



Universidade de Brasília
Faculdade de Administração, Contabilidade e
Economia
Programa de Pós-Graduação em Administração
Área de concentração: Finanças e Métodos
Quantitativos

FELIPE VILHENA ANTUNES AMARAL

Otimização de Portfólios com Objetivos Financeiros e
Socioambientais: uma Proposta Metodológica para
Gestão de Carteiras de Investimentos de Impacto

Brasília, 2022.

FELIPE VILHENA ANTUNES AMARAL

**Otimização de Portfólios com Objetivos Financeiros e Socioambientais:
uma Proposta Metodológica para Gestão de Carteiras de Investimentos
de Impacto**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Ricardo Gartner

FELIPE VILHENA ANTUNES AMARAL

**Otimização de Portfólios com Objetivos Financeiros e Socioambientais:
uma Proposta Metodológica para Gestão de Carteiras de Investimentos
de Impacto**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Administração.

Aprovada em 26 de agosto de 2022.

Banca Examinadora:

Professor Dr. Ivan Ricardo Gartner
Orientador – Universidade de Brasília

Professor Dr. Philipp Ehrl
Examinador Externo – Universidade
Católica de Brasília

Professor Dr. Tito Belchior Silva Moreira
Examinador Externo – Universidade
Católica de Brasília

Professor Dr. Giovany de Jesus Malcher Figueiredo
Examinador Interno – Universidade
de Brasília

Brasília, 2022.

À minha esposa e aos meus filhos, com amor e gratidão
pelo carinho, pela companhia e pelo apoio ao longo do período de
elaboração deste trabalho.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela oportunidade de me dedicar à pesquisa de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGA) da Universidade de Brasília (UNB). Especialmente, gostaria de agradecer a todos os professores da Universidade de Brasília que compartilharam um pouco de seu conhecimento comigo ao longo desse percurso.

Agradeço ao Professor Ivan Ricardo Gartner pelas sessões de orientação que contribuíram sobremaneira para a qualidade deste trabalho. De toda forma, ressalvo que eventuais equívocos e omissões são de minha inteira responsabilidade.

Agradeço ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) pelo incentivo à capacitação de seus empregados e por seu empenho na promoção da transparência dos impactos de sua atuação, tendo em vista sua missão de desenvolvimento econômico e social de nosso país. Não poderia deixar de ressaltar a qualidade científica destacada da equipe responsável pelas pesquisas de monitoramento e avaliação de impacto da instituição. Em especial, agradeço aos empregados Daniel Grimaldi e Fábio Roitman pelo suporte para a realização do estudo de impacto do BNDES.

Meu muito obrigado aos meus colegas do PPGA pelo apoio mútuo e pela amizade durante o tempo que compartilhamos essa mesma fase de nossas vidas.

Agradeço aos meus pais, que, com muito sacrifício, investiram em minha formação acadêmica e pelo ensino de valores éticos e morais que contribuíram para a formação de meu caráter.

Agradeço à minha amada esposa, Christina, e aos meus queridos filhos, Pedro e Hugo, pela compreensão pelos momentos em que precisei ficar ausente para me dedicar a esta pesquisa, mas, sobretudo, pela felicidade de partilharmos desta vida juntos.

“In our reasonings concerning matter of fact, there are all imaginable degrees of assurance, from the highest certainty to the lowest species of moral evidence. A wise man, therefore, proportions his belief to the evidence.”

David Hume

Resumo

O resultado básico deste estudo foi a proposição e o teste de uma nova metodologia para a gestão de investimentos feitos com a intenção de gerar retorno financeiro e impacto socioambiental, trazendo como contribuição a melhoria da eficiência alocativa para a gestão dessa classe de ativos ao incorporar em seu ferramental analítico os benefícios da diversificação, já conhecidos pelos gestores de carteiras tradicionais, bem como a redução de riscos pelo efeito aprendizagem. Assim, o objetivo do presente trabalho foi a busca por uma metodologia para a seleção de portfólios de investimentos de impacto, na qual se investiga formas de uso de evidências científicas disponíveis e dos efeitos combinados decorrentes das interdependências dos resultados gerados por cada uma das alternativas de investimento. Tendo em vista a escassez de estudos do gênero na literatura e a baixa utilização de métodos rigorosos para implementação de investimentos de impacto, este estudo, portanto, supre uma lacuna para o desenvolvimento da temática das finanças sustentáveis, cuja relevância vem ganhando destaque ao longo das últimas décadas, bem como ilustra a possibilidade de aplicação efetiva da metodologia para impactar positivamente as decisões gerenciais dessa área. A metodologia desenvolvida foi fundamentada em um modelo de otimização multiobjetivo e multiperíodo para a aferição da fronteira eficiente e seleção do portfólio em acordo com as preferências do tomador de decisão. Além disso, este estudo investigou um procedimento, baseado no uso de algoritmos bayesianos, de meta-análise, para o tratamento e a consolidação das estimativas de impacto socioambientais dos investimentos, previamente obtidas por metodologias experimentais, quase-experimentais ou opiniões de especialistas. O modelo proposto foi aplicado na seleção de portfólios de impacto no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com o uso de algoritmos genéticos multiobjetivos, a partir de estimações de impacto calculadas por métodos quase-experimentais. Concluiu-se que, segundo os objetivos propostos, as alocações efetivas da instituição no período amostral são Pareto eficientes. Contudo, o estudo identificou mudanças alocativas que possuem potencial para maximizar o impacto na geração de empregos e o aumento do faturamento das empresas, dimensões nas quais foram encontradas robustas evidências empíricas resultantes do apoio financeiro do BNDES.

Palavras-chave: decisões de investimentos, investimento de impacto, finanças sustentáveis, análise socioambiental, eficiência alocativa, otimização multiobjetivo.

Classificação JEL: D61, D81, G11, H4, O22, C61

Abstract

The main result of this study was the proposal and test of a new methodology for the management of investments made with the purpose of generating financial returns and socio-environmental impact, bringing as a contribution the improvement of allocative efficiency for the management of this asset class by incorporating the benefits of diversification in its analytical tool, a practice already known by traditional portfolio managers, as well as the reduction of risks due to the learning effect. Thus, the objective of the present work was the proposal for a new methodology for impact investment portfolios selection. This methodology investigates ways to use available scientific evidence and it explores the effects resulting from the interdependencies of the combined results generated by each of the investment alternatives. Due to the scarcity of similar studies in the literature and the rare use of rigorous methods for implementing impact investments, this study, therefore, fills a gap to develop the theme of sustainable finance, whose relevance has been gaining importance over the last decades, as well as it illustrates the application of the methodology in order to positively impact management decisions in this area. The methodology developed was based on a multiobjective and multiperiod optimization model to measure the efficient frontier and select the portfolio according to the decision maker's preferences. In addition, this study investigated a methodology, relying on the use of Bayesian meta-analysis algorithms, for the treatment and consolidation of the social and environmental impact estimates of investments, that were previously obtained by experimental and quasi-experimental methods or assessed by an expert's opinion. The proposed model was applied in the selection of impact portfolios at the BNDES, using multi-objective genetic algorithms, based on impact estimates calculated by quasi-experimental methods. It was concluded that, according to the objectives pursued, the institution's effective allocations in the sample period are Pareto efficient. However, the study identified allocative changes that have the potential to maximize the impact on job creation and increase company revenues, dimensions in which robust empirical evidence resulting from BNDES financial support was found.

Keywords: investment decisions, impact investing, sustainable finance, socio-environmental analysis, allocative efficiency, multi-objective optimization.

JEL Codes: D61, D81, G11, H4, O22, C61

Lista de ilustrações

Figura 1	<i>Três eixos temáticos de pesquisa abordados no estudo</i>	<i>23</i>
Figura 2	<i>Possíveis relações causais entre um conjunto de variáveis.....</i>	<i>61</i>
Figura 3	<i>Número de avaliações de impacto, por ano de divulgação e vínculo com o BNDES (2007-2019).....</i>	<i>78</i>
Figura 4	<i>Proporção de avaliações que encontram impacto positivo, por tipo de apoio e dimensão de impacto.....</i>	<i>79</i>
Figura 5	<i>Etapas para a seleção de um portfólio de investimentos de impacto</i>	<i>81</i>
Figura 6	<i>Risco e retorno financeiro (em % a.a.) em função da alocação entre as alternativas de investimento</i>	<i>112</i>
Figura 7	<i>Impacto estimado na renda familiar (em desvios-padrão) e erro-padrão da estimativa em função da alocação entre as alternativas de investimento.....</i>	<i>113</i>
Figura 8	<i>Objetivos do investidor em função da alocação percentual no programa de microcrédito urbano</i>	<i>114</i>
Figura 9	<i>Variação da função objetivo Z (impacto em desvios-padrão) em função da variação no parâmetro retorno financeiro do excedente orçamentário, r.....</i>	<i>115</i>
Figura 10	<i>Variação da alocação do portfólio ótimo em função da variação no parâmetro retorno financeiro do excedente orçamentário, r.....</i>	<i>116</i>
Figura 11	<i>Variação da função objetivo Z (impacto em desvios-padrão) em função da variação no parâmetro percentual mínimo do projeto-piloto, k.....</i>	<i>117</i>
Figura 12	<i>Variação da alocação do portfólio ótimo em função da variação no parâmetro percentual mínimo do projeto-piloto, k.....</i>	<i>117</i>
Figura 13	<i>Variação da função objetivo Z (impacto em desvios-padrão) em função da variação no parâmetro redução de risco com realização do projeto-piloto, α</i>	<i>118</i>
Figura 14	<i>Variação da alocação do portfólio ótimo em função da variação no parâmetro redução de risco com realização do projeto-piloto, α.....</i>	<i>119</i>
Figura 15	<i>Variação da função objetivo Z (impacto em desvios-padrão) em função da variação no parâmetro orçamento de risco, T</i>	<i>120</i>
Figura 16	<i>Variação da alocação do portfólio ótimo em função da variação no parâmetro orçamento de risco, T</i>	<i>120</i>

Figura 17	<i>Variação da função objetivo Z (impacto em desvios-padrão) em função da variação no parâmetro de desconto da postergação, γ</i>	<i>121</i>
Figura 18	<i>Variação da alocação do portfólio ótimo em função da variação no parâmetro de desconto da postergação, γ</i>	<i>121</i>
Figura 19	<i>Impacto estimado do crédito na produtividade, segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise</i>	<i>128</i>
Figura 20	<i>Impacto estimado do crédito no emprego, segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise</i>	<i>130</i>
Figura 21	<i>Impacto estimado do crédito no faturamento, segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise</i>	<i>132</i>
Figura 22	<i>Impacto estimado do crédito no resultado, segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise</i>	<i>134</i>
Figura 23	<i>Distribuição do p-score do grupo controle e grupo de tratamento antes e após o procedimento do “trimming”</i>	<i>136</i>
Figura 24	<i>Estimativas consolidadas de impacto e risco dos créditos por produto e setor nas variáveis produtividade, emprego, faturamento e resultado, escalonadas pelo inverso do ticket médio das operações de crédito</i>	<i>141</i>
Figura 25	<i>Fronteira eficiente estimada para o ano de 2017 para todos os pares dos oito objetivos na função de otimização</i>	<i>146</i>
Figura 26	<i>Distribuição do valor orçamentário alocado por produto/setor dos 1.000 pontos da fronteira eficiente do ano de 2017</i>	<i>148</i>
Figura 27	<i>Evolução temporal da melhor alocação considerando apenas uma única função objetivo isoladamente</i>	<i>149</i>
Figura 28	<i>Funções objetivo escalonadas para a alocação efetiva do ano de 2017, e três alocações da fronteira eficiente selecionadas pelo método dos pseudopesos</i>	<i>151</i>
Figura 29	<i>Distribuição orçamentária para a alocação efetiva do ano de 2017, e três alocações da fronteira eficiente selecionadas pelo método dos pseudopesos</i>	<i>152</i>

Lista de tabelas

Tabela 1	<i>Definições de “investimento de impacto” utilizadas por diferentes pesquisadores</i>	26
Tabela 2	<i>Motivos do investimento e expectativas de retorno</i>	29
Tabela 3	<i>Instrumentos de financiamento para empreendimentos sociais</i>	36
Tabela 4	<i>Número de grafos causais que podem ser construídos a partir de um número N de variáveis.....</i>	62
Tabela 5	<i>Diferenças entre a teoria de carteiras tradicional e a gestão de portfólios de impacto</i>	71
Tabela 6	<i>Grau de confiabilidade das estimativas de impacto em função da fonte de informação e do tipo de extrapolação</i>	84
Tabela 7	<i>Parâmetros do modelo de otimização no Cenário Base.....</i>	88
Tabela 8	<i>Descrição das variáveis nas bases de dados</i>	96
Tabela 9	<i>Estatísticas descritivas das variáveis dos bancos de dados da Serasa e RAIS.....</i>	98
Tabela 10	<i>Estimativas de impacto (em desvio-padrão) dos programas creditícios na renda média das famílias que contrairão o financiamento, após ajuste da qualidade da fonte de informação.....</i>	110
Tabela 11	<i>Consolidação das estimativas de impacto na renda média (em desvio-padrão) por programa creditício</i>	110
Tabela 12	<i>Número de operações de crédito.....</i>	122
Tabela 13	<i>Volume total financiado (R\$ milhões)</i>	123
Tabela 14	<i>Ticket médio por operação de crédito (R\$).....</i>	123
Tabela 15	<i>Alocação orçamentária por produto e setor (%)</i>	124
Tabela 16	<i>Número de operações de crédito com informações nas bases Serasa e RAIS.....</i>	124
Tabela 17	<i>Impacto estimado do crédito na produtividade (em R\$ mil/empregado), segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise</i>	127
Tabela 18	<i>Impacto estimado do crédito no emprego, segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise</i>	129

Tabela 19	<i>Impacto estimado do crédito no faturamento (em R\$ milhões), segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise.....</i>	131
Tabela 20	<i>Impacto estimado do crédito no resultado (em R\$ milhões), segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise.....</i>	133
Tabela 21	<i>Modelo de p-score para estimação da probabilidade de receber o apoio do BNDES por meio do produto Finame no setor industrial no ano de 2017.....</i>	135
Tabela 22	<i>Geração estimada de emprego em 2018 por financiamento do BNDES obtido em 2017 por meio do produto Finame no setor industrial.....</i>	137
Tabela 23	<i>Estimativas consolidadas de impacto dos créditos por produto e setor nas variáveis produtividade (R\$), emprego (unid.), faturamento (R\$) e resultado (R\$).....</i>	138
Tabela 24	<i>Erro-padrão das estimativas consolidadas de impactos do crédito por produto e setor nas variáveis produtividade (R\$), emprego (unid.), faturamento (R\$) e resultado (R\$).....</i>	139
Tabela 25	<i>Análise da condição de dominância dos portfólios da fronteira eficiente e da alocação efetiva.....</i>	143
Tabela 26	<i>Pseudopesos utilizados para representação da preferência decisória do tomador de decisão.....</i>	150

Lista de siglas

AIC	<i>Akaike Information Criterion</i>
ASG	Integração ambiental, social e governança
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CINI	Comitê de Investimentos e Negócios de Impacto
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
CPR	<i>Common-Pool Resources</i>
DD	Método de diferenças-em-diferenças
DIME	<i>Development Impact Evaluation Initiative</i>
ENINI	Estratégia Nacional de Investimentos e Negócios de Impacto
EUA	Estados Unidos da América
FBCF	Formação Bruta de Capital Fixo
GIIN	<i>Global Impact Investing Network</i>
J-PAL	Laboratório de Ação contra a Pobreza Abdul Latif Jameel, sigla do inglês <i>The Abdul Latif Jameel Poverty Action Lab</i>
MARVIm	Modelo Automatizado em R para Verificação de Impacto
MCDA	<i>Multiple Criteria Decision Analysis</i>
MPMEs	Micro, pequenas e médias empresas
NSGA	<i>Non-dominated Sorting Genetic Algorithm</i>
NSGA-II	<i>Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II</i>
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OLS	Mínimos quadrados ordinários, sigla do inglês <i>Ordinary Least Squares</i>
ONGs	Organizações não governamentais

PIB	Produto Interno Bruto
PIR	Princípios para o Investimento Responsável
Progresa	<i>Programa de Educacion, Salud y Alimentacion</i>
PSI	Programa de Sustentação do Investimento
PSM	Escore de propensão, sigla do inglês <i>Propensity Score Matching</i>
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RCT	Experimento randomizado controlado, sigla do inglês <i>Randomized Controlled Trials</i>
SIB	<i>Social Impact Bond</i>
SIEF	<i>Strategic Impact Evaluation Fund</i>
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
TLP	Taxa de Longo Prazo
TM	Teoria da mudança
WLS	Mínimos quadrados ponderados, sigla do inglês <i>Weighted Least Squares</i>

Sumário

Capítulo 1 Introdução	17
1.1 Tema e problema.....	17
1.2 Justificativa e contribuições	19
1.3 Objetivos.....	21
1.4 Limitações.....	22
1.5 Estrutura e organização.....	22
Capítulo 2 Referencial teórico.....	25
2.1 Finanças sustentáveis e investimentos de impacto.....	25
2.1.1 Terminologias e conceitos	25
2.1.2 Motivações e objetivos dos investimentos sociais	30
2.1.3 Instrumentos financeiros e outros veículos de investimento.....	35
2.1.4 Tipos de investidores	37
2.1.5 Tamanho e características geográficas do setor.....	41
2.2 Gestão do impacto.....	42
2.2.1 Técnicas de aferição do impacto	42
2.2.2 Fontes de incerteza na mensuração do impacto	49
2.2.3 Métodos de inferência e quantificação da incerteza.....	51
2.3 Integração da gestão financeira e gestão de impacto	63
2.3.1 Otimização multiobjetivo.....	63
2.3.2 Formação de carteiras com múltiplos objetivos.....	68
2.4 Desenvolvimento econômico e o BNDES	72
2.4.1 Teorias clássicas e contemporâneas do desenvolvimento	72

2.4.2 O BNDES: histórico e formas de atuação.....	75
2.4.3 O impacto socioeconômico do BNDES	77
Capítulo 3 Metodologia	81
3.1 Etapas de seleção de portfólios de impacto	81
3.2 Estudos de caso para aplicação do protocolo de seleção de portfólios de impacto	83
3.2.1 Seleção de portfólio de impacto a partir de diferentes fontes de informação preliminares de impacto (Estudo de caso hipotético 1).....	83
3.2.2 Seleção de portfólio de impacto com decisões intertemporais (Estudo de caso hipotético 2)	86
3.2.3 Seleção de portfólio de impacto no BNDES	93
Capítulo 4 Resultados	109
4.1 Seleção de portfólio de impacto a partir de diferentes fontes de informação preliminares de impacto (Estudo de caso hipotético 1)	109
4.2 Seleção de portfólios de impacto com decisões intertemporais (Estudo de caso hipotético 2).....	115
4.3 Seleção de portfólio de impacto no BNDES.....	122
4.3.1 Base de dados	122
4.3.2 Resultados da estimação do impacto.....	125
4.3.3 Fronteiras eficientes	142
Capítulo 5 Conclusão	153
Referências Bibliográficas	155

Capítulo 1 Introdução

1.1 Tema e problema

As questões conceituais relacionadas à gestão de portfólios formados por Investimentos de Impacto constituem o escopo de pesquisa do presente trabalho. O foco da análise, portanto, se dá mais no resultado conjunto entre os ativos da carteira do que na gestão de um investimento singular propriamente dito. Para esse fim, uma metodologia para a construção de portfólios será proposta e analisada.

Os investimentos de impacto buscam atender aos anseios de indivíduos, corporações e governos que desejam contribuir para o bem-estar da sociedade por meio de suas alocações de recursos financeiros.

Os investimentos de impacto estão inseridos nas práticas de integração de fatores ambientais, sociais e de governança (ASG) e de investimentos socialmente responsáveis, temas que têm ganhado importância e atenção crescentes ao longo dos últimos anos. Todas essas abordagens compartilham da ideia de que os investidores têm um papel vital no esforço global pela busca de um desenvolvimento sustentável ao garantirem uma alocação ética para o capital (Widyawati, 2020).

Uma característica peculiar dos investimentos de impacto, e que os distingue em relação às práticas de ASG, é o requerimento de uso de evidências rigorosas de impacto para mensurar os efeitos do investimento nos indicadores socioambientais almejados (Wood et al., 2013). De fato, o estudo abrangente realizado por Friede (2019) reportou que a baixa qualidade dos dados disponíveis está entre os principais fatores que prejudicam o engajamento nas práticas de ASG por parte dos investidores.

O paradigma da mensuração do impacto presente nos investimentos de impacto vai ao encontro da crescente tendência no campo do desenvolvimento econômico pelo uso de evidências rigorosas para avaliação de políticas (Gueron, 2017; Angrist & Pischke, 2010). Entende-se aqui como busca de evidências rigorosas uma metodologia de

evidenciação calcada na comparação entre um grupo afetado pela política (grupo de tratamento) e o grupo que não foi afetado (grupo de controle), similar ao padrão adotado na pesquisa médica (Banerjee et al., 2020; Higgins & Green, 2008). De fato, a consagração recente dos economistas Abhijit Banerjee, Esther Duflo e Michael Kremer, com o Prêmio Nobel de Economia de 2019, e David Card, Joshua Angrist e Guido Imbens, com o Prêmio Nobel de Economia de 2021, enfatizou que o método experimental e a busca de evidências empíricas robustas são hoje o padrão dominante na pesquisa em desenvolvimento econômico (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2019, 2021).

No entanto, a gestão de portfólios de investimentos de impacto é algo desafiador e envolve, mesmo que indiretamente, uma tentativa de resposta às seguintes questões:

- i) Como estimar o impacto socioambiental esperado de um determinado investimento?
- ii) Como mensurar o risco de que esse impacto não venha a ocorrer conforme o esperado?
- iii) Como escolher entre os diversos tipos e possibilidades de mensuração de impactos socioambientais?
- iv) Como definir a taxa de sacrifício entre o retorno financeiro e os impactos socioambientais?
- v) Como formar um portfólio que maximize a utilidade esperada de um investidor?

Vários arcabouços teóricos serão explorados neste trabalho para elucidar as respostas possíveis para cada uma das questões levantadas acima. Nesse sentido, em relação às duas primeiras questões, as técnicas de mensuração de impactos de programas sociais, discutidas por Gertler et al. (2017) e Glennerster e Takavarasha (2013), serão apresentadas. Devido ao problema da impossibilidade de generalização das estimativas (Banerjee, Banerji et al., 2017; Athey & Imbens, 2017), será discutido como a estatística bayesiana pode ser útil para a transportabilidade dos resultados de estudos de impacto para o contexto dos investimentos em análise.

Já em relação à última sequência de perguntas, o problema principal a ser enfrentado reside na formatação e na busca das preferências do investidor, aqui entendido, em sentido amplo, como aquele responsável pela decisão final da carteira, seja ele um investidor tradicional, um governante ou um grupo organizado da

sociedade em geral. Neste trabalho, a otimização multiobjetivo fornece o arcabouço teórico escolhido para endereçar as questões dessa parte. Em especial, será feito um paralelo entre a otimização tradicional de carteiras do tipo média-variância, proposta por Markowitz (1952), e a otimização de carteiras com múltiplos objetivos. Cabe, ainda, salientar que a modelagem do processo decisório também se relaciona à análise de custo-benefício, como discutido por Mishan e Quad (2007).

A aplicabilidade da metodologia proposta neste trabalho é bastante ampla e precisa ser moldada em função do problema específico que se pretende estudar. Nesse contexto, serão analisados estudos de casos com nível crescente de complexidade a fim de elucidar como a seleção de portfólios de impacto pode ser feita na prática. Em particular, propõe-se explorar a aplicação da proposta metodológica de seleção de portfólios com dados reais da carteira de operações de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), uma instituição que figura entre os maiores investidores de projetos de impacto socioeconômico do país.

