFOCAR.BKP_&DATA_MOVIMENTO AS A1
LEFT JOIN mensal.INPUT_&DATA_MOVIMENTO (KEEP= LNK_CLI RC VL_EXP) AS A2
ON A1.LNK_CLI = A2.LNK_CLI;
QUIT; %ERRO;

/*****
/*****
/* Captial Por IRB */
/*****
/*****

let F=0.11;

/*****
*****/
/***** DIVIDE A BASE EM 5, CONFORME O TIPO DE EXPOSIÇÃO
*****/
proc freq data=WORK.BASEPD; table SUBCLASSEIRB; run;
data WORK.IRB_ENTIDADES_SOBERANAS WORK.IRB_ATACADO IRB_FIN_ESPECIALIZADOS
WORK.IRB_VAREJO WORK.IRB_PARTICIPACOES;
set WORK.Base_IMPUTESas;
/*Premissas para a estimativa do IRB*/
F_ICAAP=0;*(SUBCLASSEIRB eq '2.Bancos');
STATUS=0; /*Nenhum contrato em default*/
/*Premissas para a estimativa do IRB - FIM*/
/* EL=PD_IRB*LGD;*/
BEST_LGD=PD_IRB*LGD;
/* EAD=EXPOSICAO;*/
EAD02=EXPOSICAO_AJUSTADA;
if SUBCLASSEIRB eq '1.Soberanos'
then output WORK.IRB_ENTIDADES_SOBERANAS; else
if SUBCLASSEIRB in ('3.Atacado' '5.Atacado' '2.Bancos' 'SME' '4.Varejo' '')
then output WORK.IRB_ATACADO; else
if SUBCLASSEIRB in ('HVCRE' 'FinancProjeto' 'FinancObjEspec' 'FinancCommodities'
'IPRE')
then output WORK.IRB_FIN_ESPECIALIZADOS; else
if SubclasseIRB in ('Varejo' 'VarejoOutros' 'VarejoResidencial'
'VarejoRotativoQualificado')
then output WORK.IRB_VAREJO; else
if SUBCLASSEIRB eq 'ParticipSoc'
then output WORK.IRB_PARTICIPACOES;
run; /*18353*/
/*****
*****/

/*****
*****/
/***** VAREJO - CALCULO DO CAPITAL IRB
*****/
data WORK.IRB_VAREJO_CALC;
set WORK.IRB_VAREJO;
/*****/
if STATUS eq 0 then
do; /*1*/
TX_35= (1 -exp(-35 *PD_IRB)) / (1 -exp(-35));
if Subclasse_IRB eq 'VarejoRotativoQualificado'
then DO; R= 0.04; END; else
if Subclasse_IRB eq 'VarejoResidencial'
then DO; R= 0.15; END; else
if Subclasse_IRB eq 'VarejoOutros'
then DO;
R= 0.03 *TX_35 +0.16 *(1 -TX_35);

```

```

        END; else
        if Subclasse_IRB eq 'Varejo'
        then DO;
            R= 0.03 *TX_35 +0.16 *(1 -TX_35);
            END;

        A1=(probit(PD_IRB) +sqrt(R) *probit(0.999)) / sqrt(1 -R);

        K=(LGD *probnorm(A1) -LGD *PD_IRB);

        EL=PD_IRB*LGD;

    END; /*1*/ else
    if STATUS eq 1 then
    DO; /*2*/
        EL=BEST_LGD;

        K1=      max(0 ,LGD -EL); /*BEST_ESTIMATE_LGD é a Perda Esperada EL*/
    END; /*2*/
    /*****/
    PEPR_IRB=K*EAD;

    PERDA_ESPERADA=EL*EAD;
    /*****/
run;
title 'Varejo';
proc sql;
    select sum(EXPOSICAO) as EXPOSICAO format commax25.
           ,sum(EXPOSICAO_AJUSTADA) as EXPOSICAO_AJUSTADA format commax25.
           ,sum(EPR) as EPR format commax25.
           ,sum(PEPR) as PEPR format commax25.
           ,sum(PEPR_IRB) as PEPR_IRB format commax25.
    from WORK.IRB_VAREJO_CALC;
quit;
title;
/*****
*****/
/*****
*****/
/***** ENTIDADES SOBERANAS - CALCULO DO CAPITAL IRB
*****/
data WORK.IRB_ENTIDADES_SOBERANAS_CALC;
    set WORK.IRB_ENTIDADES_SOBERANAS;
    /*****/
/*    LGD=      0.45; */
    /*****/
    if STATUS eq 0 then
    DO; /*1*/
        TX_50= (1 -exp(-50 *PD_IRB)) / (1 -exp(-50));