1.2 Justificativa e contribuições

O trabalho se justifica por abordar um tema de interesse crescente tanto do ponto de vista acadêmico quanto do prático. Pelo lado acadêmico, o trabalho visa suprir uma lacuna de pesquisa na temática de gestão de carteiras de investimentos de impacto e pode estimular o desenvolvimento de novas pesquisas sobre o assunto.

A gestão tradicional de carteiras de investimentos para o balanceamento entre os retornos e riscos financeiros é, atualmente, um ramo bem consolidado de pesquisas científicas (Elton & Gruber, 1997). Há, de fato, muitos estudos que avaliam os efeitos da prática de ASG nos retornos financeiros e na diversificação do portfólio (Friede et al., 2015; Bello, 2005; Halbritter & Dorfleitner, 2015). Contudo, há uma lacuna literária acerca de gestão de investimentos quando os objetivos dos investidores se estendem além da ótica financeira. Em particular, na revisão de literatura realizada, não foram encontrados estudos que apresentam um arcabouço metodológico matemático para a extensão das técnicas de otimização de carteiras para portfólios com objetivos financeiros e socioambientais.

Já pelo aspecto prático, o trabalho pode ser de interesse dos participantes do mercado, que podem utilizar os resultados para a gestão e comercialização dos

investimentos de impacto. Além disso, como há a busca por externalidades positivas em tais investimentos, a coletividade em geral pode se beneficiar diretamente da eventual melhoria dos resultados alcançados por meio da implementação das técnicas discutidas neste trabalho, contribuindo, portanto, para o desenvolvimento econômico e sustentável das sociedades.

Assim, a contribuição deste trabalho se dá no preenchimento de uma lacuna, tanto do ponto de vista teórico quanto do empírico, para o uso de evidências científicas no desenho e na gestão de portfólios de investimentos de impacto.

Em especial, destaca-se, ainda, que a análise do impacto socioeconômico das operações de crédito do BNDES, um dos maiores fomentadores da atividade econômica do Brasil¹, e a busca por metodologias que promovem a melhoria alocativa orçamentária de seus recursos pode contribuir, em última instância, para a promoção do desenvolvimento econômico e social do país. Vale dizer, que o BNDES é um dos maiores bancos de desenvolvimento do continente americano.

Além disso, o presente trabalho se justifica por trazer uma inovação ao estruturar, em um único protocolo, a utilização de estimativas prévias de impacto para a tomada de decisão, levando em consideração as expectativas de retorno e incertezas relacionadas ao conjunto das alternativas de alocação. Cabe mencionar que esse tipo de abordagem teórica e prática contribui para a diversificação das publicações sobre os investimentos de impacto, uma vez que a revisão bibliométrica realizada por Agrawal e Hockerts (2019) aponta que a maioria da literatura de pesquisa de tais tipos de investimento ainda se concentra em aspectos de definições e terminologias.

Ainda, conforme pontuam Bertrand e Fransoo (2002), há uma oportunidade para que os modelos quantitativos, baseados nos avanços de Pesquisa Operacional das últimas décadas, sejam utilizados para gerar conhecimentos empíricos mais rigorosos em processos operacionais da vida cotidiana, dando lugar a um processo real de construção de teorias.

¹ Para se mensurar o tamanho relativo da instituição, vale pontuar que o patrimônio líquido do BNDES era de 23 bilhões de dólares ao final de 2021, enquanto que o patrimônio líquido do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) estava avaliado em 38 bilhões de dólares no mesmo período.

1.3 Objetivos

Como mencionado, o escopo da pesquisa está relacionado à gestão de portfólios formados por investimentos de impacto. A fim de nortear o desenvolvimento da pesquisa e expressar de forma clara a sua intenção, define-se o seguinte objetivo geral:

Desenvolver um protocolo prático-conceitual para a seleção de carteiras de investimentos com metas financeiras e socioambientais.

Ressalta-se, assim, o aspecto teórico deste trabalho, tendo em vista que a metodologia de gestão de carteiras de investimentos de impacto “em si” é o principal resultado a ser endereçado pelo objetivo geral proposto.

Com o intuito de aprofundar o objeto do trabalho e suas particularidades, mas ainda relacionados diretamente ao objetivo geral, propõe-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

1. apresentar o estado da arte literário acerca da temática dos investimentos de impacto;
2. descrever sobre aspectos conceituais, qualidades e limitações de diversas metodologias para avaliação do impacto socioambiental dos investimentos de impacto;
3. propor uma metodologia para incorporação do uso de evidências na formulação e no acompanhamento de carteiras de investimentos de impacto;
4. discutir os potenciais e as limitações da utilização do paradigma da estatística bayesiana para incorporar a extrapolação de evidências de impacto e, também, do uso de opiniões de especialistas na definição dos parâmetros das variáveis socioambientais no modelo de otimização de carteiras;
5. comparar os aspectos comuns e específicos na gestão de carteiras tradicional e na gestão de carteiras com objetivos socioambientais;
6. desenvolver modelos estáticos e dinâmicos de maximização do retorno e controle de risco nas dimensões financeiras e socioambientais nas carteiras de investimentos de impacto;
7. estudar a aplicabilidade do modelo proposto de seleção de portfólios de

impacto em bancos de desenvolvimento, considerando o BNDES como objeto empírico da aplicação.

1.4 Limitações

A hipótese subjacente do estudo é de que investidores que implementam o protocolo desenvolvido neste trabalho, em média, atingirão melhores resultados do que aqueles investidores que não o aplicam. Contudo, tal hipótese é difícil de ser testada na prática de um ponto de vista rigoroso, pois, idealmente, deveria ser selecionado aleatoriamente um grupo de investidores que o implementaria, enquanto um outro serviria de grupo controle. Mesmo se isso fosse possível, tais grupos deveriam entrar em um acordo prévio para definir metas de retornos financeiros e socioambientais igualitárias, tornando possível a comparação das estratégias alocativas entre eles.

Quanto ao modelo proposto propriamente dito, há de se destacar que algumas outras formulações e metodologias poderiam ser suscitadas, mas não foram por limitação de escopo deste trabalho, como o uso da Programação Estocástica, para lidar com problemas de otimização multietapas (Dupačová, 2002).

1.5 Estrutura e organização

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, incluindo esta introdução, que traz a contextualização do problema, as justificativas e as contribuições do estudo desenvolvido, os objetivos da pesquisa e suas limitações.

No segundo capítulo, o Referencial teórico, discutem-se os vários aspectos relacionados ao objeto de pesquisa. Nesse capítulo, três eixos temáticos são suscitados para fundamentação da abordagem metodológica (Figura 1).

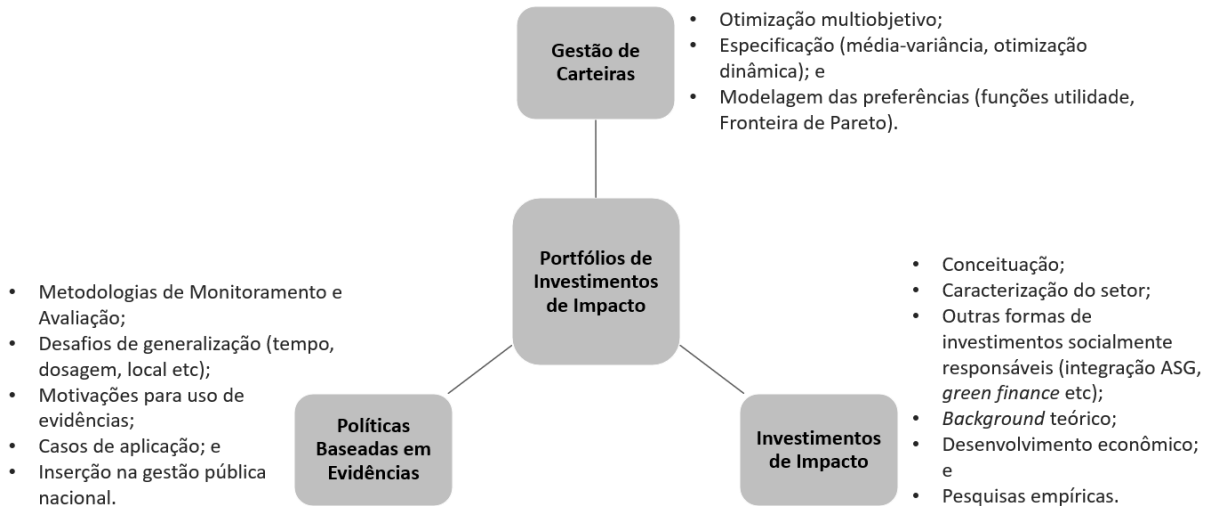


Figura 1

Fonte: Elaboração própria.

Três eixos temáticos de pesquisa abordados no estudo

No primeiro eixo, encontra-se o debate acerca dos investimentos de impacto propriamente ditos, no qual se aborda a caracterização do setor, as terminologias associadas, os tipos de instrumentos financeiros utilizados, as motivações e o perfil dos investidores desse setor. Procura-se, ainda, contextualizar o estudo do impacto nas teorias do desenvolvimento econômico e, em particular, discutir a contribuição do BNDES nesse setor, visto que esse banco foi escolhido como objeto empírico desta tese.

No segundo eixo de pesquisa, investigam-se as bases conceituais e metodológicas para a mensuração e avaliação do impacto de políticas, segundo métodos estatísticos estabelecidos, bem como possíveis métodos de inferência utilizados para extrapolação dos resultados avaliativos para outros contextos. Discute-se, em especial, o uso da estatística bayesiana como solução de contorno para o problema da generalização e para a incorporação de conhecimento *a priori* na modelagem e na quantificação dos ganhos de aprendizagem.

Já o terceiro eixo temático visa contextualizar o objeto da pesquisa sob a ótica de gestão de carteiras. Orbitam nesse espectro analítico, questões relacionadas à Moderna Teoria de Carteiras (Elton & Gruber, 1997) e às metodologias de otimização multiobjetivo, como, por exemplo, as discutidas em Cohon (1978).

No terceiro capítulo, é feita a descrição do protocolo de gestão de investimentos de impacto sugerido neste estudo. Também, discutem-se alguns estudos de caso para a aplicação do protocolo com o intuito de ilustrar a aplicabilidade da metodologia e

discutir seus benefícios potenciais à luz dos resultados.

No quarto capítulo, os resultados dos estudos de caso são analisados explorando-se os *trade-offs* existentes entre os múltiplos objetivos dos problemas e os efeitos das relações matemáticas no portfólio sob a ótica dos ganhos de diversificação, aprendizagem e alavancagem financeira.

Por fim, o quinto, e último, capítulo apresenta as considerações finais do estudo, com um sumário das conclusões, as limitações de pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2 Referencial teórico

2.1 Finanças sustentáveis e investimentos de impacto

A preocupação com fatores socioambientais diretamente ou indiretamente relacionados aos investimentos tem tido um crescimento exponencial ao longo dos últimos anos (Halbritter & Dorfleitner, 2015; Amel-Zadeh & Serafeim, 2018). Não obstante, há várias nuances conceituais que tornam difícil a compreensão dos diversos tipos de abordagens utilizadas no meio acadêmico e profissional para lidar com a temática (Grim & Berkowitz, 2018; Agrawal & Hockerts, 2019).

Nesse sentido, esta seção pretende abordar a posição dos Investimentos de Impacto no contexto das finanças sustentáveis, discorrendo sobre as seguintes dimensões comumente adotadas para a caracterização desse setor: terminologias e conceitos utilizados; motivações para o investimento socioambiental; instrumentos financeiros utilizados; tipos de investidores; e tamanho do setor e sua abrangência geográfica.

Para além da desambiguação terminológica, pressupõe-se aqui que a compreensão da relação entre os Investimento de Impacto e os demais tipos e investimentos socioambientais adotados pelo mercado pode ser salutar, já que é possível conceber uma evolução de investimentos sociais para investimentos de impacto, dado que todas essas formas de investimentos partilham raízes comuns.

2.1.1 Terminologias e conceitos

De acordo com a definição de Wood et al. (2013), os investimentos de impacto são investimentos feitos com a intenção de criar benefícios sociais e ambientais mensuráveis em adição ao retorno financeiro. Segundo o *Global Impact Investing Network* (GIIN) (2019), as instituições de impacto devem aderir a quatro práticas, quais sejam:

- i. explicitar sua intenção de gerar impacto social e ambiental positivo em seus investimentos, em adição ao retorno financeiro: a instituição deve definir precisamente seus objetivos financeiros e sociais, além de mapear toda a cadeia de eventos necessária entre a política empregada e os resultados almejados;
- ii. fazer uso de evidências e dados na escolha e no desenho de seus investimentos: as ações da instituição devem ter por base evidências empíricas e conhecimentos científicos bem estabelecidos. Além disso, os possíveis malefícios decorrentes de suas intervenções devem ser bem compreendidos e explicitados;
- iii. gerenciar os resultados de seus investimentos: as instituições devem monitorar os resultados sociais pretendidos, a fim de realimentar seu processo decisório e mitigar efeitos negativos inesperados dos investimentos. Além disso, a performance efetiva do programa deve ser facilmente disponibilizada para a comunidade; e
- iv. contribuir para o crescimento do setor: as instituições devem aderir aos procedimentos, às convenções e aos padrões de qualidade, a fim de monitorar e avaliar seus investimentos. Adicionalmente, devem compartilhar dados e resultados, positivos ou negativos, com outras instituições interessadas.

Outras definições para investimentos de impacto podem ser observadas na Tabela 1, construída a partir do levantamento realizado por Agrawal e Hockerts (2019), reproduzida a seguir.

Tabela 1

Definições de “investimento de impacto” utilizadas por diferentes pesquisadores

Estudo	Definição
Rizzello et al. (2016); Tekula e Shah (2016); Rizzi et al. (2018)	Apresentam modelos de investimento de impacto que incorporam instituições públicas, investimento privado e investidores de impacto com os resultados.
Roundy et al. (2017)	<i>“Investidores de impacto são aqueles que buscam algum grau de retorno financeiro e social. Se um investidor busca apenas retornos financeiros ou apenas a criação de valor social, então ele não está operando como um investidor de impacto.”</i>
Quinn e Munir (2017)	<i>“Investimento de impacto refere-se ao uso de capital de investimento para ajudar a resolver problemas sociais ou ambientais ao redor do mundo com a expectativa de retornos financeiros. Ao contrário de investimento ético</i>

Estudo	Definição
	<i>ou investimento socialmente responsável, que se concentram em evitar desembolsos para os setores de álcool, tabaco, armas de fogo, permitindo, por outro lado, investir em uma gama de empresas e atividades que não prejudicam a sociedade, os investidores de impacto posicionam-se como tendo uma abordagem pró-ativa para identificar ativamente as empresas com a intenção de conseguir um retorno financeiro e criar um impacto social ou ambiental.”</i>
Glänzel e Scheuerle (2016)	<i>“Impacto social e ecológico mensurável como objetivos dominantes, com potencial para um lado financeiro positivo.”</i>
Weber (2016)	As definições de investimento de impacto são baseadas em dois princípios comuns: 1. O princípio do valor combinado, que afirma que os produtos e serviços de finanças sociais podem e devem alcançar retornos financeiros e sociais (impactos sociais positivos). 2. O princípio do retorno financeiro sustentável, garantindo a viabilidade financeira de longo prazo das instituições de finanças sociais.
Tekula e Shah (2016)	<i>“Investimento de impacto é um financiamento de propósito duplo: a busca de benefício social junto com o lucro financeiro.”</i>
Daggers e Nicholls (2016)	<i>“Investimento de impacto social” como um termo abrangente para se referir a “Investimento social” e “Investimento de impacto”. Uma definição geral de investimentos de impacto social é: “investimentos em organizações que visam deliberadamente criar valor social ou ambiental (e medi-lo), onde o principal é reembolsado, possivelmente com retorno.”</i>
Rajan et al. (2014)	<i>“Os investimentos em capital de risco social são tipicamente caracterizados por investimentos em empresas em estágio inicial e que atendem pessoas na base da pirâmide social. Tais investidores têm alta tolerância a risco e um horizonte de tempo mais longo para investimentos em comparação com investimentos tradicionais de capital de risco. Os investidores de capital de risco social dão igual importância aos retornos financeiros e sociais.”</i>
GIIN (2013)	<i>“Investimentos de impacto são os investimentos feitos em empresas, organizações e fundos com a intenção de gerar impacto socioambiental mensurável, bem como retorno financeiro. Eles podem ser feitos em mercados emergentes e desenvolvidos e visar uma gama de retornos abaixo da taxa de mercado, dependendo das circunstâncias.”</i>
Jackson (2013b)	<i>“Mobilização de capital para investimentos destinados a criar impacto social positivo além do retorno financeiro. Dois componentes-chave dessa definição são, primeiro, a intenção do investidor de atingir tais impactos e, segundo, evidências tangíveis dos próprios impactos. Outra característica é a existência de uma teoria da mudança. O investimento de impacto deve levar em conta a teoria da mudança.”</i>
Hebb (2013)	<i>“O investimento de impacto é um subconjunto do investimento responsável. Neste tipo de investimento o investidor investe intencionalmente para obter um impacto social e ambiental positivo, além de retorno financeiro.”</i>
Moore et al. (2012)	<i>“As finanças sociais são mais do que apenas o fluxo de dinheiro para projetos sociais ou ambientais. É concebido como um ethos sobre a forma como o dinheiro é usado. As finanças sociais podem ser vistas como o discurso em torno de tais fluxos que se desenvolve em termos concretos nas novas instituições de oferta, intermediação e demanda.”</i>
Battilana et al. (2012)	São investimentos direcionados a investidores que se sentem confortáveis com os modelos híbridos para criação de valor social e receita comercial.

Estudo	Definição
Rangan et al. (2011)	<i>“A definição comumente aceita para investimento de impacto é um investimento que cria benefícios sociais ou ambientais ao mesmo tempo que fornece um retorno do principal, com retornos variando de zero à taxa de mercado.”</i>
Nicholls (2010)	<i>“O investimento social na prática é a inovação em termos das lógicas institucionais e normas que regem as relações entre as suas lógicas de investimento (focadas nos resultados do uso do capital) e as racionalidades do investidor (focadas nos objetivos do uso do capital)”</i>
Bugg-Levine e Goldstein (2009)	<i>“Investimento de impacto são tipos de investimento que ajudam a resolver os problemas sociais ou ambientais enquanto geram retornos financeiros.”</i>
Pepin (2005)	<i>“Filantropos de risco (investidores de impacto) desejam um relacionamento próximo com o empreendedor social, investindo tempo, recursos humanos e financeiros para ajudá-lo a atingir as metas do plano de negócios.”</i>

Fonte: Agrawal e Hockerts (2019).

Vale destacar que, apesar de o levantamento realizado por Agrawal e Hockerts (2019) sugerir que há um consenso entre as publicações sobre os investimentos de impacto definirem tais instrumentos em função de sua *performance* social e financeira, os autores ainda apontam que há muitas definições e terminologias ambíguas. Grim e Berkowitz (2018) ratificam esse entendimento e argumentam que há uma miríade de terminologias relacionadas ao setor de investimento de impacto, utilizadas, por vezes, de modo intercambiável, sem que tais termos se refiram às mesmas coisas. Termos comuns relacionados ao setor são: Integração Ambiental, Social e Governança, Investimento Socialmente Responsável e Investimentos de Impacto.

A ASG é uma prática adicional à análise financeira, que busca identificar características que promovam algum impacto material na performance do investimento. Aqui, a ocorrência de características negativas não necessariamente impede o investimento (Grim & Berkowitz, 2018).

Por outro lado, os adeptos do investimento socialmente responsável têm por costume realizar uma triagem dos ativos existentes para excluir ou diminuir a participação em investimentos com certas características consideradas imorais ou impróprias, como negócios que envolvem armas, fumo, bebidas alcoólicas, pornografia, agrotóxicos, trabalho infantil, danos ao meio ambiente ou práticas de corrupção. Além disso, tem-se a triagem no sentido inverso, privilegiando investimentos com características positivas à sociedade, como empresas geradoras de energia limpa, usinas de reciclagem etc.

Portanto, os investimentos de impacto constituem um subconjunto dos termos anteriores, pois seus investidores almejam alcançar, de modo deliberado, retornos socioambientais positivos com seus ativos, além de colher retornos financeiros.

A Tabela 2, elaborada por Glänzel et al. (2012), apresenta uma categorização dos investimentos sociais a partir de seu envolvimento com os retornos financeiros ou socioambientais. Por essa classificação, os investimentos de impacto possuem maior apelo ao retorno social que outros tipos de investimento (com exceção do Capital Altruísta), possuindo modesta ou baixa expectativa de retorno financeiro.

Tabela 2

Motivos do investimento e expectativas de retorno

	Retorno Financeiro ← → Retorno Social					
Motivos do investimento	Capital Materialista	Investimento Socialmente Responsável	Investimento Híbrido	Investimento Híbrido	Investimento de Impacto e Filantropia de Risco	Capital Altruísta
Expectativas de retorno	(maximização dos lucros)	(busca de retorno de mercado com considerações socioambientais)	(maximização concomitante dos retornos sociais e financeiros; “financeiro em primeiro lugar”)	(maximização concomitante dos retornos sociais e financeiros; “impacto em primeiro lugar”)	(maximização do impacto com modesta ou baixa expectativa de retorno financeiro)	(maximização do impacto sem expectativa de retorno financeiro)

Fonte: Glänzel et al. (2012).

Outras terminologias comumente relacionadas aos investimentos de impacto são:

- investimento ético (Harji & Hebb, 2010; Junkus & Berry, 2015);
- investimento de linha de base (Harji & Hebb, 2010; Wood & Hagermann, 2010);
- investimento comunitário (Wood & Hagermann, 2010; Dagers & Nicholls, 2016; Junkus & Berry, 2015);
- investimento economicamente direcionado (Wood & Hagermann, 2010);
- títulos de impacto social (Rizzello et al., 2016; Dagers & Nicholls, 2016; Hangl, 2014; Jackson, 2013a; Bishop, 2013);
- investimento responsável (Rizzello et al., 2016);
- investimento sustentável (Rizzello et al., 2016; Junkus & Berry, 2015);
- microfinanças (Rizzello et al., 2016; Michelucci, 2017; Hangl, 2014);
- investimento em missão (Rizzello et al., 2016);
- finanças sociais (Rizzello et al., 2016; Hangl, 2014);

- filantropia (Rizzello et al., 2016; Bishop, 2013);
- filantropia de risco (Michelucci, 2017; Rath & Schuyt, 2014; Porter & Kramer, 1999);
- empréstimos em condições favoráveis (Michelucci, 2017);
- *crowd-based financing* (Michelucci 2017; Dagers & Nicholls, 2016);
- financiamento cooperativo e mútuo (Dagers & Nicholls, 2016);
- financiamento de desenvolvimento (Dagers & Nicholls, 2016);
- investimento verde (Junkus & Berry, 2015);
- *second markets* (Mendell & Barbosa, 2013);
- *blended value* (Nicholls, 2010; Rajan et al., 2014);
- filantropia empreendedora (Rath & Schuyt, 2014; Porter & Kramer, 1999)
- capitalismo filantrópico (Rath & Schuyt, 2014; Porter & Kramer, 1999).

Por fim, cabe esclarecer que alguns autores também debatem sobre em quais atores deve residir a “intenção” de geração de impacto, se nos investidores, nos investidos ou em ambos. Por exemplo, para Glänzel et al. (2012), o investimento de impacto deve atender ao menos um dos quesitos: a) as organizações que recebem o dinheiro devem ter como meta o atingimento de objetivos sociais, em vez de objetivos comerciais; ou b) as expectativas de retorno dos investidores devem ser diferentes, uma vez que os investidores esperam um retorno social gerado pelo atendimento de uma necessidade social ou pela solução de um problema social. Na prática, ponderam os autores, a) e b) devem ser analisados separadamente, mas espera-se uma grande conexão entre ambos. Além disso, há, também, muitos investimentos comerciais que geram impacto socioambiental (contratação de novos empregados, aumento da produtividade por meio da aquisição de novos equipamentos etc.), de forma que há um aspecto de finanças sustentáveis nas finanças tradicionais. Contudo, não há nesses casos uma preocupação primária quanto à geração de impacto socioambiental, apenas a busca dos objetivos financeiros organizacionais (Glänzel et al., 2012).

2.1.2 Motivações e objetivos dos investimentos sociais

As justificativas para o engajamento em investimentos sociais por empresas, corporações, pessoas e governos são variadas. As motivações podem se dar a partir de convicções pessoais, valores éticos e morais, por razões econômicas, legais ou políticas,

bem como por pura fundamentação religiosa.

Há, também, pontos de vista extremos nesse debate. Por exemplo, Lehtonen (2013) defende que o investimento deve servir prioritariamente às pessoas e ao meio ambiente e só deve ser realizado em empresas com negócios eticamente aceitáveis, economicamente rentáveis e que contribuam para o bem humano e ambiental. Em um outro extremo, Friedman (1970) argumenta que a única responsabilidade social da empresa é usar seus recursos e se envolver em atividades destinadas a aumentar seus lucros, dentro dos limites da lei.

Para Friedman (1970), o envolvimento das corporações em atividades sociais alheias à sua atividade econômica constituiria uma alocação ineficiente dos recursos com consequências indiretas para a população. O autor ilustra, por exemplo, que a decisão de uma grande corporação de não aumentar os preços por motivações ligadas à “responsabilidade social” poderia se dar às custas de redução dos benefícios de seus empregados, ou, talvez, poderia provocar um futuro aumento nos preços por conta da redução em seu nível de produção ótimo.

Além disso, o autor também sustenta que a responsabilidade social é frequentemente um disfarce para ações que são justificadas por outros motivos, ao invés de ser uma razão para essas ações. Nessa linha de argumentação, Friedman (1970) defende que algumas ações sociais são economicamente justificáveis, afirmando, por exemplo, que “amenidades” oferecidas para a comunidade na qual a empresa está inserida podem tornar mais fácil atrair empregados com qualificações desejáveis, reduzir folha de pagamento ou diminuir perdas por furto e sabotagem.

Outra argumentação apelativa do ponto de vista econômico em prol do investimento responsável está no trabalho desenvolvido por Ostrom (1990). A autora argumenta que há um equilíbrio de mercado subótimo em problemas do tipo *Common-Pool Resources* (CPR), que acontecem em negócios que partilham de recursos limitados (como florestas, água, pastagens, pesca etc.). Isso ocorre porque os incentivos individuais para superexploração desses recursos impedem que eles se recomponham, ensejando em perda de valor econômico para todos os seus usuários. Assim, segundo a autora, as empresas e os governos devem se organizar para definir regras e práticas que assegurem a sustentabilidade dos negócios.

Com relação ao desempenho financeiro do setor, e considerando somente o mercado acionário, os ganhos ou as perdas potenciais relacionadas à estratégia de

investimento em empresas socialmente responsáveis é um tema controverso. Conforme argumentam Fabozzi et al. (2008), é possível crer que empresas com “produtos pecaminosos” deveriam ser sobrevalorizadas ou subvalorizadas no mercado. Fatores que contribuem para a perda de lucratividade ali identificada decorrem dos custos para a adequação a um padrão social (como para a realização de *recalls* de produtos defeituosos, o controle de poluentes e de programas de reparação ambiental etc.), bem como da pura rejeição de investidores, fazendo aumentar os custos de captação da empresa. Por outro lado, as barreiras de entrada decorrentes da rigidez dos ditames que cercam tais negócios criam um monopólio para as empresas já estabelecidas, que aumentam a margem de lucro de tais corporações.

Segundo os testes empíricos realizados por Fabozzi et al. (2008), tem-se uma perda decorrente do investimento socialmente responsável. O estudo de Adler e Kritzman (2008) também corrobora tal hipótese, estimando uma perda média de 2,4% de retorno por ano decorrente da restrição de investimento em empresas com avaliação negativa nos fatores social ou ambiental. Para os autores, os investidores poderiam, de maneira equivalente, ao invés de evitar investimentos em empresas não socialmente responsáveis, redirecionar os ganhos decorrentes de tais investimentos para aliviar os danos provocados por tais empresas.

Por outro lado, Humphrey e Tan (2014) não encontraram evidências de que os investimentos éticos são positivos ou negativos para a geração ou destruição de valor de uma carteira de ações. Além disso, uma revisão abrangente da literatura acerca da relação entre ASG e *performance* financeira das empresas, apresentada por Friede et al. (2015), reportou que aproximadamente 90% dos 2.200 estudos analisados não apresentaram uma relação negativa. Adicionalmente, os autores reportaram que a maioria dos estudos analisados relata resultados positivos.

A pesquisa empírica realizada por Riedl e Smeets (2017) aponta que a demanda para investimentos sociais via fundos de investimentos é motivada principalmente pelas preferências sociais intrínsecas dos investidores e, em menor grau, pela busca de sinalização social. Além disso, os autores reportam que os investidores de tais fundos esperam um desempenho inferior em relação aos fundos de ações convencionais e o pagamento de maiores taxas administrativas. Os autores concluem, assim, que descobertas sugerem que, em média, os investidores com uma forte motivação social estão dispostos a renunciar a retornos financeiros para investir de acordo com suas

preferências sociais.

De toda forma, a busca pelo “bem-estar comum” almejado pelos investimentos responsáveis é um conceito amplo e que aceita várias ações, que irão, em certa medida, ser direcionadas pelas convicções pessoais dos tomadores de decisão. Como um direcionador de tais ações, Suehrer (2019) sugere que os investimentos de impacto deveriam se vincular aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pelas Nações Unidas em 2015. Os 17 objetivos descritos pela Resolução 70 das Nações Unidas (2015) são:

- Objetivo 1. Acabar com a pobreza em todas as suas formas em todos os lugares;
- Objetivo 2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover agricultura sustentável;
- Objetivo 3. Garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos em todas as idades;
- Objetivo 4. Garantir educação de qualidade inclusiva e equitativa, promovendo oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;
- Objetivo 5. Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas;
- Meta 6. Garantir a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;
- Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos;
- Objetivo 8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos;
- Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação;
- Objetivo 10. Reduzir a desigualdade dentro e entre os países;
- Objetivo 11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
- Objetivo 12. Garantir padrões de consumo e produção sustentáveis;
- Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos;
- Objetivo 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos

recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável;

- Objetivo 15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade;
- Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis;
- Objetivo 17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Os Princípios para o Investimento Responsável (PIR) são outra diretriz das Nações Unidas, estabelecida em 2006, que está diretamente relacionada aos investimentos com finalidades sociais. De acordo com as Nações Unidas (2006), a adesão aos princípios ocorre de forma voluntária pelos participantes do mercado, que devem se comprometer a adotar questões de ASG em suas decisões de investimentos. Os seis princípios são:

- Princípio 1: Incorporar questões de ASG na análise de investimentos e nos processos de tomada de decisão;
- Princípio 2: Comprometimento com uma atitude pró-ativa em questões de ASG no exercício dos direitos enquanto acionistas;
- Princípio 3: Divulgar apropriadamente as práticas de ASG nas empresas investidas;
- Princípio 4: Promover e incentivar a prática de ASG na cadeia de fornecedores e demais *stakeholders*;
- Princípio 5: Trabalhar de forma cooperativa para efetivação das práticas de ASG;
- Princípio 6: Apresentar relatórios do grau de progresso na implementação dos princípios.

Segundo o levantamento de Hoepner et al. (2019), a adesão aos PIR cresceu substancialmente ao longo dos anos, atingindo o total de 1.500 adesistas que pagam contribuições, sendo responsáveis pela gestão de 80 trilhões de dólares. Os fatores explicativos para propensão à adesão aos princípios são cognitivos/culturais, sendo preponderantemente influenciados pelos participantes dos seguintes grupos: i) fundos

de pensão de funcionários do serviço público e sindicatos; (ii) de origens sociais mais alinhados culturalmente com os valores representados pelo movimento; e (iii) com legislação historicamente mais inclinada às questões de ASG. Contudo, apesar desse crescimento e da importância desse mercado, conforme aponta Lehtonen (2013), os PIR foram definidos em termos muito vagos e, portanto, deveriam ser revistos para prescrever recomendações mais concretas.

Motivações religiosas também são razões alegadas para o fomento dos investimentos sociais. Por exemplo, conforme argumentam Biancone e Radwan (2018), os instrumentos financeiros islâmicos podem ser considerados em consonância com os objetivos e requisitos dos investimentos de impacto social, uma vez que todas as transações financeiras nessa religião devem seguir a doutrina da Sharia, que consiste em uma série de proibições e obrigações, como a proibição de investir em atividades *Haram* (não autorizadas) e negócios como álcool, fumo, carne de porco e produtos relacionados, entretenimento adulto (pornografia) e armas.

2.1.3 Instrumentos financeiros e outros veículos de investimento

Tradicionalmente, o setor de finanças sustentáveis é financiado por instrumentos de fontes públicas e por doações privadas. Atualmente, ponderam Glänzel et al. (2012), os instrumentos de financiamento para o setor podem ser bastante variados.

Na perspectiva dos incentivos públicos, segundo Salamon (2002), o Estado pode atuar na implementação de políticas por meio de 14 instrumentos: i) fornecimento do bem ou prestação do serviço diretamente pelo governo; ii) uso de corporações governamentais; iii) regulação econômica por meio de leis e decisões judiciais; iv) regulação social por meio de leis, estabelecendo sanções e incentivos; v) indenizações para empresas e indivíduos por perdas específicas, tais como desastres naturais; vi) influência do comportamento via campanhas publicitárias; vii) impostos e taxas corretivos; viii) terceirização de parte das atividades administrativas; ix) parcerias com o setor privado para o provimento de bens e serviços públicos através de contratos; x) assistência financeira para atividades ou serviços públicos; xi) empréstimos e garantias de empréstimos para estimular atividades de interesse político ou econômico; xii) renúncia fiscal; xiii) vales para dar poder de compra para indivíduos, dentro de um conjunto de opções; e xiv) legislação por perdas e danos para fomentar um ambiente de

negócios ou indenizar negligências de outras pessoas ou entidades.

Além de fundos de fontes públicas, existem os instrumentos usuais que podem ser divididos em dívidas e *equity*, como empréstimos bancários, títulos, ações, dívidas subordinadas e capital híbrido. Há, também, instrumentos mais novos, como microcrédito e *crowd funding* (Glänzel et al., 2012). Uma divisão dos instrumentos de investimentos sociais é apresentado por Achleitner et al. (2012), conforme tabela a seguir.

Tabela 3

Instrumentos de financiamento para empreendimentos sociais

Instrumento de Financiamento	Características	Implicações para o empreendimento social
Doações	Duração: Curto prazo Pagamentos anuais: Não há Reembolso: Não há	- Uso geralmente restrito a projetos predefinidos; - Altos custos de arrecadação de fundos; - Baixa flexibilidade empresarial.
Dívida	Duração: Longo prazo (3-7 anos) Pagamentos anuais: Pagamentos de juros (variáveis) Reembolso: Sim	- Pagamentos anuais de juros exigem modelo de negócios de baixo risco; - Sem diluição de propriedade; - Direitos abrangentes dos provedores de capital em caso de inadimplência; - Alta flexibilidade empresarial no uso de capital.
<i>Equity</i>	Duração: Ilimitada Pagamentos anuais: Pagamentos de dividendos (variáveis) Reembolso: Não	- Diluição da propriedade; - Investidor social recebe controle e direito de voto; - Participação nos lucros para o investidor social; - Potencial impacto na cultura corporativa.
Dívida subordinada	Duração: Longo prazo (3-7 anos) Pagamentos anuais: Pagamentos de juros (variáveis) Reembolso: Sim	- Pagamentos anuais de juros exigem fluxos de caixa previsíveis; - Diluição da propriedade apenas se convertida em <i>equity</i> ; - Reembolso obrigatório; - Participação nos lucros para o investidor social.
Capital Híbrido	Duração: Longo prazo (3-7 anos) Pagamentos anuais: Não há Reembolso: Depende da estrutura	- Instrumento de financiamento barato; - Sem diluição de propriedade; - Compartilhamento de risco com o investidor social; - Grande flexibilidade de estruturação.

Fonte: Achleitner et al. (2012).

Achleitner et al. (2012) destacam que as doações são uma forma tradicional de financiamento para o setor social e constituem uma importante forma de subsídio para empreendimentos sociais. Contudo, ponderam os autores, as doações são geralmente

concedidas apenas para determinados projetos e geralmente excluem os custos gerais e as despesas para o desenvolvimento da empresa social. Além disso, as doações são fontes de curto prazo, não são previsíveis e impõem altos custos de arrecadação de fundos às empresas sociais.

O financiamento via *equity* é o instrumento de maior risco para o investidor. O investidor social não recebe pagamentos anuais regulares, mas uma parte dos lucros gerados pela empresa social. Além de uma participação nos lucros futuros, o investidor social tem certo controle e direito de voto.

Ainda segundo os autores, o investimento via dívida pode ser usado para investimentos de longo prazo ou financiamento de projetos que prometam fluxos de caixa estáveis e previsíveis nos próximos anos. Os fluxos de caixa estáveis e previsíveis são necessários, pois os provedores de capital de dívida recebem um pagamento anual de juros.

Já a dívida subordinada combina elementos de dívida e *equity*, representando uma alternativa de financiamento conveniente e flexível, uma vez que ela pode ser estruturada, por exemplo, para que o pagamento de juros esteja vinculado ao lucro da empresa, ou que o reembolso se dê por participação futura no capital social da investida.

Finalmente, Achleitner et al. (2012) descrevem, o capital híbrido contém elementos de doações, *equity* e dívida e pode ser usado para dar maior flexibilidade financeira ao empreendimento social. Formas de capital híbrido incluem financiamentos cujo reembolso é devido ou perdoado se o projeto atingir certos marcos previamente definidos. Nessa categoria, também, incluem-se os acordos de compartilhamento de receita, no qual o investidor financia um projeto e recebe uma parcela das receitas futuras.

2.1.4 Tipos de investidores

De acordo com Glänzel et al. (2012), a economia social e a inovação social têm sido financiadas em grande parte pelo Estado (ou, particularmente, em tempos anteriores, grandes instituições religiosas). Hoje existe uma grande variedade de investidores sociais.

Os exemplos mais proeminentes de investidores sociais incluem bancos sociais (instituições bancárias que geralmente fornecem toda a gama de produtos e serviços dos bancos comerciais, mas seguindo uma estratégia de investimento híbrida); cooperativas (geralmente com baixa expectativa de retorno financeiro para maximizar os benefícios para seus membros); fundos de capital de risco; fundos de investimento social; fundos de filantropia de risco e inovação (mais focados no impacto); e investidores de impacto

normalmente de fundos soberanos ou fundos de pensões com expectativa de taxa de retorno de mercado, mas por um período de tempo mais longo (30 a 50 anos em vez de 3 a 5).

Conforme explicitado, há diversos tipos de instituições que fazem a gestão de seus recursos a fim de gerar impacto econômico e social por intermédio de suas ações. Contudo, é o Estado o ator mais relevante a ocupar esse papel. Portanto, vale analisar mais detalhadamente as diferentes perspectivas quanto à sua forma de atuação e à relação entre os investimentos sociais enquanto ações de políticas públicas.

De maneira geral, o estudo das políticas públicas é relevante para o entendimento das razões pelas quais um determinado curso de ação foi adotado (abordagem descritiva), ou qual política deveria ser implementada para a solução de um problema (abordagem prescritiva). Segundo Cairney (2012), há muitas perspectivas para entender as razões das políticas públicas. Pode-se focar em formuladores de políticas individualmente, entendendo como eles analisam e compreendem os problemas sociais. Pode-se considerar suas crenças e o quão receptivos eles são para ideias e abordagens para os problemas. Pode-se focar nas instituições e nas regras que os formuladores de políticas devem seguir. Pode-se identificar grupos poderosos que influenciam como as políticas são feitas. Além disso, pode-se focar nos contextos socioeconômicos e nas pressões sofridas pelos governantes quando eles fazem uma política pública.

A origem do Estado, conforme apontam Ham e Hill (1993), foi muito calcada na promoção de regras e procedimentos constitucionais e no monopólio do uso da força, visando à manutenção da lei, da ordem e da paz. No entanto, conforme as sociedades foram evoluindo, e principalmente após o início da Revolução Industrial, os Estados passaram a ser demandados para promoção de políticas no campo econômico e do bem-estar social.

O trabalho de Esping-Andersen (1991) propõe que os estados evoluíram para três modelos de promoção de políticas: o modelo liberal, no qual o estado deve promover apenas o mínimo necessário para auxiliar seus cidadãos; o modelo conservador, no qual o estado deve promover apenas serviços sociais básicos e tradicionais; e o modelo universalista, no qual o Estado se propõe a melhorar ativamente o padrão de vida de seus cidadãos.

O ideal liberal entende, como princípio, que a livre iniciativa é a melhor forma de uma sociedade alocar seus recursos humanos e materiais de maneira eficiente, maximizando os ganhos para os seus cidadãos. Além disso, nessa filosofia econômica,

acredita-se que a redistribuição dos ganhos coletivos gerados de indivíduos mais eficientes para os menos eficientes reduziria a riqueza total dessa economia, ou seja, a economia da redistribuição, conforme a hipótese de Okun (1975), seria um tipo de “balde furado”, o que atrapalharia a dinâmica e o bem-estar coletivo de seus cidadãos.

Em outro extremo, no modelo universalista, a balança do *trade-off* entre eficiência econômica e equidade penderia para o lado da equidade. Nessa escola de pensamento, também há aqueles que nem acreditariam na existência desse *trade-off*. Nesse sentido, os mais abonados deveriam cuidar dos menos afortunados, e o Estado seria o grande articulador dessa rede de proteção e solidariedade entre os seus cidadãos.

Em uma visão mais analítica, podemos associar a cada indivíduo um montante de utilidade aferido pelo total de bens e serviços disponível para ele. Na visão de Bentham (1789), o máximo bem-estar social seria dado pela soma simples das utilidades de cada um dos indivíduos da sociedade. Assim, se a utilidade de um mesmo bem para um indivíduo mais pobre for maior que a utilidade gerada para um mais rico, o Estado poderia prover uma redistribuição de renda, desde que o ganho da redistribuição seja ainda superior à perda de eficiência econômica, ou seja, a perspectiva de Bentham (1789) ensejaria um Estado mais universalista. Outra visão, proposta por Rawls (1971), é de que a sociedade mais justa seria aquela que deixaria o pior indivíduo ser o mais rico possível, não se importando com o nível de desigualdade financeira remanescente nela. Assim, a perspectiva de Rawls (1971) é a de um estado mais liberal.

Finalmente, essa visão ingênua da atuação estatal divergente apenas enquanto filosofia econômica deve ser complementada pela atuação dos grupos de interesse e influenciadores da formulação de políticas públicas, conforme discutido por Ham e Hill (1993). Para esses autores, é possível teorizar que o Estado é totalmente capturado por demandas de interesse de grupos da burocracia e aristocracia de uma sociedade (teoria elitista) ou é influenciado de modo desproporcional por diversos grupos organizados (teoria corporativista).

De acordo com o esquema conceitual de Secchi (2010), há sete fases distintas no ciclo das políticas públicas: identificação do problema, formação de agenda, formulação de alternativas, tomada de decisão, implementação, avaliação e extinção.

Em suma, há diferentes enfoques para atuação estatal na economia. Apesar de cada um dos enfoques buscar o mesmo bem comum, qual seja, o bem-estar de todos os seus cidadãos, os arcabouços teóricos subjacentes são antagônicos nos meios pelos quais

o Estado deverá promover esse bem-estar.

Dentre as várias óticas e os recortes para análise das políticas públicas, é de especial interesse investigativo neste trabalho explorar a correta utilização das evidências obtidas na fase de avaliação de impacto dos diversos instrumentos utilizados para promoção de políticas públicas. Conforme Gueron (2017) e Angrist e Pischke (2010), a avaliação do impacto das políticas públicas tem tido um papel muito relevante para a análise de efetividade das ações governamentais na racionalização do uso dos recursos financeiros e no desenho de novas políticas públicas.

Como ponderam Barros et al. (2020), deve-se observar que a obtenção e o processamento de evidências demandam recursos e, portanto, eles devem ser utilizados de maneira parcimoniosa na busca de efetividade nas políticas públicas. No entanto, afirmam os autores, o Brasil ainda está em um estágio anterior, em que nem mesmo a evidência disponível é plenamente utilizada no desenho e na gestão das políticas públicas.

Em relação aos investimentos de impacto propriamente ditos, o artigo de Wood et al. (2013) aponta que o governo geralmente desempenha um papel fundamental como subscritor, coinvestidor, regulador, adquirente de bens e serviços ou fornecedor de subsídios e assistência técnica para o fomento do setor dos investimentos de impacto. Como exemplo, o Governo de Reino Unido apoia formalmente a contribuição dos investimentos de impacto para solução de seus problemas sociais e é o fundador de instituições criadas para a promoção e o desenvolvimento dos *Social Impact Bonds* (SIBs), como o *Centre for Social Impact Bonds* e o *Government Outcomes Lab* (HM Treasury UK, 2018). Não obstante a importância do papel do Estado, Roundy (2019) aponta, ainda, uma série de aspectos presentes nos ecossistemas dos investimentos de impacto que auxiliam o setor a florescer em determinadas regiões, tais como as características dos investidores, a presença de organizações de apoio e os valores culturais da região.

No Brasil, os guias de avaliação de políticas públicas coordenados pela Casa Civil da Presidência da República (Brasil, 2018a, 2018b) e a publicação do Decreto nº 9.977 (Brasil, 2019), que dispõe sobre a Estratégia Nacional de Investimentos e Negócios de Impacto (ENINI) e o Comitê de Investimentos e Negócios de Impacto (CINI), denotam um grande esforço governamental para a adoção dessa perspectiva para a gestão das ações do Estado brasileiro. De fato, a relevância da utilização de evidências para a formulação de políticas públicas é a de evitar o método ingênuo de tentativa e erro, que

pode gerar consequências desastrosas para um país (Brasil, 2018a).

2.1.5 Tamanho e características geográficas do setor

O estudo de Mudaliar e Dithrich (2019) estima que 1.340 instituições gerenciam US\$ 502 bilhões em investimentos de impacto ao redor do mundo. Do total financeiro administrado, 51% são administrados por gestoras de fundos e 27% são administrados por bancos de desenvolvimento, o que inclui bancos de desenvolvimento regionais e nacionais, instituições multilaterais e instituições financeiras internacionais. Além desses atores, tem-se a participação de bancos, fundos de pensão, seguradores, fundações, *family offices*, fundações privadas, investidores individuais, organizações não governamentais (ONGs) e instituições religiosas.

Somente nos Estados Unidos da América, em uma conceituação mais ampla de investimentos com preocupações sociais – incluindo as práticas de ASG e de investimentos socialmente responsáveis –, Aitken et al. (2018) reportam que, no ano de 2018, dos US\$ 46,6 trilhões de investimentos administrados por profissionais, cerca de US\$ 12 trilhões estavam vinculados à tal categoria de investimentos. Além disso, o crescimento desse mercado, no período 1995-2018, foi de 1.778%, perfazendo uma média de 13,6% por ano.