        B=(0.11852 -0.05478 *log(PD_IRB)) **2;

        AJUSTE_M=(1 +(MATURITY -2.5) *B) / (1 -1.5 *B);

        R=(1 +0.25 *Fator_ICAAP_3581) *(0.12 *TX_50 +0.24 *(1 -TX_50));

        A1=(probit(PD_IRB) +sqrt(R) *probit(0.999)) / sqrt(1 -R);

        K=(LGD *probnorm(A1) -LGD *PD_IRB) *AJUSTE_M;

        EL=PD_IRB*LGD;
    END; /*1*/ else
    if STATUS eq 1 then
    DO; /*2*/
        K=0;
        EL=BEST_LGD;
    END; /*2*/
    /*****/
    PEPR_IRB=K*EAD;

    PERDA_ESPERADA=EL*EAD;

```

```

/*****/
run;
title 'Entidades Soberanas';
proc sql;
    select sum(EXPOSICAO) as EXPOSICAO format commax25.
           ,sum(EXPOSICAO_AJUSTADA) as EXPOSICAO_AJUSTADA format commax25.
           ,sum(EPR) as EPR format commax25.
           ,sum(PEPR) as PEPR format commax25.
           ,sum(PEPR_IRB) as PEPR_IRB format commax25.
    from WORK.IRB_ENTIDADES_SOBERANAS_CALC;
quit;
title;
/*****/
/***** ATACADO - CALCULO DO CAPITAL IRB *****/
data WORK.IRB_ATACADO_CALC;
    set WORK.IRB_ATACADO;
    /*****/
    /*
    /*      if SUBCLASSE_IRB eq 'SME' then Faturamento_SME=3600000; else*/
    /*      if SUBCLASSE_IRB eq '5.Atacado' then Faturamento_SME=48600000/2; else*/
    /*      if SUBCLASSE_IRB eq '2.Bancos' then Faturamento_SME=48600000*2;*/
    /*      if not missing(Faturamento_SME) then FAT_SME=Faturamento_SME/1000000;
    /*      if FAT_SME le 3.6 then LGD= 0.85; else*/
    /*      if FAT_SME ge 48.6 then LGD= 0.70; else /*if 3.6 lt FAT_SME lt 48.6 then */
    /*      LGD=0.70+0.15 *(1-(FAT_SME -3.6) /45);*/
    /*****/
    if STATUS eq 0 then DO; /*1*/
        TX_50= (1 -exp(-50 *PD_IRB)) / (1 -exp(-50));

        B=(0.11852 -0.05478 *log(PD_IRB)) **2;

        if not missing(MATURITY)
            then AJUSTE_M= (1 +(MATURITY -2.5) *B) / (1 -1.5 *B);
            else AJUSTE_M= (1 +(1 -2.5) *B) / (1 -1.5 *B);

        if SUBCLASSEIRB in ('3.Atacado' '5.Atacado' '2.Bancos' '') then
            DO;
                R=(1 +0.25 *F_ICAAP) *(0.12 *TX_50 +0.24 *(1 -TX_50));
            END; else
            if SUBCLASSE_IRB in ('SME' '4.Varejo') then
                DO;
                    R=(0.12 *TX_50 +0.24 *(1 -TX_50) -0.04 *(1 -(FAT_SME -3.6) / 45));
                END;

            A1=(probit(PD_IRB) +sqrt(R) *probit(0.999)) / sqrt(1 -R);

            K=(LGD *probnorm(A1) -LGD *PD_IRB) *AJUSTE_M;

            EL=PD_IRB*LGD;
        END; /*1*/ else
        if STATUS eq 1 then
            DO; /*2*/
                K=0;

                EL=BEST_LGD;
            END; /*2*/
    /*****/
    PEPR_IRB=K*EAD;
    PEPR_IRB02=K*EAD02;

    PERDA_ESPERADA=EL*EAD;
    PERDA_ESPERADA02=EL*EAD02;
    /*****/

    z=probnorm(A1)*100;
    z1=probit(z/100);
    zz=probit(PD_IRB);
    zzz=probit(0.999);
    zzzz=probit(1-0.999);
    zzzzz=probit(0.5);

```