Ainda segundo o estudo de Mudaliar e Dithrich (2019), grande parte das instituições de impacto tem sua localização em mercados desenvolvidos, incluindo Estados Unidos da América (EUA) e Canadá (58%) e Europa Ocidental, Norte e Sul (21%). Aqui vale destacar que o número de instituições na América Latina e no Caribe corresponde somente a 4% das instituições de impacto no mundo.

No Brasil, o levantamento de Davidson e Rocha (2018) apontou que foram alocados US\$ 343 milhões por investidores locais para investimentos de impacto no ano de 2017. Além disso, investidores internacionais reportaram US\$ 2,1 bilhões em investimentos de impacto no país. Contudo, tais números podem estar subdimensionados, uma vez que a amostra se concentrou basicamente em gestores de fundos de investimentos, deixando de lado a participação de bancos de desenvolvimento e instituições financeiras multilaterais.

Para citar um exemplo, no mesmo período de referência do estudo de Davidson e Rocha (2018), o BNDES administrava, ao final de 2017, um total de R\$ 868 bilhões em ativos, sendo que grande parte desse montante estava vinculado explicitamente à

expectativa de geração de impacto social, tanto na perspectiva *ex ante* (Almeida & Braga, 2017) quanto na mensuração do impacto *ex post* (Pinto et al., 2017). De fato, Almeida e Braga (2017) explicam a metodologia utilizada pelo BNDES para avaliar os impactos previstos com os apoios financeiros da instituição em cinco dimensões (Economia Nacional, Social, Ambiental, Regional e Cliente), desde a entrada do projeto, com sua aplicação na etapa de enquadramento de cada operação. Por sua vez, Pinto et al. (2017) avaliam o impacto dos desembolsos da instituição nas firmas apoiadas em relação àquelas não apoiadas, considerando as variáveis: emprego, faturamento bruto, resultado líquido e produtividade do trabalho².

2.2 Gestão do impacto

A busca por uma correta estimativa do impacto de uma alocação é um ponto fundamental para o arcabouço dos investimentos de impacto. Com esse intuito, o objetivo desta subseção é descrever como o impacto pode ser aferido em bases científicas, bem como discorrer sobre as fontes de incertezas inerentes às técnicas de avaliação de impacto. Na sequência, discutem-se alguns métodos de inferência e quantificação da incerteza.

2.2.1 Técnicas de aferição do impacto

Segundo Gertler et al. (2017), a estimativa do efeito médio das mudanças no bem-estar dos indivíduos decorrentes de um projeto ou política pública é o objetivo das técnicas de mensuração do impacto. Com esse intuito, o estabelecimento de uma relação causal entre a política e a mudança de bem-estar é feito isolando-se a mudança gerada pela política de todos os outros efeitos que ocorrem concomitantemente na vida dos indivíduos.

Conforme reporta o estudo de Cameron et al. (2016), houve um crescimento enorme das publicações de avaliação de impacto na área do desenvolvimento econômico. Particularmente, o número de publicações ganhou impulso após alguns eventos, como as primeiras avaliações publicadas, no final da década de 1990, do *Programa de Educacion, Salud y Alimentacion* (Progresá) – um programa de

² Definida como a razão entre o resultado bruto e o número médio de empregados no ano.

transferências monetárias condicionais do México, precursor do programa social brasileiro Bolsa Família –, a criação de instituições como o Laboratório de Ação contra a Pobreza Abdul Latif Jameel (J-PAL, sigla do inglês *The Abdul Latif Jameel Poverty Action Lab*), e as iniciativas *Development Impact Evaluation Initiative* (DIME) e *Strategic Impact Evaluation Fund* (SIEF) encampadas pelo Banco Mundial.

Segundo Deaton e Cartwright (2018), um modo interessante de entender a estimação do impacto de um tratamento – isso é, do efeito de uma política pública ou intervenção – é fazer uso de um modelo causal linear, conforme expresso na Equação 1, que se segue:

$$Y_i = \beta_i T_i + \sum_{j=1}^J \gamma_j x_{ij} \quad (1)$$

em que:

- i é a unidade da observação. É dependente do contexto do problema, podendo ser representada por um indivíduo, uma empresa, uma cidade etc.;
- T_i é uma variável binária, que indica se a unidade recebeu (i.e., $T_i = 1$) ou não recebeu (i.e., $T_i = 0$) um determinado tratamento. O tratamento corresponde a uma ação bem delimitada, como, por exemplo, “contratar um financiamento pelo prazo de 5 anos a uma taxa de 1% a.m.”;
- Y_i é a medição da variável de resultado de interesse, por exemplo, “a lucratividade da empresa após dois anos do financiamento”;
- x_{ij} são as variáveis observáveis e não observáveis, que também afetam a variável dependente Y_i . Exemplos de variáveis observáveis: o “setor de atuação da empresa”, a “taxa de investimentos” ou seu “nível de endividamento”. Exemplos de variáveis não observáveis ou latentes: a “cultura organizacional da empresa” ou a “habilidade gerencial de seus decisores”;
- γ_j corresponde ao impacto da variação de uma unidade da variável x_{ij} sobre a variável dependente; e
- β_i é o efeito do tratamento sobre o indivíduo i .

Fazendo uso da terminologia do modelo causal de Rubin (Rubin, 2005), para cada unidade i , é possível conceber dois estados potenciais, quais sejam: 1) $Y_i(1)$, sendo o resultado potencial do indivíduo com o efeito do tratamento; e, 2) $Y_i(0)$, sendo o resultado

potencial do indivíduo sem o efeito do tratamento. Obviamente, o efeito do tratamento para cada indivíduo β_i poderia ser obtido pela diferença $Y_i(1) - Y_i(0)$; porém, a cada instante do tempo, somente é possível conhecer o valor de $Y_i(1)$ ou $Y_i(0)$. Tal impossibilidade de saber qual é a diferença entre o resultado potencial do indivíduo com o efeito do tratamento, $Y_i(1)$, e seu resultado potencial sem o efeito do tratamento, $Y_i(0)$, é conhecida como o “problema fundamental da inferência causal” (Holland, 1986, p. 947).

Caso se tenha um grupo de comparação válido (chamado de grupo contrafactual), as diferenças entre as unidades tratadas e não tratadas é igual ao efeito médio do tratamento, uma vez que há um cancelamento dos efeitos das variáveis observadas e não observadas em uma situação de perfeito balanceamento entre os grupos. Portanto, o Efeito Médio do Tratamento, $\bar{\beta}$, é dado pela Equação 2, que se segue:

$$\bar{Y}(1) - \bar{Y}(0) = \bar{\beta} + \sum \gamma_j (\bar{x}_{ij}(1) - \bar{x}_{ij}(0)) = \bar{\beta} \quad (2)$$

Diversas metodologias são possíveis para obter a estimativa dada pela Equação 2, conforme apresentadas em Glennerster e Takavarasha (2013) e Gertler et al. (2017). Uma importante divisão dos tipos de metodologias está na adoção das metodologias experimentais, que alocam o tratamento aleatoriamente entre os indivíduos e praticamente eliminam o viés de seleção (Athey & Imbens, 2017), e dos métodos observacionais – também chamados de quase-experimentais –, como método do antes-e-depois, método do pareamento, método de diferenças-em-diferenças (DD), regressão múltipla e regressão descontínua. Os detalhes de funcionamento desses métodos serão apresentados nas subseções que se seguem.

2.2.1.1 Métodos experimentais

Segundo Banerjee, Chassang et al. (2017), o primeiro experimento controlado documentado é encontrado no livro bíblico de Daniel, em uma história em torno de 605 a.C., que pretende comparar os efeitos de uma dieta vegetariana com a dieta de carne e vinho da corte de Babilônia, conforme se segue:

Daniel disse então ao homem que o chefe dos oficiais tinha encarregado de cuidar de Daniel, Hananias, Misael e Azarias: - Peço-lhe que faça uma experiência com os seus servos durante dez dias: Não nos dê nada além de

vegetais para comer e água para beber. Depois compare a nossa aparência com a dos jovens que comem a comida do rei, e trate os seus servos de acordo com o que você concluir. Ele concordou e fez a experiência com eles durante dez dias. Passados os dez dias eles pareciam mais saudáveis e mais fortes do que todos os jovens que comiam a comida da mesa do rei. Assim o encarregado tirou a comida especial e o vinho que haviam sido designados e em lugar disso lhes dava vegetais. (Daniel 1:11-16, NVI).

Entretanto, foi somente com o trabalho de Fisher (1925) que foram sistematizados os métodos estatísticos inferenciais que fundamentaram a avaliação de impacto com base em experimentos randomizados controlados (RCTs, do inglês *Randomized Controlled Trials*), atualmente empregados em vários campos do conhecimento. Em particular, Cameron et al. (2016) apontam que houve um crescimento exponencial, ao longo das últimas décadas, do uso dos RCTs para a avaliação de impacto na área do desenvolvimento econômico. Tais autores reportaram um crescimento de 23,5% ao ano no número de publicações de avaliação de impacto no período de 2000 a 2012, sendo que 66,5% desses estudos aplicaram a técnica do RCT como método de pesquisa.

Conforme Athey e Imbens (2017), os estudos experimentais são normalmente considerados superiores aos estudos observacionais. Para os autores, os experimentos aleatórios são únicos no controle que o pesquisador possui sobre o mecanismo de seleção de indivíduos tratados e não tratados, e, por conta desse controle, o viés de seleção pode ser virtualmente eliminado. Assim, por conta da robustez do método e da baixa exigência de premissas, a análise do impacto das intervenções pelo método RCT é considerada o “padrão-ouro” nos estudos de políticas públicas.

A conclusão de Gueron (2017) e Banerjee et al. (2020) é de que o uso dos métodos experimentais, se não revolucionaram, pelo menos alteraram profundamente a prática do desenvolvimento econômico como uma disciplina acadêmica e com impactos tangíveis para o aprimoramento de políticas públicas.

2.2.1.2 Métodos observacionais

Apesar do apelo metodológico mencionado, existem inúmeras situações em que a aplicação dos métodos experimentais não é a mais adequada ou possível para se aferir o

impacto de um programa. Socialmente, a alocação aleatória para um programa pode ser vista como algo não ético ou mesmo ser inexequível. Conforme argumentam Glennerster e Takavarasha (2013), os métodos observacionais permitem realizar estudos de baixo custo e em um prazo curto. Tais métodos também possibilitam estudar o impacto de maneira retrospectiva, pois permitem estimar o impacto de um programa que ocorreu anos ou mesmo décadas atrás, permitindo, dessa forma, mensurar resultados de longo prazo da política. Além disso, a negação do oferecimento de programas públicos para o grupo de controle pode ser considerada uma prática não ética, a depender da natureza da política que está sendo promovida.

Vários métodos observacionais são sugeridos para a avaliação de impacto. Dentre esses métodos, destacam-se na literatura: o método do antes-e-depois, o método dos com-e-sem, o método de diferenças-em-diferenças, o método do pareamento, a regressão múltipla, as regressões de descontinuidade, as variáveis instrumentais e as avaliações qualitativas (Gertler et al., 2017; Glennerster & Takavarasha, 2013).

Conforme Gertler et al. (2017), o método do antes-e-depois apresenta como estimativa do efeito de uma política pública a diferença entre a variável de interesse da população que recebeu o tratamento antes da política pública e após a política pública. Assim, por exemplo, se estivéssemos avaliando o impacto do oferecimento de bolsas de estudo no desempenho estudantil em matemática utilizando o método antes-e-depois, usaríamos as notas dos estudantes que receberam o tratamento antes das bolsas e após as bolsas para saber o quanto a política trouxe de incremento nas notas daqueles estudantes. O problema desse método, nesse caso, é que outros fatores podem estar agindo concomitantemente ao oferecimento da bolsa, como a mudança pedagógica de outro professor, e seriam as verdadeiras causas para a mudança do desempenho escolar.

Outro método comum, relatam os autores, é a estimativa do com-e-sem, que compara a variável de interesse dos que receberam a política daqueles que não receberam a política. No exemplo acima, poderíamos utilizar a metodologia com-e-sem comparando as notas escolares dos alunos que receberam a bolsa de estudos com as daqueles que não receberam a bolsa. Nesse caso, poderia haver viés na estimativa caso alguns fatores intrínsecos ao grupo de tratamento explicassem o recebimento das bolsas e, também, o desempenho escolar. Por exemplo, poderia ser constatado que todos aqueles que receberam as bolsas tiveram desempenho passado superior aos que não receberam, sendo que a diferença advinda das notas entre esses grupos não seria decorrente da bolsa

em si, mas da própria capacidade cognitiva desses alunos.

O método de diferenças-em-diferenças permite, em teoria, reduzir as chances de viés dos métodos antes-e-depois e com-e-sem. Isso ocorre porque a primeira diferença, nos resultados entre o antes e o depois, controlaria os fatores constantes ao longo do tempo daquele grupo (no exemplo, a habilidade cognitiva dos alunos). Já a segunda diferença seria responsável por controlar os fatores externos que variam com o tempo (no exemplo, a mudança de orientação pedagógica do novo professor).

Para aplicação do método de diferenças-em-diferenças, é preciso que sejam mensuradas as variáveis de interesse nos dois grupos antes e após a política pública. Além disso, é necessária a suposição de que as tendências observadas entre os dois grupos seriam mantidas constantes ao longo do tempo caso não fosse oferecida a política para o grupo de tratamento. A Equação 3 apresenta a fórmula da regressão multivariada para se extrair o estimador do impacto pelo método de diferenças-em-diferenças:

$$Y_i = \alpha + \beta(A_i \times T_i) + \gamma T_i + \delta A_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

em que:

- A_i é uma variável binária relativa ao tempo de observação da unidade i ($A_i=0$, antes da política, ou $A_i=1$, após a política);
- T_i é uma variável binária relativa ao recebimento do tratamento pela unidade i ($T_i = 1$, recebeu, $T_i = 0$, não recebeu);
- α é a média do grupo de controle antes da política;
- β é o estimador de diferenças-em-diferenças do impacto da política;
- γ é a média da diferença entre o grupo de tratamento antes e após a política;
- δ é a média da diferença entre o grupo de controle antes e após a política.

Segundo Glennerster e Takavarasha (2013), o método da regressão multivariada também é uma possibilidade para a aferição de impacto, β . O método assume como premissa que qualquer diferença entre os indivíduos tratados e não tratados pode ser controlado com a adição de variáveis explicativas adicionais x_{ij} , conforme Equação 4:

$$Y_i = \alpha + \beta T_i + \sum_{j=1}^J \gamma_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad (4)$$

Uma variação do método da regressão multivariada é o método da regressão descontínua. Conforme afirmam Glennerster e Takavarasha (2013), o uso desse método

é possível quando o programa possui regras claras de elegibilidade e que produzem um corte claro que divide os indivíduos tratados e não tratados. Assim, é possível selecionar uma subamostra compreendida por indivíduos imediatamente abaixo e imediatamente acima da linha de corte, acreditando-se, assim, que a única diferença entre eles será decorrente do tratamento.

De acordo com Gertler et al. (2017), o método de pareamento é outro tipo de método quase-experimental que permite a criação de grupos de comparação significativos nas situações em que o tratamento não foi oferecido de maneira aleatória.

O método de pareamento consiste em encontrar, na base de dados, indivíduos que possuem características similares aos indivíduos tratados. Essa comparação é feita na linha de base, isso é, com os registros anteriores ao início da política pública. Uma hipótese forte desse método é de que as características relevantes são observáveis e todas elas estão disponíveis na base de dados.

Ao parear indivíduos similares, presume-se que o efeito do tratamento seria o mesmo caso ele fosse oferecido para um ou outro indivíduo. Assim, subtraindo a diferença daqueles que receberam o tratamento de seus pares em relação àqueles que não receberam o tratamento e tirando a média desses valores, conseguiremos chegar à estimativa do efeito médio da política pública.

Uma dificuldade da aplicação do método consiste em realizar o pareamento dos indivíduos. A alternativa do pareamento perfeito exige uma grande base de dados e, caso sejam muitas as características, haverá explosão combinatória, tornando impossível ao pesquisador examinar todas as combinações possíveis. Geralmente, conforme relatam Gertler et al. (2017), utiliza-se a técnica de escores de propensão, que procura calcular – por exemplo, por meio de regressões probit ou logit – qual seria a probabilidade de cada indivíduo receber o tratamento conforme as suas características. O pareamento é feito, então, combinando indivíduos com probabilidades próximas.

Gertler et al. (2017) também recomendam que é possível a combinação de métodos para melhorar a validade das estimativas. Um exemplo é a combinação do método de diferenças-em-diferenças com o método do pareamento (*DD matching*). Nesse método, elimina-se parte do risco do método do pareamento, uma vez que ele lida apenas com características observadas.

Há situações em que há viés de seleção, que produz grupos de tratados e não tratados não balanceados em relação às suas características observadas e não observadas

(por exemplo, um programa de crédito incentivado, cuja adesão é majoritariamente feita por empresas com boas características). Conforme afirmam Glennerster e Takavarasha (2013), o método das variáveis instrumentais pode ser utilizado para recuperar uma estimativa não viesada do efeito do tratamento. O método das variáveis instrumentais requer que haja um fator que não seja sujeito ao viés de seleção e seja um bom preditor da participação, mas afete o resultado do programa somente porque ele preveja a participação. Um exemplo de variável instrumental seria uma propaganda feita de modo aleatório para incentivar a adesão ao programa, pois tal variável não afetaria nenhuma outra variável, exceto a adesão ao tratamento.

2.2.2 Fontes de incerteza na mensuração do impacto

Além da incerteza intrínseca ao cumprimento dos requisitos de cada metodologia de estimação de impacto, isso é, do risco do modelo, diversos outros fatores influenciam a confiança no conhecimento gerado pela aplicação dos modelos.

Vários estudiosos das metodologias de avaliação de impacto defendem que não é possível generalizar os resultados para um novo contexto, um problema também conhecido como transportabilidade dos resultados (Banerjee, Banerji et al., 2017; Athey & Imbens, 2017). Além disso, diversos fatores constituem uma fonte de incerteza para aferição da validade dos impactos estimados de uma política.

O artigo de Banerjee, Banerji et al. (2017) aponta seis desafios para a generalização de resultados colhidos de experimentos de pequena escala, geralmente implementados como prova de conceito, para previsão de resultados em programas de grande abrangência. Os pontos levantados são apresentados a seguir.

Efeitos de equilíbrio de mercado: ocorre quando a escala do programa é capaz de alterar a natureza do mercado. Por exemplo, quando um pequeno programa se torna um programa nacional, a intervenção poderá alterar os níveis salariais e preços de mercadorias. Por exemplo, a concessão de bolsas de estudo para um grupo limitado de pessoas pode ter um efeito grande no nível salarial dos beneficiários, porém a ampliação do programa para um nível nacional pode reduzir os ganhos relativos à escolaridade. Outro exemplo seria os ganhos de programas que propiciam o aumento do consumo de determinados tipos de bens. Em se tratando de um programa nacional, o programa beneficiaria não somente aqueles que adquirem o bem, mas também aqueles que o produzem, gerando um efeito multiplicador na economia.

Efeitos de transbordo: ocorre quando os efeitos da política acabam afetando os indivíduos no grupo de controle. Por exemplo, uma política de segurança pública em uma localidade pode provocar a migração da criminalidade para outra localidade. Outro exemplo seria um incentivo dado para uma empresa que é lesiva aos seus concorrentes.

Reações políticas: podem ocorrer quando um programa atinge certa escala, fazendo com que grupos de influência comecem a se apropriar de seu orçamento através de meios ilícitos.

Dependência do contexto: os programas-piloto geralmente ocorrem em uma determinada localidade, gerenciada por organizações específicas, cercadas por uma série de características locais e situações temporais que podem não se repetir na replicação do programa em outras localidades. Conforme apontam Banerjee, Banerji et al. (2017), uma maneira de consolidar a conclusão dos resultados coletados é a realização de meta-análises. Por exemplo, em um estudo sobre o impacto do microcrédito, Meager (2019) aplicou o Modelo Hierárquico Bayesiano popularizado por Rubin (1981) para consolidar seis estudos de impacto, assumindo que o efeito da política estimado em cada local adveio de uma distribuição normal.

Viés de aleatorização: surge do fato de que os indivíduos e as organizações que concordam em participar dos experimentos podem ser diferentes do restante da população. As razões para a diferença podem decorrer de vários motivos, como o nível de engajamento dos participantes, ou o local cuidadosamente escolhido para potencializar os resultados do experimento ou a avaliação pelos participantes de que eles possuem um perfil ideal para se beneficiar do programa.

Dificuldades de implementação: o monitoramento cuidadoso realizado em um projeto-piloto não é possível em um projeto de escala nacional. Por exemplo, o treinamento dos responsáveis pela condução dos programas em suas várias localidades pode ficar prejudicado, diminuindo a eficácia da política.

Zwane et al. (2011) também apontam os vieses decorrentes da própria pesquisa (*survey bias*). Os autores apontam, por exemplo, que as pessoas tendem a mentir sobre sua renda nos questionários, que entrevistadores terceirizados fraudam questionários e que perguntas malfeitas induzem entrevistados ao erro. Além disso, há, também, o chamado “efeito Hawthorne”, que ocorre quando o mero fato de você observar as unidades faz com que elas se comportem de maneira diferente.

Por fim, Gertler et al. (2015) apresentam algumas fontes adicionais de vies nas estimativas de impacto. Dentre essas fontes, eles citam o “efeito John Henry”, que acontece quando unidades de comparação trabalham mais arduamente para compensar a falta do tratamento, e o efeito antecipação, que ocorre quando, em um programa com expansão aleatória, as unidades no grupo de comparação podem esperar receber o programa no futuro e começar a mudar o seu comportamento antes que o programa realmente chegue.

2.2.3 Métodos de inferência e quantificação da incerteza

Como já discutido na subseção anterior, vários pesquisadores da temática de avaliação de impacto defendem que não é possível generalizar os resultados para um novo contexto (Banerjee, Banerji et al., 2017; Athey & Imbens, 2017). Além disso, como relatado, diversos fatores constituem uma fonte de incerteza para aferição da validade dos impactos estimados de uma política.

Do ponto de vista do tomador de decisão, o uso dos resultados de avaliações de impacto para subsidiar as suas ações também tem sido alvo de um amplo debate. Nesse sentido, algumas propostas têm emergido para lidar com a incerteza do efeito esperado de uma política quando ela for replicada para um novo contexto. Algumas dessas abordagens incluem o modelo hierárquico bayesiano (Rubin, 1981), o uso dos diagramas causais na teoria da fusão de dados (Bareinboim & Pearl, 2016), o mapeamento da teoria da mudança (TM) para a análise da similaridade da cadeia de eventos entre o tratamento proposto e o efeito observado (Gertler et al., 2017; White, 2009), as técnicas que misturam diversos tipos de fontes de informação, incluindo conclusões de estudos experimentais, observacionais e teóricos (Deaton & Cartwright, 2018), ou mesmo a sugestão favorável à liberdade subjetiva do tomador de decisão (Banerjee, Chassang et al., 2017).

Por trás dessas abordagens sugeridas, reside uma diferença epistemológica relativa à validade dos métodos inferenciais utilizados, dada em função de uma visão frequentista ou bayesiana do pesquisador. No modelo hierárquico bayesiano e na teoria da fusão de dados, a extrapolação do conhecimento é feita de forma explicitamente dependente da estatística bayesiana. Por outro lado, Banerjee, Chassang et al. (2017) não endossam ser possível nenhum método inferencial válido para o transporte dos resultados de impacto para outro contexto baseado em

experimentos prévios, embora utilizem o raciocínio bayesiano para inferir sobre o desenho ótimo do experimento de um decisor.

Conforme argumenta Poirier (1995), os frequentistas argumentam que situações que não admitem a repetição sob condições essencialmente idênticas não estão no âmbito da inferência estatística. Assim, de acordo com a visão frequentista, a inferência não pode ser aplicada: i) a fenômenos únicos e exclusivos; ii) a teorias (por exemplo, à teoria monetarista ou à teoria keynesiana); ou, iii) a situações passadas. Por outro lado, tais inferências são possíveis de acordo com a visão bayesiana da estatística.

Segundo Koop (2003), a visão frequentista é a visão dominante na ciência. Isso se dá devido a dois motivos principais: a controvérsia sobre o uso de conhecimento prévio na elaboração dos modelos inferenciais e as dificuldades computacionais da estatística bayesiana. Acerca do primeiro ponto, o autor argumenta que existe uma forte objeção de muitos pesquisadores ao uso de probabilidades subjetivas, que ameaçam a objetividade almejada pela ciência. Sobre o segundo ponto, o autor argumenta que a estatística bayesiana é computacionalmente difícil para muitas classes de problemas, o que atrapalha sobremaneira seu uso pelos pesquisadores.

Como defesa da estatística bayesiana, Koop (2003) declara que o processo de construção de modelos envolve uma série de informações não contidas nos dados (por exemplo, sobre qual modelo utilizar, qual critério deve ser empregado para comparar os modelos, quais resultados devem ser reportados etc.). Nesse sentido, a abordagem bayesiana é muito precisa e transparente sobre como tais informações são utilizadas na construção dos modelos. Além disso, é possível a utilização de conhecimento prévio não informativo nos modelos bayesianos, que implica resultados e conclusões idênticas às obtidas pelos modelos inferenciais da estatística frequentista. Em relação à dificuldade computacional, o autor argumenta que a evolução dos computadores e o desenvolvimento de novos algoritmos tornaram o uso da estatística bayesiana muito mais palatável.

Outras vantagens apontadas pelo autor para o uso dessa estatística são a propriedade de convergência para os dados (que faz a informação *a priori* tornar-se irrelevante com a adição de muitas novas informações), a possibilidade de utilização e conciliação de múltiplos modelos, a possibilidade de atualização do conhecimento com base em leis matemáticas objetivas e a capacidade de realização de análises de sensibilidade nas visões de mundo explicitadas pelos pesquisadores.

De acordo com DeGroot (1988), há grande necessidade de se quantificar a incerteza para desenvolvimento de métodos de decisão eficazes. Na visão do autor, a estatística bayesiana é a única capaz de prover um sistema coerente para a tomada de decisão em um ambiente de incerteza. Conforme ele argumenta, as principais alternativas para a representação da incerteza, dadas pelas abordagens Funções de Crença (Shafer, 1987) e Lógica Fuzzy (Zadeh, 1983), fornecem uma visão demasiadamente simplificada e pouco lógica para solução de problemas de decisão em comparação a uma visão integralmente baseada nas probabilidades. Nesse sentido, DeGroot (1988) argumenta em favor da abordagem bayesiana para quantificar a incerteza e descreve metodologias utilizando tal ferramental para comparar e consolidar a opinião de “especialistas”, definidos como modelos matemáticos ou opiniões de estudiosos sobre um determinado tema.

De maneira mais formal, temos que a estatística bayesiana é baseada na Regra de Bayes, definida pela Equação 5, em que A e B são variáveis aleatórias:

$$p(B|A) = \frac{p(A|B)p(B)}{p(A)} \quad (5)$$

Assim, se substituirmos, na Equação 5, A por X , que define o conjunto de dados observados, e B por θ , que define os parâmetros do modelo que explicam a ocorrência de X , chegaremos à equação:

$$p(\theta|X) = \frac{p(X|\theta)p(\theta)}{p(X)} \quad (6)$$

Essa relação matemática permite responder como inferir acerca do que se pode saber sobre θ , que é desconhecido, condicionado ao que já é sabido com base nos dados observados, explicitados no lado direito da Equação 6.

É interessante observar que a Equação de Bayes, dada pela Equação 6, também se aplica aos modelos de regressão, sendo que a variável X é substituída por Y , e que o parâmetro B , da regressão $Y = BX$, é representado pelo vetor de parâmetros θ .

Pode-se, ainda, expandir o cálculo à Equação 7 para tornar mais explícita a dependência da inferência ao modelo utilizado e de seus hiperparâmetros³:

³ Hiperparâmetros são parâmetros externos ao modelo e seus valores não são estimados pelos dados. Por exemplo, o tamanho da amostra utilizada pelo pesquisador para estimar uma média é um hiperparâmetro.

$$p(\boldsymbol{\theta}^k | \mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha}^k, M_k) = \frac{p(\mathbf{X} | \boldsymbol{\theta}^k, \boldsymbol{\alpha}^k, M_k) p(\boldsymbol{\theta}^k | \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)}{p(\mathbf{X} | \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)} \quad (7)$$

em que:

- \mathbf{X} é o conjunto dos novos pontos de dados, x_1, x_2, \dots, x_n ;
- $\boldsymbol{\theta}^k$ é o conjunto de parâmetros que caracteriza a distribuição de cada um dos pontos de dados, isso é, $x_i \sim p(x_i | \boldsymbol{\theta}^k, \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)$, segundo o modelo M_k ;
- $\boldsymbol{\alpha}^k$ é o conjunto de hiperparâmetros que caracteriza a distribuição dos parâmetros, isso é, $\boldsymbol{\theta}^k \sim p(\boldsymbol{\theta}^k | \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)$, segundo o modelo M_k ;
- M_k corresponde ao k-ésimo modelo em análise.

Além disso, o termo $p(\mathbf{X} | \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)$ pode ser ignorado, pois é uma constante que serve somente para que a função de probabilidade $p(\boldsymbol{\theta}^k | \mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)$ integre o intervalo entre zero e um, sendo que seu valor pode ser obtido *a posteriori*. Além disso, a derivação de $p(\mathbf{X} | \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)$ é dada por uma integral, conforme Equação 8, que pode não possuir fórmula fechada para aferição de seu valor.

$$p(\mathbf{X} | \boldsymbol{\alpha}^k, M_k) = \int p(\mathbf{X} | \boldsymbol{\theta}^k, \boldsymbol{\alpha}^k, M_k) p(\boldsymbol{\theta}^k | \boldsymbol{\alpha}^k, M_k) d\boldsymbol{\theta}^k \quad (8)$$

Assim, a Equação 9 pode ser utilizada para atualizar os parâmetros de uma distribuição *a priori*, $p(\boldsymbol{\theta}^k | \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)$, para obtenção da *distribuição a posteriori*:

$$p(\boldsymbol{\theta}^k | \mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha}^k, M_k) \propto p(\mathbf{X} | \boldsymbol{\theta}^k, \boldsymbol{\alpha}^k, M_k) p(\boldsymbol{\theta}^k | \boldsymbol{\alpha}^k, M_k) \quad (9)$$

Como pode ser percebido na Equação 9, a distribuição *a posteriori* $p(\boldsymbol{\theta}^k | \mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)$ é proporcional a dois elementos: a *distribuição a priori* $p(\boldsymbol{\theta}^k | \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)$, que informa o quanto já se sabe sobre o fenômeno estudado; e a *distribuição de máxima verossimilhança* $p(\mathbf{X} | \boldsymbol{\theta}^k, \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)$, que informa qual a probabilidade de se observar os novos dados \mathbf{X} , considerando os parâmetros $\boldsymbol{\theta}^k$ e hiperparâmetros $\boldsymbol{\alpha}^k$ do modelo M_k estudado.

A atualização dos parâmetros $p(\boldsymbol{\theta}^k | \mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha}^k, M_k)$ pode ser feita com todos os novos dados de uma vez, isso é, x_1, x_2, \dots, x_n ; ou, de maneira equivalente, sequencialmente a partir de cada nova observação x_i , ou seja, a distribuição *a posteriori* dos parâmetros $\boldsymbol{\theta}$ atualizada após a observação x_i torna-se a distribuição *a priori* para a atualização de $\boldsymbol{\theta}$ com a nova observação x_{i+1} .

Quando não é possível a derivação de uma fórmula fechada para a distribuição *a posteriori*, $p(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha})$, o procedimento conhecido como *Gibbs Sampling* pode ser utilizado. Ignorando a dependência do modelo, M_k , o roteiro para a execução do algoritmo para o cômputo de $p(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha})$ é dado por:

1. para cada um dos parâmetros θ_i em $\boldsymbol{\theta}$, achar a distribuição condicional completa para θ_i , dada por $p(\theta_i|\boldsymbol{\theta}_c, \mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha})$, em que $\boldsymbol{\theta}_c$ contém todos os parâmetros de $\boldsymbol{\theta}$, exceto θ_i ;
2. atribuir valores iniciais para todos os elementos de $\boldsymbol{\theta}$, obtendo o vetor $\boldsymbol{\theta}^1$;
3. para cada i em $\boldsymbol{\theta}$, sortear um novo valor para θ_i^t , usando $p(\theta_i|\boldsymbol{\theta}_c^{t-1}, \mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha})$;
4. repetir o passo 3 para obter um total de n amostras do vetor $\boldsymbol{\theta}^t$;
5. para cada i em $\boldsymbol{\theta}$, analisar a estabilidade da distribuição de θ_i para descartar os m primeiros vetores $\boldsymbol{\theta}^{t=1, \dots, m}$ que não são estacionários.

Como pela regra da cadeia $p(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha}) = p(\theta_i|\boldsymbol{\theta}_c, \mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha})p(\boldsymbol{\theta}_c|\mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha})$ e $p(\boldsymbol{\theta}_c|\mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha})$ não depende de θ_i , então teremos que $p(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha}) \propto p(\theta_i|\boldsymbol{\theta}_c, \mathbf{X}, \boldsymbol{\alpha})$. Assim, o processo para achar a distribuição de probabilidade *a posteriori* é o mesmo do que o requerido para achar a probabilidade condicional completa de cada parâmetro, fingindo que todos os outros parâmetros são conhecidos.

Além disso, a Equação de Bayes também pode ser utilizada para agregar vários modelos distintos em um único modelo. Considerando dois modelos distintos, M_1 e M_2 , e omitindo os seus parâmetros e hiperparâmetros, Koop (2003) define a seguinte equação para o cômputo da média de modelos:

$$p(\mathbf{X}^*|\mathbf{X}) = p(\mathbf{X}^*|\mathbf{X}, M_1)p(M_1|\mathbf{X}) + p(\mathbf{X}^*|\mathbf{X}, M_2)p(M_2|\mathbf{X}) \quad (10)$$

em que:

- \mathbf{X} é o conjunto dos novos pontos de dados disponíveis, x_1, x_2, \dots, x_n ;
- \mathbf{X}^* é o conjunto de pontos de dados que se deseja prever;
- $p(M_k|\mathbf{X})$ é o nível de confiança no modelo M_k , após a ocorrência dos novos dados; e
- $p(\mathbf{X}^*|\mathbf{X}, M_1)$ é a previsão gerada utilizando o modelo M_k .

2.2.3.1 Técnicas de meta-análise

Conforme Higgins e Sally (2008), no campo da medicina, é muito comum o uso

da estatística bayesiana para a realização de meta-análises para a consolidação dos resultados de diversos estudos que analisam os efeitos produzidos por um determinado tratamento.

A maioria dos estudos de meta-análise, apontam Borenstein et al. (2009), estão baseados em dois modelos estatísticos, o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios.

No modelo de efeito fixo, assume-se que existe um efeito verdadeiro que subsiste em todos os estudos na análise e que todas as diferenças nos efeitos observados se devem a erro de amostragem. Por outro lado, no modelo de efeitos aleatórios, permite-se que o efeito verdadeiro possa variar de estudo para estudo. Como exemplo, argumentam os autores, o tamanho do efeito pode ser maior (ou menor) em estudos em que os participantes são mais velhos, mais instruídos ou mais saudáveis do que em outros, ou quando uma variante mais intensiva de uma intervenção é usada.

Em termos formais, as estimativas do efeito sumarizado segundo o modelo de efeitos fixos são feitas ponderando-se os efeitos individuais de cada estudo pelo inverso de sua variância, conforme as seguintes equações:

$$W_i = \frac{1}{V_{Y_i}} \quad (11)$$

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Y_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (12)$$

$$V_M = \frac{1}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (13)$$

$$SE_M = \sqrt{V_M} \quad (14)$$

$$Z = \frac{M}{SE_M} \quad (15)$$

$$p = 2[1 - \Phi(|Z|)] \quad (16)$$

em que:

- Y_i e V_{Y_i} são, respectivamente, o efeito médio e a variância específica do estudo i ;
- M é o efeito médio sumarizado de todos os estudos;
- V_M é a variância do efeito sumarizado dos estudos;
- SE_M é o erro-padrão do efeito sumarizado;
- Z é a estatística para testar que o efeito sumarizado verdadeiro é nulo; e
- p é o p-valor do teste de hipótese bicaudal computado a partir da distribuição normal padronizada $\Phi(\cdot)$.

Já no caso do modelo de efeitos aleatórios, a variância de cada um dos estudos deve ser adicionada de um parâmetro T^2 que reflete a variância dos efeitos médios populacionais entre n estudos, que pode ser estimada pelas seguintes equações:

$$V_{Y_i}^* = V_{Y_i} + T^2 \quad (17)$$

$$T^2 = \frac{Q - df}{C} \quad (18)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n W_i Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n W_i Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (19)$$

$$df = n - 1 \quad (20)$$

$$C = \sum_{i=1}^n W_i - \frac{\sum_{i=1}^n W_i^2}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (21)$$

De posse $V_{Y_i}^*$, o efeito sumarizado pode ser estimado de maneira similar às equações 11 a 16, usando o asterisco (*) para denotar a versão dos estimadores de efeitos aleatórios, conforme equações a seguir:

$$W_i^* = \frac{1}{V_{Y_i}^*} \quad (22)$$

$$M^* = \frac{\sum_{i=1}^n W_i^* Y_i}{\sum_{i=1}^n W_i^*} \quad (23)$$

$$V_M^* = \frac{1}{\sum_{i=1}^n W_i^*} \quad (24)$$

$$SE_M^* = \sqrt{V_M^*} \quad (25)$$

$$Z^* = \frac{M^*}{SE_M^*} \quad (26)$$

$$p^* = 2[1 - \Phi(|Z^*|)] \quad (27)$$

O trabalho de Rubin (1981) constitui uma referência no campo das ciências sociais para o uso das equações de Bayes na consolidação de estimativas de estudos paralelos sobre um mesmo fenômeno. Em seu artigo, o autor propõe que cada uma das estimativas $\hat{\mu}_i$ inferidas de um número i de RCTs é originária de uma distribuição normal com média μ_* e variância V_* . Assim, o autor deduz, a partir das equações da estatística bayesiana, que cada μ_i é independentemente distribuído com uma média comum μ_* e variância $V_i + V_*$, o que faz com que μ_* esteja centrado próximo de cada $\hat{\mu}_i$ e V_* reflita uma variabilidade extra de cada $\hat{\mu}_i$ além da variabilidade amostral V_i . Fixando-se V_* em zero, o autor apresenta as seguintes equações⁴ para a consolidação do efeito μ de n experimentos:

$$\mu = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i}} \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{V_i} \quad (28)$$

e com variância V dada por:

$$V = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i} \right)^{-1} \quad (29)$$

⁴ Como se pode perceber, as equações são equivalentes às equações de sumarização de estudos, conforme o modelo de efeitos fixos.

Um exemplo dessa metodologia aplicada aos investimentos de impacto é o estudo sobre o impacto do microcrédito realizado por Meager (2019), que aplicou o modelo hierárquico bayesiano de Rubin (1981) para consolidar os resultados de outros seis estudos, assumindo que o efeito da política estimado em cada local adveio de uma distribuição normal. A conclusão do autor foi de que o uso da técnica de agrupamento sugere que os efeitos específicos de cada estudo são razoavelmente válidos externamente e, portanto, informativos uns para os outros e para o caso geral.

Em suma, a estatística bayesiana permite ao decisor lidar de maneira explícita com suas hipóteses e sua visão de mundo, ao expressar suas incertezas no formato de distribuição de probabilidades. Assim, de posse de tais distribuições, o decisor estará apto a utilizá-las para alimentar sistemas computacionais de apoio à decisão ainda mais complexos.

2.2.3.2 Técnicas de mapeamento da cadeia de eventos

Conforme descreve White (2009), os apelos para uma avaliação de impacto rigorosa foram acompanhados pela busca não apenas de descobrir o que funciona, mas por quê. Assim, afirma o autor, é amplamente aceito que uma abordagem baseada em uma teoria para o mapeamento da cadeia causal de entradas a resultados, e que testa as suposições subjacentes, lançará luz sobre a questão do porquê.

Conforme já abordado, a dependência do contexto da avaliação levanta o questionamento sobre se os resultados encontrados em um determinado estudo se estenderiam para outra configuração em outra localidade, e se os resultados são dependentes de algumas características observáveis ou não observáveis do local no qual a intervenção foi realizada.

Conforme Gertler et al. (2017), a teoria da mudança é um exercício teórico que descreve como, a partir de um determinado contexto econômico e social, dos costumes e de insumos e recursos disponíveis, uma intervenção desencadeará uma sequência de efeitos que resultará na mudança esperada para um grupo de indivíduos. Dessa forma, a teoria da mudança explicita as condições e os pressupostos necessários para que a mudança ocorra.

Em particular, a teoria da mudança é de especial interesse para a gestão dos investimentos de impacto, uma vez que tais instrumentos exigem, além do uso de

evidências e dados para sua formatação e seu gerenciamento, a explicitação de toda a cadeia de eventos necessária entre a política empregada e os resultados almejados (Wood et al., 2013). E, como conclui Jackson (2013b), o ferramental relacionado à teoria da mudança, desenvolvido no campo de avaliação de programas, pode e deve ser um elemento central na avaliação de investimentos de impacto.

White (2009) aponta que a falha na especificação da teoria da mudança pode ser a causa do insucesso de várias políticas públicas já implementadas. O autor exemplifica que o fracasso do Projeto de Nutrição Integrada de Bangladesh, um programa que visava melhorar a nutrição de crianças por meio do aconselhamento dos pais e do fornecimento de alimentação suplementar, adveio, basicamente, de elos fracos ou ausentes na cadeia causal inicialmente sugerida. Por conta desse erro, apesar de o programa ter sido considerado, em princípio, um sucesso, constatou-se, a partir de uma revisão no fluxo causal realizada ao final do projeto, que não houve diferença significativa entre as crianças nos grupos de tratamento e controle.

Nessa mesma linha de argumentação, a partir de um estudo comparativo de avaliação de impacto de programas de microcrédito em diferentes contextos, Pritchett e Sandefur (2015) recomendam aos formuladores de políticas que foquem na heterogeneidade existente para a extração de lições das avaliações de impacto.

Diante do exposto, uma solução de contorno para a questão da generalização dos estudos de RCTs está no mapeamento do fluxo dos eventos que conectam o tratamento proposto e o efeito observado. Em outras palavras, é necessário investigar a teoria da mudança por trás da política e verificar se as condições locais, os comportamentos e as condições de implementação se mantêm no novo contexto.

Uma formalização do mapeamento da cadeia de eventos é explorada no trabalho de Pearl (2009) junto ao campo da inteligência artificial. Aqui se tem o propósito de desenvolver uma metodologia para extrair as relações de causa e efeito a partir de dados empíricos, propiciando ao computador uma sistemática em prol de inferências causais não apresentadas diretamente nos dados. Apesar de ser destinado ao ramo da computação, o estudo em questão apresentou resultados importantes para os seguintes campos: estatística, filosofia, psicologia, medicina, biologia e ciências sociais. Para as ciências políticas, em especial, definido um modelo causal, o modelo de Pearl é capaz de prever o efeito de ações e políticas oriundas de uma intervenção específica.

Para compreender o modelo elaborado por Pearl, deve-se entender a diferença

entre causalidade e associação. É amplamente aceito na estatística que a existência de correlação não implica causalidade. Um exemplo de confusão entre tais conceitos foi decorrente do surto de ebola na África: uma tribo associou a presença dos agentes de saúde ao surto da doença, assassinando-os brutalmente na esperança de conter a doença (McCoy, 2014). O trabalho de Pearl (2009) desafia esse dogma estatístico, pois o autor alega ser possível estabelecer um vínculo entre associação e causalidade, uma vez definida a cadeia de eventos.

De acordo com Pearl (2009), o fluxo causal é bem representado com o uso de grafos. Cada ponto no grafo corresponde a uma variável de análise, e as setas entre os pontos correspondem a uma relação de causalidade direcional. Por exemplo, considerando um conjunto de quatro variáveis $\{a, b, c, d\}$ conhecidas e um conjunto de variáveis desconhecidas $\{*\}$, é possível construir inúmeras relações causais, como as ilustradas na Figura 2.

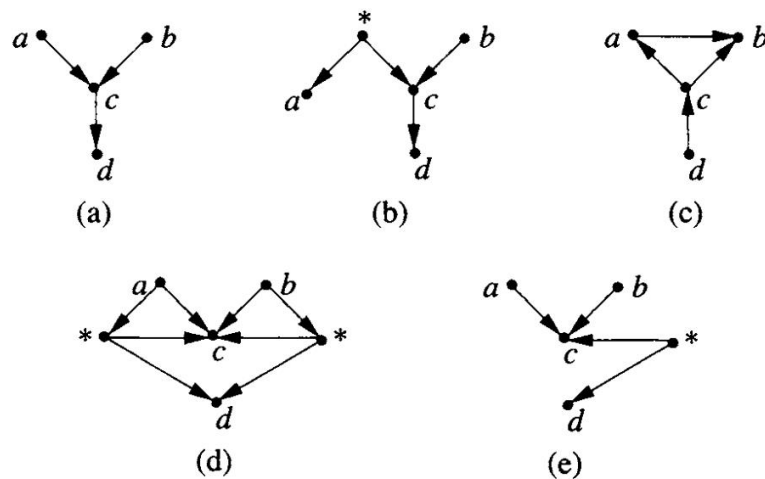


Figura 2

Possíveis relações causais entre um conjunto de variáveis

Nota: O nó (*) representa uma variável oculta. Fonte: Pearl (2009).

Desconsiderando as variáveis ocultas, duas variáveis X e Y podem gerar quatro tipos de grafos, a saber: 1) X causa diretamente Y ; 2) Y causa diretamente X ; 3) X e Y se influenciam mutuamente; ou, 4) X ou Y não possuem nenhuma relação causal.

De modo geral, a Tabela 4, apresentada por Shipley (2016), relaciona o número de variáveis e o número de relações causais possíveis. Conforme essa tabela, o uso de um quantitativo relativamente pequeno de variáveis poderia resultar em um número de

combinações possíveis considerável para o desenho da teoria da mudança de uma política pública.

Tabela 4

Número de grafos causais que podem ser construídos a partir de um número N de variáveis

Número de Variáveis	Número de Grafos
2	4
3	64
4	4.096
5	1.048.576
6	1.073.741.824

Fonte: Shipley (2016).

A base do trabalho de Pearl (2009) é que, ao aceitar um determinado fluxo causal como verdadeiro, os dados ali obtidos devem preservar algumas propriedades imutáveis. Por exemplo, quando se postula que uma variável A possui algum efeito em uma variável B, que, por sua vez, acarreta algum efeito na variável C (grafo $A \rightarrow B \rightarrow C$), logo, quando se conhece a variável B, A e C se tornam não correlacionadas dada a informação de B. De modo geral, Pearl (2009) propõe uma definição chamada *D-Separation*, que é capaz de, de forma automática, identificar os pontos de independência condicional em um dado grafo. Assim, com testes de autocorrelações parciais, é possível testar a veracidade ou não de um Diagrama Causal (Shipley, 2016).