```

      zzzzzz=(zzz+zzzz)/2;
run;
title 'Atacado';
proc sql;
  select distinct z ,z1 ,a1 ,pd_irb ,zz ,zzz ,zzzz ,zzzzz ,zzzzzz
  from WORK.IRB_ATACADO_CALC;
quit;
proc sql;
  select sum(EXPOSICAO) as EXPOSICAO format commax25.
        ,sum(EXPOSICAO_AJUSTADA) as EXPOSICAO_AJUSTADA format commax25.
        ,sum(EPR) as EPR format commax25.
        ,sum(PEPR) as PEPR format commax25.
        ,sum(PEPR_IRB) as PEPR_IRB format commax25.
        ,sum(PEPR_IRB02) as PEPR_IRB02 format commax25.
  from WORK.IRB_ATACADO_CALC;
quit;
title;
/*****
/***** PARTICIPAÇÕES SOCIETÁRIAS - CALCULO DO CAPITAL IRB
/*****
/*TÍTULO II - DAS ABORDAGENS IRB / CAPÍTULO II - DAS CATEGORIAS DE EXPOSIÇÃO
*/
/*Seção I - Da especificação das categoria / Art. 7º
*/
/*IV - "participações societárias", abrangendo a aquisição de ações ou quotas de empresas,
com */
/*      exceção de instrumentos de capital emitidos por instituições financeiras e
demais */
/*      instituições autorizadas a funcionar pelo Banco Central do Brasil;*/
data WORK.IRB_PARTICIPACOES_CALC;
  set WORK.IRB_PARTICIPACOES;
  /*****/
/*      LGD=0.9;*/
  /*****/
  if STATUS eq 0 then
  DO; /*1*/
    MATURITY=5;

    TX_50= (1 -exp(-50 *PD_IRB)) / (1 -exp(-50));

    B=(0.11852 -0.05478 *log(PD_IRB)) **2;

    AJUSTE_M=(1 +(MATURITY -2.5) *B) / (1 -1.5 *B);

    R=(1 +0.25 *Fator_ICAAP_3581) *(0.12 *TX_50 +0.24 *(1 -TX_50));

    A1=(probit(PD_IRB) +sqrt(R) *probit(0.999)) / sqrt(1 -R);

    K0=(LGD *probnorm(A1) -LGD *PD_IRB) *AJUSTE_M;

    /*****/
    if Tipo_Relac_Part_Societarias then
    DO;
      K=1.5 *K0;
    END; else
    DO;
      K=K0;
    END;
    if K gt 1 then K=1;
  /*      if Tipo_Relac_Part_Societarias then K1=min(1 ,1.5 *K0); else K1=K0;*/
  /*****/
  EL=0; /* A EL só assume valor diferente de 0 nos casos abaixo;
  /* E S T R E L A - AJUSTE NO FATOR K */
  K_=K /&F.;

  EL_=PD_IRB*LGD /&F.;

  if Tipo_Part_Societarias eq 1 /*Art57/58/ I*/ then
  DO;

```

```

        if K_+EL_ lt 1 then do; K_ = 1; K= K_ *%F.; end; else EL= PD_IRB *LGD;
      END; else
        if Tipo_Part_Societarias eq 2 /*Art57/$8/ II*/ then
          DO;
            if K_+EL_ lt 1 then do; K_ = 1; K= K_ *%F.; end; else EL= PD_IRB *LGD;
          END; else
            if Tipo_Part_Societarias eq 3 /*Art57/$8/ III*/ then
              DO;
                if K_+EL_ lt 2 then do; K_ = 2; K= K_ *%F.; end; else EL= PD_IRB *LGD;
              END; else
                if Tipo_Part_Societarias eq 4 /*Art57/$8/ IV*/ then
                  DO;
                    if K_+EL_ lt 3 then do; K_ = 3; K= K_ *%F.; end; else EL= PD_IRB *LGD;
                  END;
                /* E S T R E L A - AJUSTE NO FATOR K */
                /*****/
            END; /*1*/ else
            if STATUS eq 1 then
            DO; /*2*/
              K=0;
              EL=BEST_LGD;
            END; /*2*/
            /*****/
            PEPR_IRB=K*EAD;