Além disso, Pearl (2009) desenvolveu um sistema algébrico próprio para operar os Diagramas Causais, que permite resolver problemas causais muito complexos para serem solucionados com auxílio somente do intelecto. O sistema algébrico, denominado *do-calculus*, faz uso de extensões simples do cálculo de probabilidades, a fim de determinar matematicamente efeitos de uma intervenção, quais variáveis de controle devem ser medidas conjuntamente para determinar o contexto de uma intervenção e como estimar a probabilidade de que um evento foi a causa real de outro.

Assim, em relação ao problema da generalização e transportabilidade de estudos de impacto de intervenções, a metodologia de Pearl (2009) também é útil para destacar as informações que são relevantes na teoria da mudança. Por exemplo: uma política é implementada e avaliada pelo método experimental no Chile e se deseja prever qual seria seu impacto no Brasil. Pela metodologia supramencionada, além do experimento em si, saber-se-ão quais seriam as variáveis de medição no Chile e no Brasil, a fim de

transportar os resultados da política chilena para o contexto brasileiro.

O trabalho de Bareinboim e Pearl (2016) também aborda, no contexto de *Big Data*, o problema da combinação conjuntos de dados coletados sob condições heterogêneas, a fim de sintetizar estimativas consistentes de efeitos causais em uma população-alvo. Nesse sentido, cabe pontuar que tal tarefa pode ser facilitada com o surgimento e o uso maciço de infraestruturas de compartilhamento de dados nas pesquisas científicas no campo das ciências sociais, como o *The Dataverse Project*⁵, descritos em King (2007) e Castro e Garnett (2014).

Finalmente, destaca-se que outra aplicabilidade dos diagramas causais como representação da teoria da mudança reside na possibilidade de sua utilização no registro de planos de pré-análise em publicações científicas, como descrito em Christensen e Miguel (2018). Tal prática limitaria a busca posterior do pesquisador por novas formas de especificação do modelo, uma manipulação realizada para explorar o viés de publicação de periódicos científicos, que tendem a favorecer trabalhos com resultados estatisticamente significativos (Brodeur, Lé, Sangnier, & Zylberberg, 2016).

2.3 Integração da gestão financeira e gestão de impacto

Como comentado na seção anterior, a principal característica dos investimentos de impacto é a busca simultânea por retornos financeiros e sociais. Assim, considerando haver o interesse na modelagem do problema do investidor de impacto de forma estruturada, uma discussão acerca da técnica de otimização multiobjetivo faz-se necessária.

2.3.1 Otimização multiobjetivo

Segundo Cohon (1978), a otimização multiobjetivo é uma excelente ferramenta para ser utilizada no planejamento de políticas públicas, uma vez que o processo decisório público se preocupa com um grande número de interesses econômicos e sociais, como decisões com impactos sobre a eficiência econômica, a equidade social e a qualidade do meio ambiente. Um problema geral de otimização multiobjetivo com n

⁵ Disponível em: <https://dataverse.org/>

variáveis de decisão, m restrições e p objetivos é dado pela seguinte equação:

$$\begin{aligned}
 & \text{maximizar} \quad \mathbf{Z}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\
 & \quad = [Z_1(x_1, x_2, \dots, x_n), Z_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, Z_p(x_1, x_2, \dots, x_n)] \\
 & \text{sujeito a} \quad g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & \quad \quad \quad x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{30}$$

em que: $Z(x_1, x_2, \dots, x_n)$ é a função multiobjetivo e $Z_1(\quad)$, $Z_2(\quad)$, ..., $Z_p(\quad)$ são as p funções objetivo individuais. Cohon (1978) frisa que as funções objetivo individuais são meramente listadas na Equação 30, elas não são adicionadas, multiplicadas ou combinadas em alguma forma.

Obviamente, conforme aponta Cohon (1978), uma primeira dificuldade que surge é quanto à própria definição dos objetivos e de sua mensuração. Por exemplo, mensurar o valor estético do meio ambiente é algo extremamente difícil. Mesmo que uma métrica possa ser inventada, não há garantia de que ela será significativa para o conjunto de decisores. Em relação a esse ponto, o autor exemplifica que uma pessoa pode ver o rio como uma cena esteticamente valiosa, enquanto outro pode valorizar as árvores que estão em suas margens.

Cohon (1978) lista duas abordagens iniciais para a solução da Equação 30: a) a modelagem das preferências dos decisores por meio de uma função utilidade, tornando, na prática, o vetor \mathbf{Z} um escalar; ou b) a construção de uma fronteira de eficiência, composta por soluções não inferiores entre os objetivos, cujo escopo é fornecer os insumos necessários para os gestores decidirem, em um segundo momento, acerca de suas preferências sobre os *trade-offs* existentes na busca de cada um dos objetivos.

Segundo o autor, há vantagens e desvantagens em relação a cada uma das abordagens. Em relação à construção da função utilidade, o autor menciona que a elucidação das preferências dos decisores para a construção de uma função matemática é uma atividade muito complexa para o analista e demandante de tempo dos decisores. Além disso, o autor menciona que muitos decisores se sentem desconfortáveis em vocalizar alguns tipos de preferências, como, por exemplo, quando são instigados a quantificar o valor financeiro de uma vida humana para fazer frente ao *trade-off* entre custo financeiro de uma rodovia e segurança de seus usuários. Por outro lado, a

construção de uma função utilidade para ordenamento das preferências simplifica sobremaneira o problema de otimização, pois transforma uma função objetivo vetorial em uma escalar.

A preferência de Cohon (1978) é que a modelagem dos problemas de gestão pública deve ser feita via otimização multiobjetivo, uma vez que tal abordagem liberta o analista de todas as dificuldades envolvidas na modelagem de preferências e atribui aos decisores a escolha política entre as alternativas da fronteira de eficiência apresentada pelo analista.

Considerando dois vetores de objetivos possíveis \mathbf{Z}^A e \mathbf{Z}^B , conforme definição apresentada em Collete e Siarry (2003), diz-se que o vetor \mathbf{Z}^A domina o vetor \mathbf{Z}^B se: 1) \mathbf{Z}^A é ao menos tão bom quanto \mathbf{Z}^B para todos os objetivos, e 2) \mathbf{Z}^A é estritamente melhor que \mathbf{Z}^B para ao menos um objetivo. Assim, o conjunto de vetores não dominados forma a fronteira eficiente (também denominada de fronteira de Pareto) do problema multiobjetivo.

A própria ordenação dos vetores desempenha um importante ônus computacional nos algoritmos. A relação de não dominância de cada vetor pode ser verificada com um *loop* aninhado duplo, mas possui uma complexidade computacional de ordem $O(n^2)$ (Daskalakis et al., 2011; Emmerich & Deutz, 2018). No entanto, o algoritmo apresentado em Kung et al. (1975) pode encontrar o conjunto não dominado em complexidade $(n(\log n)^{d-2})$, quando o vetor \mathbf{Z} tem dimensão $d \geq 3$.

Para construção da fronteira eficiente, vários métodos são propostos por Cohon (1978), entre os quais o método dos pesos e o método das restrições se destacam pela simplicidade.

O método dos pesos atribui pesos arbitrários para os objetivos, por exemplo, para uma função com dois objetivos Z_1 e Z_2 , a fronteira é calculada atribuindo pesos (w_1, w_2) para a função $w_1Z_1 + w_2Z_2$, fazendo (w_1, w_2) iguais a $(1,0), (0,1), (1,1), (1,2), (1,3)$ e $(1,4)$. Como pondera o autor, os valores absolutos dos pesos são irrelevantes para a definição da fronteira, pois o que importa são seus valores relativos. Marler e Arora (2010) destacam que o uso de técnicas de reescalonamento visando à comparabilidade dos objetivos às vezes é necessário para permitir a utilização do método dos pesos para a otimização multiobjetivo.

O método das restrições funciona mantendo apenas um objetivo na função objetivo e reposicionando os outros como restrições arbitrárias no problema de

Pesquisa Operacional. A fronteira eficiente é, então, determinada variando os valores das restrições para cada um dos objetivos. O problema de tal abordagem, conforme argumenta Cohon (1978), é que o método implica resolver inúmeros problemas cuja solução não é viável.

O método dos pesos e o método das restrições funcionam com algoritmos tradicionais de otimização escalar. Existem, no entanto, algumas adaptações a esses algoritmos para lidar diretamente com problemas multiobjetivos. O levantamento de Fukuda e Graña Drummond (2014) aponta que os métodos da descida mais acentuada (Graña Drummond & Svaiter, 2005), do gradiente projetado (Fukuda & Graña Drummond, 2011) e da Descida Vetorial de Newton (Fliege et al., 2009) não têm a desvantagem de convergir para soluções ilimitadas para um número arbitrário de parâmetros iniciais.

Outra abordagem para resolver problemas multiobjetivos é usando algoritmos de busca heurística, muitos inspirados em processos biológicos, como os algoritmos: otimização por enxame de partículas (Reyes-Sierra & Coello Coello, 2006), otimização por colônia de formigas (Lopez-Ibanez & Stutzle, 2012) e algoritmos evolutivos (Deb, 2001). Como exemplo da última categoria mencionada, os algoritmos genéticos são amplamente utilizados por pesquisadores e praticantes para resolver problemas multiobjetivos, pois geram uma população de soluções, permitindo uma aproximação de toda a fronteira de Pareto em uma única execução do algoritmo em vez de buscar uma única solução de cada vez (Goh & Tan, 2009).

Os algoritmos genéticos baseiam-se na ideia de uma população de soluções (vetores de decisão) que evoluem em termos de aptidão, de acordo com regras e operadores definidos, como reprodução, cruzamento, elitismo e mutação. Como na versão escalar do algoritmo, os algoritmos genéticos multiobjetivos tendem a ter um desempenho relativamente bom em funções não convexas e não ficam presos em ótimos locais (Deb, 2001). No entanto, no algoritmo genético multiobjetivo, a aptidão não compreende apenas o desempenho em termos da função objetivo, mas também tende a valorizar a diversidade populacional de forma a cobrir todo o espaço objetivo, como proposto no algoritmo *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II) (Deb et al., 2002).

Como Emmerich e Deutz (2018) apontaram, em alguns casos, reduzir o espaço de decisão para a fronteira de Pareto não é suficiente para a tomada de decisão

posterior, pois muitas soluções possíveis podem coexistir. Nessa situação, os autores recomendaram alguns métodos de elicitaco de preferências, como os discutidos em *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA). Uma comparao empírica dos resultados de ordenao de preferência dos principais algoritmos MCDA e suas ressalvas pode ser encontrada em Leoneti (2016) e Aires e Ferreira (2018).

O algoritmo de pseudopesos apresentado em Deb (2001) ilustra um possível tipo de análise pós-otimalidade. Por esse algoritmo, as decisões podem ser classificadas multiplicando-se o vetor de pesos para os objetivos, que  escolhido pelo decisor, pela importância relativa de cada objetivo em um vetor de decisão $\mathbf{Z} = [z_1, \dots, z_p]$, dado pela equao:

$$w_i = \frac{z_i^{max} - z_i}{z_i^{max} - z_i^{min}} / \sum_{j=1}^p \frac{z_j^{max} - z_j}{z_j^{max} - z_j^{min}} \quad (31)$$

Como mencionado, outra linha de modelagem  o uso direto das preferências dos decisores a partir de funoes utilidade, transformando o problema multiobjetivo em um de objetivo nico. Conforme aponta Edwards (1954), a origem do termo utilidade remonta de uma escola de filósofos-economistas iniciada por Jeremy Bentham e popularizada por James Mill. Eles acreditavam que todo objetivo da ao humana visa  procura de prazer ou  evitao de sofrimento. Assim, todo objeto ou ao humana poderia ser analisado por uma propriedade chamada utilidade, sendo o prazer associado a um montante positivo de utilidade e a dor a um montante negativo de utilidade. A decisão humana , então, definida por uma busca pela maximizao da utilidade.

A funo utilidade  uma funo matemática que associa a posse de um bem ou a concretizao de uma ao a um valor. Por exemplo, uma funo utilidade do tipo $u(A, B) = A + 2B$ indica que a escolha de uma unidade do bem/ao A gera uma unidade de utilidade, enquanto a escolha por uma unidade do bem/ao B geraria duas unidades de utilidade, ou seja, o indivíduo seria indiferente entre decidir sobre obter duas unidades de A ou uma unidade de B. Além disso, o conjunto de todas as possibilidades de escolha que produzem uma mesma utilidade agregada forma uma curva denominada de "curva de indiferncia". Tal curva  tangente  fronteira de eficiência, calculada de acordo com algum dos algoritmos explanados anteriormente. Obviamente, de posse da funo utilidade, o cálculo de toda fronteira de eficiência não  necessário, uma vez que a busca do ponto tangente poderá ser feita diretamente.

Um desenvolvimento axiomático das propriedades desejáveis das funções utilidade considerando eventos de incerteza foi apresentado por von Neumann e Morgenstern (1944). Apesar do ganho analítico possível com essa abstração matemática, os autores confessam que as funções utilidade são, em grande medida, incomensuráveis.

Um aprofundamento das técnicas para o uso das funções utilidade para representar preferências decisórias de agentes que tenham múltiplos objetivos em problemas de otimização pode ser encontrado em Keeney e Raiffa (1993). Em uma perspectiva mais ampla, o trabalho de Mishan e Quad (2007) fornece um arcabouço teórico para realização de análises custo-benefício para decisões de investimento ou políticas públicas, no qual consideram não somente os benefícios dos agentes envolvidos, como as externalidades socioambientais das decisões.

2.3.2 Formação de carteiras com múltiplos objetivos

A gestão de carteiras tradicional tem em sua origem o trabalho de Markowitz (1952), no qual o autor propôs uma metodologia para a construção de carteiras baseada na seguinte otimização:

$$\begin{array}{ll}
 \textit{minimizar} & \mathbf{w}'\Sigma\mathbf{w} \\
 \\
 \textit{sujeito a} & \mathbf{w}'\mathbf{r} \geq k \\
 & \mathbf{w}'\mathbf{1} = 1
 \end{array} \tag{32}$$

em que: \mathbf{w} é um vetor com as proporções investidas em cada ativo, \mathbf{r} é o vetor de retornos esperados em cada ativo, k é a meta desejada de retorno da carteira e Σ é a matriz de covariâncias entre os retornos dos ativos.

Dessa forma, no modelo de média-variância proposto por Markowitz, já há dois objetivos implícitos na preferência do investidor, quais sejam: o ganho de retorno financeiro e a minimização do risco. Portanto, trata-se de um problema multiobjetivo que pode ser endereçado às técnicas tradicionais concernentes a essa metodologia, transformando o problema de multiobjetivo em um de objetivo único com a definição *a priori* das preferências (por exemplo, fixando um retorno k ideal, assumindo uma função utilidade com grau de aversão ao risco fixo etc.); ou calculando toda a fronteira de Pareto para que o decisor possa escolher, em um segundo momento, o seu ponto

preferido de investimento. Segundo Engau (2009), também é possível o uso de métodos interativos para solução dos problemas de carteiras com múltiplos objetivos. Por essa abordagem, o tomador de decisão é apresentado constantemente a subproblemas, o que facilitaria a articulação de suas preferências na convergência do algoritmo para a busca da solução ótima.

Para Fliege e Werner (2014) e Kolm et al. (2014), o risco de estimação representa um tópico popular e muito pesquisado, principalmente no contexto de otimização de portfólios, pois as estimativas de retorno e as covariâncias utilizadas no modelo de otimização média-variância são muito sensíveis às mudanças nos dados de entrada. Para lidar com esse problema, os autores listam que vários métodos bayesianos foram propostos para a obtenção de um estimador mais eficiente. Outra abordagem sugerida por Fliege e Werner (2014) é o uso da otimização robusta para lidar com a incerteza das estimativas. Para Kolm et al. (2014), a visão abrangente fornecida para a gestão dos portfólios possível pela estrutura bayesiana é muito valiosa na prática, pois permite que os sistemas de previsão usem fontes de informação externas e intervenções subjetivas (isso é, modificação do modelo devido a julgamento), além de fontes de informação tradicionais. O modelo de gestão de carteiras de Black e Litterman (1991), por exemplo, vale-se da estatística bayesiana para incorporar opiniões de especialistas acerca da expectativa de retorno de um ou mais ativos do portfólio e, ainda, permite atribuir diferentes graus de confiança para cada uma delas.

Saltuk e Idrissi (2012) propõem que a inclusão de objetivos socioambientais poderia ser feita acrescentando mais dimensões no modelo de seleção de carteiras de forma a construir fronteiras eficientes de múltiplas dimensões. No caso específico do estudo, os autores trabalham com uma fronteira eficiente tridimensional, pois, além das variáveis tradicionais envolvendo o retorno financeiro e o risco dos investimentos, eles sugerem incorporar ao modelo uma variável genérica chamada “impacto” para refletir o retorno socioambiental esperado de cada alternativa de investimento.

Segundo Agrawal e Hockerts (2019), a discussão dos riscos e das recompensas dos investimentos de impacto podem ser feitas usando a teoria de portfólios, contudo a falta de dados longitudinais e de uma população suficiente de investimentos de impacto dificulta a exploração do desempenho desse setor.

Ballesterio et al. (2012) desenvolveram um modelo multicritério integrado à teoria de portfólios para o uso da técnica de *screening* para a gestão de carteira de ações

com objetivos éticos e financeiros. Na modelagem desenvolvida, os ativos são avaliados somente em relação aos seus retornos e riscos financeiros, contudo, há, na função objetivo, a parametrização da função de preferência do investidor para privilegiar ativos categorizados no grupo de impacto socioambiental.

Não obstante ser possível o paralelo entre a teoria de carteiras tradicional e a gestão de portfólios de impacto, é conveniente pontuar algumas diferenças entre tais tipos de investimentos, características essas apresentadas na Tabela 5.

Dentre as diferenças apontadas na Tabela 5, destaca-se a dificuldade de se quantificar os objetivos socioambientais nos portfólios de investimento de impacto, tanto na forma de expectativa quanto na própria mensuração dos efeitos quando já transcorrido um determinado prazo de uma intervenção.

Em relação às unidades de mensuração, os retornos financeiros são calculados diretamente do valor final da carteira em relação ao seu custo. Já em relação ao retorno socioambiental, é comum mensurar os ganhos em termos de desvios-padrão em relação ao grupo contrafactual, para uma base de custo de implementação da política. Tal forma é uma boa prática, pois permite comparar, de uma maneira mais fácil, os resultados estimados em diferentes estudos. Assim, a fórmula para apurar o ganho de uma intervenção para um dado custo monetário de implementação é dada por:

$$\frac{\hat{e}_2^T - \hat{e}_2^C}{\hat{e}_1^C} \quad (33)$$

em que:

- \hat{e}_2^T é o valor médio da variável mensurada no grupo de tratamento em t+1;
- \hat{e}_2^C é o valor médio da variável mensurada no grupo de controle em t+1; e
- \hat{e}_1^C é o valor médio da variável mensurada no grupo de controle antes da intervenção (t=1).

Nota-se que a hipótese da Equação 33 é a de um grupo de controle ideal tanto no período anterior quanto no período posterior ao tratamento, de forma que a única diferença entre o grupo de tratamento e controle seja oriunda do próprio tratamento.

Tabela 5*Diferenças entre a teoria de carteiras tradicional e a gestão de portfólios de impacto*

Teoria de carteiras tradicional	Gestão de portfólios de impacto
Retorno <i>ex post</i> é de fácil mensuração e se dá de maneira instantânea.	Retorno <i>ex post</i> é de mensuração difícil, cara e demorada.
Retorno negativo é sempre possível.	Normalmente, a ausência de impacto é o pior caso possível.
Fácil definir unidades de mensuração (retorno e risco financeiro).	Difícil definição da unidade de mensuração.
Impacto da ação se dá em momento preciso.	Impacto da ação se dá em momento impreciso.
Retorno esperado (<i>ex ante</i>) se dá em função de dados históricos e/ou fluxos de caixa descontados.	Retorno esperado (<i>ex ante</i>) se dá em função de estudos empíricos (RCT, quase-experimentos etc.) e premissas para extrapolação do contexto; ou simplesmente da teoria econômica e/ou de crenças pessoais.
Risco é geralmente mensurado em função da volatilidade de retornos financeiros passados.	Risco está associado à incerteza da estimativa (erro-padrão da estimativa).
Não se preocupa com variáveis não mensuradas ou efeitos colaterais.	Se preocupa com variáveis não mensuradas e efeitos colaterais.
Impacto se dá em uma única variável.	Impacto pode ocorrer em múltiplas variáveis.
Horizonte do investimento é irrelevante para a decisão da carteira (na teoria de carteira de Markowitz).	Tempo pode ser relevante para definição da carteira (acúmulo de conhecimento e redução de risco).
Correlação entre ativos geralmente é maior que zero.	Correlação entre investimentos geralmente é igual a zero.
Custo do investimento é preciso.	Custo do investimento é impreciso.
Tamanho do investimento geralmente é irrelevante.	Tamanho do investimento pode afetar o padrão de retornos e riscos.
Aferição da função utilidade (preferências) do investidor é de dificuldade média.	Há grande dificuldade na definição da função utilidade do investidor.
Mensuração em termos de variação percentual no valor investido.	Mensuração geralmente se dá em termos de ganhos de desvios-padrão em relação ao ano base do contrafactual.

Fonte: Elaborado pelo autor com informações de Markowitz (1952), Kolm et al. (2014), Agrawal e Hockerts (2019), Glennerster e Takavarasha (2013) e Gertler et al. (2017).

Por fim, cabe destacar que o ganho da diversificação deve ser ainda mais aproveitado nos objetivos socioambientais, uma vez que, normalmente, a correlação entre os efeitos de diferentes programas deve ser próxima de zero. Tal fato poderá ser aproveitado para mitigar os riscos de não atingimento de metas socioambientais, com a diversificação dos investimentos em programas que buscam os mesmos objetivos, mas guardam pouca relação entre si.

2.4 Desenvolvimento econômico e o BNDES

Um banco de desenvolvimento insere-se na crença do papel da atuação estatal no desenvolvimento da economia. Assim, as teorias da mudança das políticas de um banco de desenvolvimento podem ser confrontadas sob a ótica das teorias de crescimento econômico.

Com esse intuito, esta seção apresenta um sumário das principais linhas de pensamento sobre o desenvolvimento econômico das nações para, posteriormente, contextualizar o papel esperado para o BNDES no desenvolvimento da economia brasileira. Ao final, apresenta-se como é realizada a gestão dos impactos socioeconômicos do BNDES, bem como os principais resultados de avaliações de impacto, internas e externas, realizadas sobre a atuação da instituição.

2.4.1 Teorias clássicas e contemporâneas do desenvolvimento

Segundo Todaro e Smith (2015), após a Segunda Guerra Mundial, a literatura econômica do crescimento econômico, utilizada para explicar porque algumas nações obtiveram sucesso em se desenvolver enquanto outras não, foi dominada por quatro grandes correntes de pensamento: (1) o modelo de estágios lineares de crescimento, (2) a teoria de mudança estrutural, (3) o modelo da dependência internacional e (4) a teoria neoclássica e de livre mercado.

O modelo de estágios lineares de crescimento, do qual Rostow (1960) é seu principal expoente, defende que a transição do subdesenvolvimento para o desenvolvimento se dá em termos de uma sequência de estágios predefinidos pelos quais todas as sociedades devem passar. Segundo tal modelo, a principal estratégia para acelerar a transição entre os estágios do desenvolvimento se dá simplesmente pelo aumento da poupança e do investimento nacionais. Os países que conseguem economizar e investir de 15 a 20% do Produto Interno Bruto (PIB) conseguem crescer a um ritmo muito mais rápido do que aqueles que economizam menos. Além disso, com tal taxa de investimento, o crescimento será autossustentável. O racional da teoria decorre da premissa de que adições líquidas ao estoque de capital, definido como a quantidade existente em um determinado momento de bens físicos que foram produzidos para uso na produção de outros bens e serviços, trarão aumentos proporcionais ao PIB.