            PERDA_ESPERADA=EL*EAD;
            /*****/
run;
title 'Participações Societárias';
proc sql;
  select sum(EXPOSICAO) as EXPOSICAO format commax25.
        ,sum(EXPOSICAO_AJUSTADA) as EXPOSICAO_AJUSTADA format commax25.
        ,sum(EPR) as EPR format commax25.
        ,sum(PEPR) as PEPR format commax25.
        ,sum(PEPR_IRB) as PEPR_IRB_01 format commax25.
  from WORK.IRB_PARTICIPACOES_CALC;
quit;
title;
/*****/
/***** FINANCIAMENTOS ESPECIALIZADOS - CALCULO DO CAPITAL IRB *****/
/*****/
data WORK.IRB_FIN_ESPECIALIZADOS_CALC;
  set WORK.IRB_FIN_ESPECIALIZADOS;
  /*****/
  /* if SUBCLASSE_IRB eq 'SME' then Faturamento_SME= 3600000; else*/
  /* if SUBCLASSE_IRB eq 'Atacado' then Faturamento_SME= 48600000/2; else*/
  /* if SUBCLASSE_IRB eq 'Bancos' then Faturamento_SME= 48600000*2;*/
  /* if not missing(Faturamento_SME) then FAT_SME= Faturamento_SME/1000000;*/
  /* if FAT_SME le 3.6 then LGD= 0.85; else*/
  /* if FAT_SME ge 48.6 then LGD= 0.70; else /*if 3.6 lt FAT_SME lt 48.6 then */
  /* LGD= 0.70 +0.15 *(1 -(FAT_SME -3.6) /45);*/
  /*****/
  /* LGD=0.7;*/
  /*****/
  if missing(PD_IRB)
  then DO; /*0*/
    if Subclasse_IRB eq 'HVCRE'
    then DO; /*01*/
      *Utiliza os Ps qdo não tem PD;
      P= 0.95*(Rating_HVCRE=1) +1.20 *(Rating_HVCRE=2) +1.40*(Rating_HVCRE=3)+2.50
      *(Rating_HVCRE=4) +0.00 *(Rating_HVCRE=5);
      Q= 0.05*(Rating_HVCRE=1) +0.05 *(Rating_HVCRE=2) +0.35 *(Rating_HVCRE=3)
      +1.00 *(Rating_HVCRE=4) +6.25 *(Rating_HVCRE=5);
    END; /*01*/ else
    if Subclasse_IRB in ('FinancCommodities' , 'FinancObjEspec' , 'FinancProjeto' , 'IPRE')
    then DO; /*02*/
      P= 0.70*(Rating_Emprest_Espec=1) +0.90 *(Rating_Emprest_Espec=2)
      +1.15 *(Rating_Emprest_Espec=3) +2.50 *(Rating_Emprest_Espec=4)
      +0.00 *(Rating_Emprest_Espec=5);
    end;
  end;

```

```

Q=      0.05  *(Rating_Emprest_Espec=1)      +0.10  *(Rating_Emprest_Espec=2)
+0.35  *(Rating_Emprest_Espec=3)      +1.00  *(Rating_Emprest_Espec=4)
+6.25  *(Rating_Emprest_Espec=5);
END; /*02*/
R=      0;
K=      P      *F.;
EL=Q      *F.;
END; /*0*/
else
/*****/
if STATUS eq 0 then
DO; /*1*/ TX_50= (1 -exp(-50 *PD_IRB)) / (1 -exp(-50));
B=(0.11852 -0.05478 *log(PD_IRB)) **2;
AJUSTE_M_01=(1 +(MATURITY -2.5) *B) / (1 -1.5 *B);
if Subclasse_IRB eq 'HVCRE' then
DO; /*11*/
*Utiliza o R qdo tem PD;
R=      0.12 *TX_50 +0.30 *(1 -TX_50);
END; /*11*/ else
if Subclasse_IRB in ('FinancCommodities' , 'FinancObjEspec' , 'FinancProjeto'
, 'IPRE') then
DO;
R=(1 +0.25 *Fator_ICAAP_3581) *(0.12 *TX_50 +0.24 *(1 -TX_50));
END;
A1=(probit(PD_IRB) +sqrt(R) *probit(0.999)) / sqrt(1 -R);
K=(LGD *probnorm(A1) -LGD *PD_IRB) *AJUSTE_M;
EL=      PD_IRB*LGD;
END; /*1*/ else
if STATUS eq 1 then
DO; /*2*/
K=0;
EL=BEST_LGD;
END; /*2*/
/*****/
PEPR_IRB=K*EAD;

PERDA_ESPERADA=EL*EAD;
/*****/
run;
title 'Financiamentos Especializados';
proc sql;
select sum(EXPOSICAO) as EXPOSICAO format commax25.
, sum(EXPOSICAO_AJUSTADA) as EXPOSICAO_AJUSTADA format commax25.
, sum(EPR) as EPR format commax25.
, sum(PEPR) as PEPR format commax25.
, sum(PEPR_IRB) as PEPR_IRB_01 format commax25.
from WORK.IRB_FIN_ESPECIALIZADOS_CALC;
quit;
title;
/*****/
/*****/

```