A teoria de mudança estrutural defende que o subdesenvolvimento é devido à subutilização estrutural dos recursos de uma nação por razões históricas e institucionais. Assim, o processo de desenvolvimento requer mais que uma mera acumulação de capital. Por exemplo, o modelo teórico de dois setores de Lewis (1954) sugere que o desenvolvimento é explicado pela migração da força de trabalho do setor agrícola para o setor industrial. Nessa mesma linha, o trabalho elaborado por Chenery e Syrquin (1975), a partir de análises empíricas de dados em painel de várias nações, atribui que o desenvolvimento requer certas características, como a mudança da produção agrícola para a industrial, a acumulação constante de capital físico e humano, a mudança no perfil de demandas dos consumidores de alimentos para bens manufaturados e serviços, o crescimento das cidades e das indústrias urbanas, o declínio no tamanho das famílias e a transição demográfica.

O modelo da dependência internacional defende que os países em desenvolvimento são vítimas de uma rigidez institucional, política e econômica, tanto doméstica e internacional, e são dominados pelos países ricos, que possuem poder de decisão sobre fatores econômicos internacionais, como os preços das *commodities* agrícolas e matérias-primas nos mercados mundiais. Além da exploração econômica contínua dos ex-colonizadores, por atitudes deliberadas ou inconscientes, há também aqueles que acreditam que os países subdesenvolvidos não conseguem se desenvolver devido a modelos incorretos de desenvolvimento, promovidos por economistas dos países desenvolvidos, que enfatizam a acumulação de capital e o mercado livre. Assim, os defensores dessa linha de raciocínio argumentam que devem ser promovidas reformas institucionais e estruturais internas e reestruturação do sistema capitalista mundial a fim de que os países possam se desenvolver. Em casos extremos, os defensores dessa corrente sugerem, inclusive, a expropriação de bens da propriedade privada na expectativa de que a redistribuição será um meio mais eficaz para ajudar a erradicar a pobreza absoluta, oferecer mais oportunidades de emprego, diminuir as desigualdades de renda e elevar a qualidade de vida da população.

Como uma antítese do modelo anterior, a teoria neoclássica e de livre mercado argumenta que o subdesenvolvimento é o resultado da má alocação de recursos devido a distorções nos preços causadas por políticas públicas, falta de incentivos econômicos, corrupção na gestão pública e excesso de intervenção estatal. Assim, o desenvolvimento deve ser buscado com a promoção do livre mercado e, como relatam

Todaro e Smith (2015), a “magia da mão invisível” irá acontecer. Segundo Singh (1994), há também defensores que argumentam que o Estado deve intervir pontualmente na economia para fomentar o florescimento do mercado, com investimentos em infraestrutura, saúde e educação e, eventualmente, atuando para cobrir falhas de mercado.

Os modelos de crescimento neoclássicos propõem que a trajetória de desenvolvimento de uma economia é influenciada por três fatores: (1) a acumulação de capital, o que envolve tanto capital físico (infraestrutura, maquinário, etc.) quanto humano (educação); (2) o crescimento populacional, sendo que o aumento de mão-de-obra é positivamente relacionado ao crescimento econômico; e (3) o progresso tecnológico, o que inclui formas mais produtivas para realização de atividades. Em particular, o Modelo de Crescimento de Solow assume que há ganhos marginais decrescentes nos usos destes fatores e que as mudanças tecnológicas exógenas geram crescimento econômico de longo prazo (Solow, 1956, 1957). A implicação prática deste modelo é que países com níveis similares nos fatores de produção devem convergir para um mesmo nível de crescimento. Modelos endógenos de crescimento, por outro lado, atribuem que mudanças tecnológicas podem ser induzidas endogenamente em uma economia (por exemplo, quanto o aumento do nível de produção de uma indústria traz ganhos na produtividade de outras), o que explicaria as grandes diferenças empíricas encontradas entre países com níveis similares dos fatores de produção.

Além dessas quadro abordagens clássicas utilizadas para análise do processo de desenvolvimento, Todaro e Smith (2015) relacionam modelos mais recentes, que, ainda que baseados de alguma forma nos modelos clássicos, analisam a questão do desenvolvimento com o arcabouço de modelos de múltiplos equilíbrios e modelos de falha de coordenação. Os modelos de múltiplos equilíbrios partem da premissa de que existem várias riquezas de equilíbrio para os agentes da economia, mas, por algum motivo extrínseco à vontade própria, eles estão presos em um cenário estacionário ruim. Uma das razões para a existência de múltiplos equilíbrios é a existência de falhas de coordenação, na qual os retornos dos agentes são mutuamente dependentes, mas não há incentivo para que um tome o primeiro passo (por exemplo, uma fábrica não se instala em um local porque não há trabalhadores especializados, e os trabalhadores não pretendem se especializar porque não há emprego). Assim, de acordo com esses modelos, serão benéficas as intervenções que possam mover a economia para uma

situação de equilíbrio superior e autossustentada. Em particular, o modelo do *Big Push* atribui tipicamente ao Estado o papel de realização de esforços concentrados para iniciar ou acelerar o desenvolvimento econômico de um amplo espectro de novas indústrias, com efeitos de rede positivos devido à causalidade circular da economia.

Conforme argumentam Banerjee e Duflo (2011), a busca de qual seria a visão macroeconômica mais correta para o desenvolvimento econômico é uma pergunta sem resposta. Ao invés disso, os autores sugerem que a ciência deveria se concentrar em fornecer respostas em um nível mais restrito, analisando uma política por vez, permitindo, com o passar do tempo, construir uma base sólida do que funciona e do que não funciona para reduzir a pobreza e fomentar o desenvolvimento econômico. Como já comentado, esse tipo de abordagem experimental alterou profundamente a disciplina do desenvolvimento econômico (Gueron, 2017).

2.4.2 O BNDES: histórico e formas de atuação

Conforme discutido em Torres Filho e Costa (2012), a Grande Depressão de 1929 criou condições para que vários Estados abandonassem as doutrinas econômicas liberais até então propagadas nos países ocidentais. Aliado a isso, a situação do pós-guerra fomentou acordos nos quais se propagava uma visão intervencionista do setor público no financiamento em longo prazo do investimento privado.

Dentro desse contexto, argumentam Torres Filho e Costa (2012), diversos países promoveram a criação de bancos nacionais de desenvolvimento, entre os quais se destaca o caso brasileiro do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), criado em 1952. Tais instituições deveriam canalizar recursos de longo prazo para promover a expansão da infraestrutura e da indústria moderna, sendo, assim, peças relevantes para os programas nacionais de desenvolvimentos dos Estados.

Conforme Ferraz e Coutinho (2019), bancos de desenvolvimento, como o BNDES, desempenhem três papéis distintos na economia: (i) em tempos de ascensão na economia, fomentam o investimento em um caráter pró-cíclico e complementar à indústria privada; (ii) em tempos de contenção de financiamento de outras fontes (como na crise financeira de 2008), agem de forma anticíclica; e, (iii) ao apoiar investimentos (especialmente onde a incerteza do investimento é forte) que podem dar frutos em um futuro próximo, atuam em um papel pré-cíclico.

Segundo descrito em Barboza et al. (2019), o propósito original da criação do

BNDES foi constituir um banco dedicado ao apoio da construção da infraestrutura nacional. De fato, na primeira década de atuação (1952/1960), a infraestrutura foi o setor que mais recebeu financiamentos do banco (69,4% dos desembolsos). Contudo, na década seguinte (1961/1971), houve uma mudança brusca de seus rumos de atuação, em meio a um contexto de políticas de industrialização por substituição de importações, no qual o BNDES passou a focar no desenvolvimento das indústrias de base no país, sendo a indústria responsável por receber 70,6% dos desembolsos financeiros da instituição, enquanto a infraestrutura recebeu somente 25,2% dos financiamentos.

Ao longo dos períodos seguintes, apontam Barboza et al. (2019), o BNDES aumentou lentamente a diversificação dos setores apoiados ao expandir suas linhas de atuação para os setores agrícola, de comércio e de serviços. No período de 2011 a 2017, a proporção dos setores apoiados era: agropecuária (11,3%), comércio/serviços (23,9%), indústria (28,8%) e infraestrutura (35,9%). Além disso, nessa última década, o banco aumentou de forma significativa a participação relativa de seu orçamento para micro, pequenas e médias empresas (MPMEs), atingindo a proporção de 33,4% dos desembolsos no período 2015/2017 ante 16,3% do período 1990/1994.

Enquanto proporção do PIB e da Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF), a última década também aponta para um ápice de atuação do BNDES na economia. No maior ponto da série histórica (período 2010/2014), os desembolsos anuais do BNDES representaram 17,1% da FBCF e 3,5% do PIB. A título de comparação, o menor ponto da série histórica aconteceu em sua primeira década de atuação (1952/1960), e as proporções dos desembolsos eram de 1,2% e 0,2% da FBCF e do PIB, respectivamente (Barboza et al., 2019).

Conforme Lima e Carvalho (2021), a expansão recente dos bancos públicos foi provocada pela redução das operações dos bancos privados no período que sucedeu a crise de 2008, sendo que os autores concluem que a atuação do BNDES foi fundamental para assegurar que as atividades das empresas fossem mantidas perante a escassez de fontes tradicionais de recursos.

No entanto, tal agigantamento da instituição no período recente não passou ileso de críticas. Segundo Pereira e Miterhof (2018):

os focos de questionamento envolvem questões fiscais (o impacto na dívida bruta e o “subsídio” ou custo fiscal implícito associado à diferença entre a Selic

e a TJLP); de política monetária (a TJLP provocaria uma perda de sua potência e seria um dos fatores responsáveis pelos juros altos); de escolhas dos investimentos apoiados (os ditos “campeões nacionais”, o financiamento às exportações brasileiras de bens e serviços de engenharia etc.); e até de ordem criminal. (p. 877)

Como consequência prática dessas críticas, argumentam Pereira e Miterhof (2018), está a criação da Taxa de Longo Prazo (TLP), cuja remuneração baseia-se no vértice de 5 anos da curva das Notas do Tesouro Nacional – Série B, em substituição à Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP), e a política de diminuição dos ativos do BNDES via devoluções ao Tesouro Nacional.

2.4.3 O impacto socioeconômico do BNDES

O criticismo acerca da forma de atuação do BNDES também fomentou o debate acadêmico sobre o tema e, em especial, foram realizadas várias avaliações do impacto socioeconômico de diversos produtos, linhas de financiamento e programas, cujas condições de apoio refletem as prioridades e as diretrizes da política de desenvolvimento do Governo Federal.

Como nota, cabe dizer que os produtos definem regras gerais de financiamento de acordo com cada finalidade. Cada produto pode se dividir em linhas de financiamento permanentes, que atendem a tipos de clientes e objetivos diferentes, e contam com condições específicas (como taxa de juros e prazo de pagamento). Exemplos de produtos são: o BNDES Finame, destinado ao financiamento de máquinas e equipamentos; o BNDES Automático, destinado ao financiamento de projetos de investimento; e o Cartão BNDES, que consiste em um crédito rotativo e pré-aprovado destinado a micro, pequenas e médias empresas para aquisição de produtos e serviços credenciados.

Já os programas têm caráter temporário, possuem um orçamento limitado e atendem a demandas ou segmentos específicos. Um exemplo foi o Programa de Sustentação do Investimento (PSI), que ofertou créditos incentivados com o intuito de fomentar a economia no contexto da crise econômica de 2008.

Além das avaliações independentes realizadas acerca do BNDES, na busca por uma maior transparência e prestação de contas à sociedade, a instituição divulgou, pela primeira vez, seu Relatório de Efetividade (BNDES, 2015), que baseava suas avaliações

em três pilares: (i) o mapeamento da teoria da mudança (Quadro Lógico) de seus produtos e programas; (ii) as análises quantitativas de impacto, com a tradução dos desembolsos monetários – uma estatística tradicional de bancos de fomento – em indicadores de entregas (como geração de empregos e produtos e serviços viabilizados pelos projetos apoiados); e (iii) os resultados de avaliações independentes.

Aliado ao esforço da instituição para a mensuração e divulgação de sua efetividade, a participação das avaliações externas foi beneficiada pela resolução do conflito pelo Supremo Tribunal Federal da superioridade do dever de transparência da Administração Pública aos deveres de sigilo bancário e empresarial na concessão de empréstimos pelo BNDES (Vita & Santana, 2020), culminando no expressivo aumento de dados disponíveis na internet sobre os financiamentos da instituição.

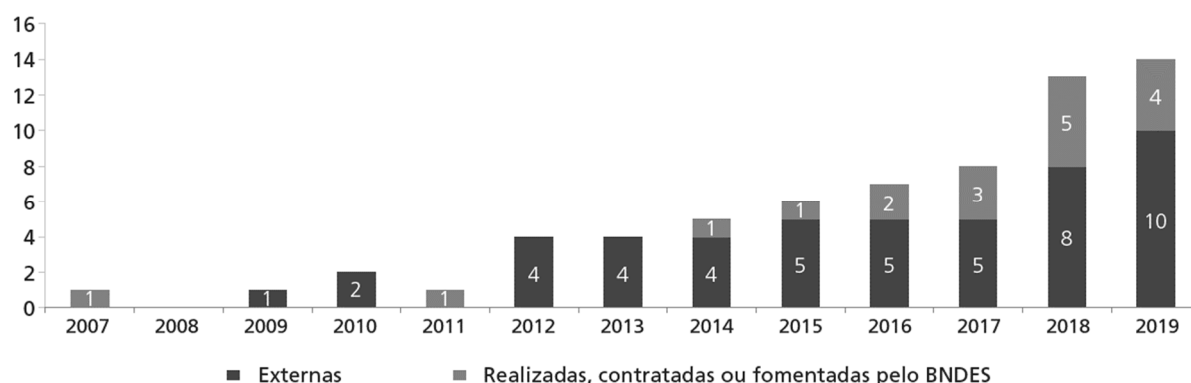


Figura 3

Número de avaliações de impacto, por ano de divulgação e vínculo com o BNDES (2007-2019)

Fonte: BNDES (2020).

Conforme exposto em BNDES (2020), foram publicadas, no período de 2007 a 2019, 66 avaliações de impacto, sendo que cerca de 73% delas são originárias de avaliações independentes. Nota-se, ainda, pelos motivos já relatados, haver uma tendência no crescimento das publicações, sendo que os últimos três anos correspondem a mais de 50% do total de publicações de avaliação de impacto mapeadas (Figura 3).

A Figura 4 (BNDES, 2020) apresenta a proporção de resultados de impacto positivos obtidos nas 66 avaliações mapeadas, distribuídas pela combinação dos instrumentos de apoio e das dimensões de impacto analisadas.

Todos				0.5						0	0.5											
Renda variável						0			1	0					0.2		0				0.5	
Política de conteúdo local				0.7					0.5	0		0		0								
Não reembolsável	0.7																					
Financiamento a projetos				0					0	0.5		0	0	0	0	0						
Financiamento a municípios		0.5	1																			
Financiamento a MPMEs				0.7		0	1	0.5		1		0.2	0.5	1	0.5						1	
Financiamento à inovação				1	0.7				1	1		0	1									
Financiamento à infraestrutura	0	1		1							0.5											
Financiamento a grandes empresas						1					0		0		0					0.3	0	
Financiamento à exportação				0.5				0.8	0.5		0		0			0	0					
Financiamento a empresas – geral				1	1			1	1		0.3		0.3	0	0	0					0	
Financiamento direto					1						0											
Financiamento à aquisição de bens de capital			0	0.5	1				0.5		0.8		0	0	0	0					0.5	
	Área florestada	Arrecadação	Educação	Emprego	Esforço inovador	Estoque de dívida	Exportação	Faturamento	Governança	Investimento	Produto interno bruto (PIB)	Produtividade do trabalho	Produtividade total dos fatores	Rentabilidade	Salário real	Saúde financeira	Sobrevivência	Valor ação				

Figura 4

Proporção de avaliações que encontram impacto positivo, por tipo de apoio e dimensão de impacto

Notas: (1) A cor da célula é mais escura conforme é maior a proporção de avaliações que encontram resultado positivo. A cor cinza clara indica que não há avaliação. (2) Uma avaliação está contabilizada em mais de uma célula se analisa mais de um tipo de apoio ou dimensão de impacto. (3) São apresentados os tipos de apoio investigados em mais de uma avaliação e as dimensões de impacto investigadas em mais de uma avaliação. Fonte: BNDES (2020).

De maneira geral, a análise da figura mostra que a maioria das avaliações encontraram impactos positivos sobre emprego, investimento e faturamento, quando o instrumento de apoio se destina ao financiamento de MPMEs e financiamento à aquisição de bens de capital. Contudo, para esse mesmo grupo, há baixa proporção de avaliações com impacto positivo sobre a produtividade. As avaliações que estudam o apoio a grandes empresas, por outro lado, geralmente não encontram muitos impactos positivos. Já as avaliações que analisam as dimensões de inovação e exportação apresentam, em maioria, impactos positivos.

Acerca das avaliações realizadas pelo próprio BNDES, cabe observar que a

instituição possui um modelo padronizado para a realização de avaliações, denominado Modelo Automatizado em R para Verificação de Impacto (MARVIm), cuja metodologia está descrita em Grimaldi et al. (2018). De maneira resumida, o MARVIm consiste em uma série de códigos desenvolvidos no *software* estatístico R integrados a algumas bases de dados internas (dados de financiamentos do BNDES) e externas (banco de dados com informações de empregados e dados contábeis de várias empresas brasileiras). As avaliações de impacto, realizadas com algumas configurações iniciais, são do tipo quase-experimento e valem-se da técnica de escores de propensão para determinação dos grupos de controle e de tratamento. Além disso, as variáveis explicativas são determinadas automaticamente por modelos de *machine learning*. Cabe dizer que o objetivo do modelo é o de aumentar a escala das atividades de monitoramento da instituição, levantando um conjunto de evidências capazes de traçar uma visão panorâmica, ainda que incompleta, a respeito da atuação do BNDES e que poderão ser refinadas em avaliações customizadas posteriores.

Capítulo 3 Metodologia

3.1 Etapas de seleção de portfólios de impacto

À luz da discussão do arcabouço teórico, o propósito da presente seção será definir um protocolo consistente para a seleção de carteiras com objetivos de alcançar metas financeiras e socioambientais. Propõe-se que o processo decisório siga uma série de etapas predefinidas a fim de garantir a robustez da carteira de investimentos final escolhida, dando transparência acerca das premissas utilizadas e assegurando um maior poder de supervisão e aprimoramento contínuo das fases da modelagem.

Sugere-se, então, que a seleção de portfólios de impacto seja feita por meio de uma série de etapas, conforme apresentada na Figura 5.

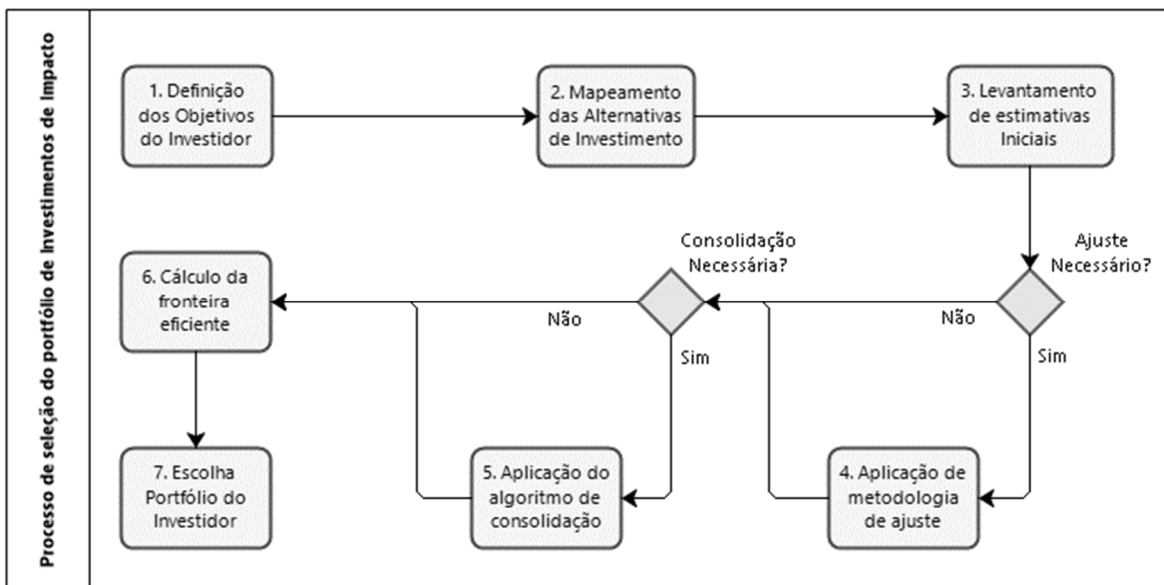


Figura 5

Etapas para a seleção de um portfólio de investimentos de impacto

Fonte: Elaboração própria.

O detalhamento de cada uma das etapas está apresentado a seguir:

1. Definição dos objetivos pretendidos: nessa etapa, deve ocorrer uma explicitação dos objetivos financeiros e socioambientais pretendidos pelo investidor e de quais serão as variáveis de decisão a serem mensuradas.
2. Mapeamento das alternativas de investimento: nessa etapa, deve ser realizado um mapeamento das possibilidades de alocação em programas de investimento com potencial de alcance dos objetivos definidos na etapa anterior.
3. Levantamento de informações de estimativas: esse passo visa ao levantamento de pesquisas acadêmicas e de opiniões de especialistas sobre as estimativas dos impactos de investimentos, programas ou políticas que utilizaram instrumentos com finalidades similares às pretendidas pelo investidor.
4. Ajuste das estimativas: a finalidade dessa fase da montagem da carteira é a busca por um ajuste conservador dos impactos levantados na etapa anterior. Toma-se como base a qualidade das fontes de informação e a adequação do contexto do estudo original à realidade do programa a ser implementado, garantindo a transportabilidade dos resultados de impacto.
5. Consolidação das estimativas: após o ajuste das estimativas de estudos e opiniões individuais, o objetivo dessa fase é a aplicação de uma técnica predefinida de consolidação de estimativas de impacto para cada variável de decisão de cada alternativa de investimento.
6. Cálculo da fronteira eficiente: essa etapa busca, por meio da aplicação da técnica de otimização multiobjetivo, eliminar os portfólios dominados das possibilidades de alocação e explicitar os *trade-offs* existentes entre os objetivos para o tomador de decisão.
7. Seleção do portfólio final: a última etapa da modelagem ocupa-se da definição do portfólio final, tomando como base as preferências individuais dos tomadores de decisão e as opções disponíveis de alocação presentes na fronteira eficiente.

Obviamente, cada uma dessas etapas merece uma discussão aprofundada acerca das múltiplas abordagens possíveis. Algumas das técnicas já introduzidas no referencial

teórico podem ser aplicadas diretamente para a abordagem de algumas das etapas listadas, como o uso de técnicas de avaliação de impacto para aferição do efeito de um determinado investimento na etapa de levantamento de informações; o uso de meta-análise na etapa de consolidação de estudos; e o uso de técnicas de otimização multiobjetivo na etapa de cálculo da fronteira eficiente. Contudo, em outras etapas, algumas opiniões subjetivas serão necessárias, requerendo algum grau de discricionariedade por parte do tomador de decisão.

3.2 Estudos de caso para aplicação do protocolo de seleção de portfólios de impacto

A aplicabilidade do protocolo de seleção de portfólios é bastante ampla e, como apresentado, deverá ser configurada conforme a necessidade do problema específico que se pretende modelar. A fim de ilustrá-la, propõe-se analisar três estudos de caso apresentados nas subseções seguintes.

O Estudo de caso 1, construído a partir de dados hipotéticos, se propõe a analisar a aplicação do protocolo de seleção de portfólio quando há fontes de informação com diferentes níveis de qualidade ou contexto a serem utilizadas na estimativa do impacto sumarizado. O Estudo de caso 2, também construído com dados simulados, acrescenta um nível maior de complexidade ao problema de seleção de portfólio quando ele envolve escolhas com impacto intertemporais. Finalmente, apresenta-se um estudo de caso de um problema configurado com dados reais da carteira de operações de crédito do BNDES, com o objetivo de explorar a aplicação do protocolo utilizando grande volume de dados, mas, principalmente, para fornecer subsídios à melhoria da alocação orçamentária da instituição em consonância com seus objetivos de impacto socioeconômico.

3.2.1 Seleção de portfólio de impacto a partir de diferentes fontes de informação preliminares de impacto (Estudo de caso hipotético 1)

Na etapa de ajuste das estimativas, como já discutido no referencial teórico, é sabido haver diferenças de qualidade e confiabilidade entre as variadas metodologias

possíveis para avaliação do impacto. Além disso, há, ainda, o problema da transportabilidade dos resultados. Assim, para fazer refletir essa informação qualitativa nas estimativas, pode-se adotar algum tipo de função para relacionar a qualidade da fonte de informação e o tipo de extrapolação à quantificação do ajuste necessário na estimativa. Nesse sentido, sugere-se que um modelador adote um esquema próximo ao apresentado na Tabela 6, em que se relacionam sete graus possíveis de confiabilidade (máximo, muito alto, alto, médio, baixo, muito baixo e mínimo) a um valor de ajuste nas estimativas, que pode ser obtido de maneira discricionária ou por meio de um modelo bayesiano.

Tabela 6

Grau de confiabilidade das estimativas de impacto em função da fonte de informação e do tipo de extrapolação

Fonte da informação	Tipo de extrapolação	Grau de confiabilidade no retorno e risco socioambiental
Método experimental	- Consenso entre múltiplos estudos e adequação de contexto da teoria da mudança comprovada por mensurações.	- Máximo
	- Validação de contexto da teoria da mudança por análise subjetiva.	- Alto
	- Falta de consenso entre os estudos e/ou falta validação de contexto na teoria da mudança.	- Muito baixo
Quase-experimento	- Consenso entre múltiplos estudos e adequação de contexto da teoria da mudança comprovada por mensurações.	- Muito Alto
	- Validação de contexto da teoria da mudança por análise subjetiva.	- Médio
	- Falta de consenso entre os estudos e/ou falta validação de contexto na teoria da mudança.	- Muito baixo
Teoria econômica/ Opinião de especialistas	- Consenso entre múltiplas opiniões/teorias.	- Baixo
	- Falta de consenso entre múltiplas opiniões teorias.	- Muito baixo
Pioneirismo	- Escolhas baseadas na intuição e com pouco suporte teórico.	- Mínimo

Fonte: Elaboração própria.

Superada a etapa de ajuste das estimativas individuais, pode-se utilizar as estimativas bayesianas sugeridas pelas equações 28 e 29 para a consolidação dos resultados. Então, já de posse das estimativas de retorno e risco de cada um dos investimentos possíveis nas dimensões financeiras e socioambientais, sugere-se a criação

de um modelo do tipo média-variância multiobjetivo, apresentado a seguir, para a determinação da fronteira eficiente e do portfólio final selecionado:

$$\begin{aligned}
 \text{maximizar} \quad & Z(\mathbf{x}) = w_1 \mathbf{x}' \mathbf{r}^1 - w_2 \mathbf{x}' \boldsymbol{\Sigma}^1 \mathbf{x} + w_3 \mathbf{x}' \mathbf{r}^2 - w_4 \mathbf{x}' \boldsymbol{\Sigma}^2 \mathbf{x} + \dots \\
 & + w_{(n \times 2 - 1)} \mathbf{x}' \mathbf{r}^n - w_{(n \times 2)} \mathbf{x}' \boldsymbol{\Sigma}^n \mathbf{x} \\
 \text{sujeito a} \quad & g_i(\mathbf{x}) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & \mathbf{x} \geq 0 \\
 & \mathbf{x}' \mathbf{1} = 1
 \end{aligned} \tag{34}$$

sendo: \mathbf{x} , o vetor com as k variáveis de decisão do modelo, x_1, x_2, \dots, x_k , contendo o percentual investido em cada k -ésima alternativa de investimento; \mathbf{n} , o número total de dimensões de impacto observados com a ação, contendo cada uma dois objetivos, um de retorno e outro de risco; \mathbf{r}^j , o vetor com os retornos esperados na dimensão de impacto j por cada uma das alternativas de investimento (por exemplo, \mathbf{r}^1 pode representar os retornos financeiros esperados dos investimentos, \mathbf{r}^2 pode representar os retornos em número de empregos gerados pelos investimentos etc.); e $\boldsymbol{\Sigma}^j$, a matriz com as variâncias e covariâncias estimadas na dimensão de impacto j por cada uma das alternativas de investimento (por exemplo, $\boldsymbol{\Sigma}^1$ pode representar a matriz de variâncias e covariâncias dos retornos financeiros e $\boldsymbol{\Sigma}^2$ pode representar a matriz de variâncias e covariâncias dos números de empregos gerados pelos investimentos).

A fim de ilustrar a aplicação do modelo de seleção de portfólios de impacto apresentado nesta seção, propõe-se a aplicação do protocolo em um estudo de caso hipotético, apresentado a seguir.

Estudo de caso 1: Portfólio de impacto com consolidação de estimativas de impacto

Suponha que um investidor de impacto possua duas possibilidades de investimento: i) a criação de uma linha de microcrédito destinada a empreendedores urbanos e ii) a oferta de uma linha de crédito agrícola para fomento da agricultura familiar dos trabalhadores do campo. Além da obtenção do retorno financeiro, o investidor almeja, como resultado de seu investimento, que ocorra, em média, um aumento da renda familiar dos indivíduos que tomarem o financiamento.

No levantamento realizado pelo investidor, ele identificou dois estudos de experimento aleatório com estimativas do impacto esperado do microcrédito na renda familiar, o primeiro com a estimativa de 0 (zero) desvio-padrão ($\pm 0,08$ erro-padrão) e o segundo com a estimativa de 0,2 desvio-padrão ($\pm 0,1$ erro-padrão). Já em relação ao impacto do crédito familiar rural, o investidor encontrou também dois estudos, sendo um do tipo quase-experimento, com um impacto de 0,125 desvio-padrão ($\pm 0,128$ erro-padrão), e conversou com um especialista no assunto que estimou o impacto da política em 0,4 desvio-padrão, com um parâmetro de incerteza de $\pm 0,125$ erro-padrão.

Para lidar com a diferença de qualidade nas estimativas recebidas, o investidor, conservadoramente, optou por reduzir as estimativas dos retornos socioambientais do quase-experimento e da opinião do especialista em 20% e 50%, respectivamente; e por aumentar os riscos socioambientais do quase-experimento e da opinião do especialista em 25% e 60%, respectivamente.

Em relação à dimensão financeira, o investidor estima que a linha de microcrédito proporcionará um retorno de 10% a.a. com risco de 5% a.a. Já para a linha de crédito rural, há uma estimativa de retorno de 8% a.a. e risco de 4% a.a. Além disso, o investidor acredita que haverá uma correlação de 0,3 nos retornos financeiros das linhas de crédito.

Por fim, para consolidar os resultados das diversas informações, o investidor acredita que todas as fontes de informação são originárias de resultados amostrais de subpopulações analisadas e que elas seguem uma mesma distribuição *a priori* dada por $N(r^*, s^{*2})$, sendo r^* e s^* os hiperparâmetros constantes nessa distribuição.

3.2.2 Seleção de portfólio de impacto com decisões intertemporais (Estudo de caso hipotético 2)

Um outro aprimoramento do modelo é a possibilidade de incorporação de preferências intertemporais na tomada de decisão. Por exemplo, é possível que seja mais racional a um investidor optar por ganhos financeiros em uma primeira fase para, então, dividir o montante acumulado em um segundo momento. Outro exemplo, também relacionado à dimensão temporal da análise, está na possibilidade do aproveitamento dos ganhos de experiência de projetos-piloto para redução da incerteza associada à implementação de larga escala de determinado programa.

Uma possível modelagem para endereçar a questão, a ser estudada neste trabalho, é uma abordagem por meio de técnicas de otimização não linear (otimização quadrática e inteira), considerando as seguintes premissas:

- (1) Fator de desconto da postergação: o impacto de implementar uma política hoje será maior que sua implementação em um período posterior. Assim, dado que a estimativa de impacto de uma intervenção hoje é de $\hat{\beta}_{t_1}$, no período posterior ela será de $\hat{\beta}_{t_2} = \hat{\beta}_{t_1}/(1 + \gamma)$, em que γ é o fator de desconto da postergação.
- (2) Ganho de experiência: se uma política tem um grau de incerteza de σ_{t_1} hoje, seu grau de incerteza no período posterior será inferior, caso um piloto seja implementado, isso é, $\sigma_{t_2} = \sigma_{t_1} \times (1 - \alpha)$, se $x > k$, sendo α um parâmetro positivo que reflete o grau de redução de incerteza com a realização do piloto e k o percentual mínimo alocado em t_1 para realização de um piloto.
- (3) Rentabilização financeira do excedente: a parcela do orçamento que não for investida hoje poderá ser investida no período posterior, acrescida de uma rentabilidade financeira r .

Estudo de caso 2: Portfólios de impacto com alocação intertemporal

Considere que um investidor de impacto possa investir em dois projetos em dois momentos distintos do tempo, sendo, de forma respectiva: x_1 e x_2 as frações investidas nos projetos 1 e 2 no período t_1 ; e, x_3 e x_4 as frações investidas nos projetos 1 e 2 no período t_2 .

No período t_1 , os projetos 1 e 2 apresentam impactos socioambientais de $\hat{\beta}_1 = 1,0$ e $\hat{\beta}_2 = 1,1$ e estão associados a um grau de incerteza de $\sigma_1 = 2,0$ e $\sigma_2 = 1,8$. No período t_2 , os valores esperados do impacto e de risco são os mesmos, exceto considerando os efeitos do fator de desconto da postergação, γ , e o ganho de experiência, α . Além disso, tem-se que os ganhos esperados dos projetos 1 e 2 são independentes, e o possível aumento do orçamento dado em função do retorno financeiro do excedente do período t_1 não impacta o risco do portfólio.

No cenário base para a realização da otimização, o investidor pretende maximizar o impacto do portfólio, tendo como parâmetros $\gamma = 20\%$ para o fator de

desconto da postergação, $\alpha = 10\%$ como expectativa de redução de risco com a realização de piloto, $r = 10\%$ para o retorno financeiro do excedente orçamentário do tempo 1, $k = 5\%$ como o mínimo necessário para um projeto-piloto e um teto de variância, T , do portfólio de 1,54 (ou teto de risco de 1,24).

A Tabela 7, apresentada a seguir, expõe a consolidação dos parâmetros do modelo do cenário base.

Tabela 7

Parâmetros do modelo de otimização no Cenário Base

Parâmetro	Sigla	Valor
Projeto 1/Tempo 1		
Impacto previsto	$\hat{\beta}_1$	1,0
Risco	σ_1	2,0
Projeto 2/Tempo 1		
Impacto previsto	$\hat{\beta}_2$	1,1
Risco	σ_2	1,8
Demais parâmetros		
Fator de desconto da postergação	γ	20%
Expectativa de redução de risco com piloto	α	10%
Retorno financeiro do excedente orçamentário	r	10%
Mínimo projeto-piloto	k	5%
Teto variância	T	1,54

Fonte: Elaboração própria.

Com esses parâmetros, o modelo de otimização pode ser formulado como:

1. Função objetivo

$$\text{Max } Z(x_1, x_2, x_3, x_4, b_1, b_2) = x_1\hat{\beta}_1 + x_2\hat{\beta}_2 + x_3\frac{\hat{\beta}_1}{1+\gamma} + x_4\frac{\hat{\beta}_2}{1+\gamma} \quad (35)$$

2. Restrições

2.1 Domínio das variáveis de decisão

$$\begin{aligned} b_1, b_2 &\text{ são variáveis binárias} \\ x_1, x_2, x_3, x_4 &\text{ são variáveis não negativas} \end{aligned} \quad (36)$$

2.2 Restrição orçamentária

$$x_1 + x_2 + \frac{1}{1+r}x_3 + \frac{1}{1+r}x_4 = 1 \quad (37)$$

A restrição orçamentária considera o fato de que o valor não investido no tempo 1 é rentabilizado por uma taxa r e investido no tempo 2, isso é, a Equação 37 pode ser derivada de $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1 + (1 - x_1 - x_2)r$.

2.3 Teto de variância (orçamento de risco)

$$\mathbb{V}(\text{Portfólio}) \leq T \quad (38)$$

Com alguma álgebra e utilizando as condições previstas na especificação do modelo, é possível deduzir a seguinte fórmula para a variância:

$$\mathbb{V}(\text{Portfólio}) = (\mathbb{V}(P_1) + \mathbb{V}(P_2)) \times F \quad (39)$$

em que: F é um fator de escalonamento para a variância para eliminar o efeito do aumento do orçamento originário da aplicação financeira do excedente do período 1, e $\mathbb{V}(P_1)$ e $\mathbb{V}(P_2)$ são as variâncias não escalonadas dos projetos 1 e 2, respectivamente. Tais termos são calculados pelas seguintes expressões:

$$\mathbb{V}(P_1) = (x_1^2 + x_3^2 + 2x_1x_3)\sigma_1^2 + (\alpha(\alpha - 2)x_3^2 - 2\alpha x_1x_3)\sigma_1^2 b_1 \quad (40)$$

$$\mathbb{V}(P_2) = (x_2^2 + x_4^2 + 2x_2x_4)\sigma_2^2 + (\alpha(\alpha - 2)x_4^2 - 2\alpha x_2x_4)\sigma_2^2 b_2 \quad (41)$$

$$F = \frac{1}{(1+r - r(x_1 + x_2))^2} \quad (42)$$

Como é possível perceber, as variâncias dos projetos 1 e 2 são dadas em função da soma de duas parcelas. A primeira parcela reflete a exigência de não redução da variância do projeto decorrente de sua alocação temporal. Já a segunda parcela é negativa no domínio de α , definido no intervalo $[0,1]$, e representa o efeito da redução de variância com o ganho de experiência na adoção do projeto-piloto, caso a variável binária b_i seja igual a 1.

O fator F é necessário para que a variância do portfólio $\mathbb{V}(\text{Portfólio})$ seja irrelevante ao crescimento do orçamento decorrente do investimento financeiro do saldo não utilizado no tempo 1. Assim, utilizando pesos reponderados para que a soma investida seja de 100%, isso é, $x'_1 + x'_2 + x'_3 + x'_4 = 1$, e considerando serem Y_1, Y_2, Y_3 e

Y_4 variáveis aleatórias para o impacto efetivo decorrente da aplicação nos projetos 1 e 2, nos tempos 1 e 2, tem-se que a variância do portfólio é corretamente dada por $\mathbb{V}(x_1'Y_1 + x_2'Y_2 + x_3'Y_3 + x_4'Y_4)$.

Considerando que a restrição orçamentária é dada por $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1 + (1 - x_1 - x_2)r$, tem-se que os pesos reponderados são dados pelo termo $x_i' = \frac{x_i}{1+r-r(x_1+x_2)}$. Assim, aplicando-se a propriedade da variância $\mathbb{V}(cX) = \mathbb{V}(X)c^2$, pode-se estimar o fator de reescalonamento F por $\mathbb{V}(\text{Portfólio}) = \mathbb{V}(x_1Y_1 + x_2Y_2 + x_3Y_3 + x_4Y_4) \frac{1}{(1+r-r(x_1+x_2))^2}$, em que o primeiro termo corresponde à variância do projeto utilizando pesos não escalonados; e o segundo termo, ao fator de escalonamento F da variância.

Nota-se, ainda, que um projeto pode ter sua variância decomposta em um componente temporal (que fará com que a variância do impacto seja independente do rateio temporal do projeto) e um componente relacionado ao ganho de experiência.

A variância de um projeto $\mathbb{V}(x_1Y_1 + x_3Y_3)$ é especificada, respectivamente, como a alocação orçamentária x_1 e x_3 em um mesmo projeto nos tempos 1 e 2, que produzirão impactos socioambientais dados pelas variáveis aleatórias, Y_1 e Y_3 , proporcionais à cada alocação. Além disso, tem-se que a redução de risco no projeto dada pelo projeto-piloto é definida com $\sigma_3 = \sigma_1(1 - \alpha)$, ou, de modo equivalente, $\mathbb{V}(Y_3) = (1 - \alpha)^2\mathbb{V}(Y_1)$.

Desenvolvendo-se os termos, tem-se que $\mathbb{V}(x_1Y_1 + x_3Y_3) = x_1^2\mathbb{V}(Y_1) + x_3^2(1 - \alpha)^2\mathbb{V}(Y_1) + 2x_1x_3\rho_{1,3}\sigma_1\sigma_1(1 - \alpha)$. Ademais, para não haver ganho de diversificação temporal, $\rho_{1,3}$ deve ser 1. Assim, com auxílio de alguma álgebra, demonstram-se as equações 40 e 41.

Observa-se, ainda, que a variância de um portfólio de projetos de impacto independentes é dada por $\mathbb{V}(P_1 + P_2) = \mathbb{V}(P_1) + \mathbb{V}(P_2)$, fórmula que ainda pode ser expandida com o fator de escalonamento da variância, já demonstrado.

Finalmente, cabe observar que a redução da variância esperada no período t=2 é coerente com uma visão bayesiana na qual o analista pode atualizar suas estimativas iniciais após a realização dos dados do período t=1.

Suponha, por exemplo, que o impacto da política seja Y_1 no tempo 1 e Y_3 no tempo 2, que estão sujeitos às seguintes condições:

$$Y_1 = \mu'_0 + z_1 \quad (43)$$

$$Y_3 = \mu'_1 + z_2 \quad (44)$$

$$\mu'_0 = \mu_0 + \epsilon_1 \quad (45)$$

$$z_1 \sim N(0, \sigma^2), z_2 \sim N(0, \sigma^2), \epsilon_1 \sim N(0, \sigma_0^2), \epsilon_2 \sim N(0, \sigma_1^2) \quad (46)$$

em que: σ^2 é o ruído observacional, que está associado ao nível de incerteza da mensuração do parâmetro populacional a partir da amostra, e μ_i e σ_i^2 são hiperparâmetros de um modelo bayesiano que refletem um nível de incerteza dos parâmetros populacionais, sendo $\mu \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ e $Y/\mu \sim N(\mu, \sigma^2)$. Os valores de μ_0, σ_0^2 são os hiperparâmetros iniciais e definem a distribuição *a priori* do modelo bayesiano normal conjugado com σ^2 conhecido, que são ajustados em $t=2$ pelas seguintes fórmulas:

$$\mu'_1 = Y_1 - (Y_1 - \mu_0) \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \sigma_0^2} + \epsilon_2 \quad (47)$$

$$\sigma_1^2 = \frac{\sigma^2 \sigma_0^2}{\sigma^2 + \sigma_0^2} \quad (48)$$

Para o cálculo da variância de Y_1 , podemos fazer $\mathbb{V}(Y_1) = \mathbb{V}(\mu_0 + \epsilon_1 + z_1) = \sigma_0^2 + \sigma^2$.

O cálculo da variância de Y_3 pode ser deduzido percebendo-se que $Y_3 = \mu_0 + (1 - \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \sigma_0^2})\epsilon_1 + (1 - \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \sigma_0^2})z_1 + \epsilon_2 + z_2$, logo $\mathbb{V}(Y_3) = \mathbb{V}(Y_1) = \sigma_0^2 + \sigma^2$

Contudo, a variância de Y_3 pode ser reduzida com o conhecimento da realização de $Y_1 = k$, por meio da fórmula *posterior predictive* da Equação de Bayes:

$$\mathbb{V}(Y_3|Y_1 = k) = \mathbb{V}(k - (k - \mu_0) \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \sigma_0^2} + \epsilon_2 + z_2) \quad (49)$$

ou, de outra forma:

$$\mathbb{V}(Y_3|Y_1 = k) = \sigma_1^2 + \sigma^2 \quad (50)$$

Assim, o fator de redução de ganho de experiência α pode ser calculado como:

$$\alpha = 1 - \frac{\mathbb{V}(Y_3|Y_1 = k)^{\frac{1}{2}}}{\mathbb{V}(Y_1)^{\frac{1}{2}}} \quad (51)$$

ou,

$$\alpha = 1 - \frac{(\sigma^4 + 2\sigma_0^2\sigma^2)^{\frac{1}{2}}}{\sigma^2 + \sigma_0^2} \quad (52)$$

Cabe notar que a razão da fórmula é um número positivo e que o valor do numerador será sempre menor ou igual ao denominador, exceto quando $\sigma_0^2 = 0$ (em que não há dúvidas sobre o valor de μ estimado *a priori*), hipótese na qual o ganho da experiência será nulo. Por outro lado, quando $\sigma^2=0$ (caso em que não há incerteza sobre o valor de μ estimado *a posteriori*), o ganho de experiência será máximo.

Assim, tudo mais constante, a variância do portfólio formado pela aplicação nessa política em dois instantes do tempo, isso é, $\mathbb{V}(x_3Y_1 + x_3Y_3)$, tende a favorecer a alocação no instante $t=2$, para fazer jus ao ganho da experiência.

Por fim, cabe, ainda, ressaltar que a premissa de não diversificação temporal, presumindo que a correlação ρ entre Y_1 e Y_3 seja igual a 1, não é aplicável ao modelo bayesiano normal conjugado, uma vez que ela se dará pela fórmula $\rho = \sigma_0^2/(\sigma_0^2 + \sigma^2)$, exceto pelo caso em que $\sigma^2 = 0$. Contudo, na prática, seu valor será próximo de 1, tendo em vista que a incerteza sobre parâmetro populacional tende a ser muito maior que a incerteza de mensuração da observação e que a redução da variância do portfólio provocado pelo efeito da diversificação temporal nesse caso seria feita apenas para reduzir o risco de mensuração observacional e não do impacto de fato provocado pela política naquela população.

2.4 Restrições de uso do projeto-piloto

$$\frac{1}{k}x_1 - b_1 \geq 0 \quad (53)$$

$$\frac{1}{k}x_2 - b_2 \geq 0 \quad (54)$$

As equações 53 e 54 foram construídas com a seguinte lógica: (i) quando as variáveis binárias forem zero, as restrições sempre serão atendidas, uma vez que o primeiro termo será sempre maior ou igual a zero; (ii) quando as variáveis binárias forem 1, as restrições só serão atendidas caso a alocação no momento inicial dos projetos for maior que o mínimo k exigido para o projeto-piloto; e, (iii) quando a variável binária é igual a 1, reduz-se a variância, permitindo um maior espaço para a busca de soluções que maximizem a função objetivo. Combinando tais fatores, tem-se que a variável binária é um indicador para aferir se o projeto-piloto foi ou não

implementado em t_1 .

3.2.3 Seleção de portfólio de impacto no BNDES

Com o objetivo de apresentar a aplicação do protocolo de seleção de investimentos de impacto em um caso real, propôs-se estudar sua aplicação no contexto da atuação do BNDES. Pretende-se com esse exercício estudar a integração das avaliações de impacto, segundo os modelos já desenvolvidos pela instituição, com o esquema de planejamento proposto para seleção de carteiras de impacto.

Os passos prescritos nesta metodologia para a modelagem são os seguintes:

1. definição do universo de seleção contendo os produtos e setores passíveis de alocação e períodos de estimação;
2. modelagem do impacto estimado dos produtos em cada um dos setores da economia para os períodos da amostra;
3. definição da fronteira de eficiência alocativa para todos os possíveis portfólios;
4. análise da fronteira eficiente e tomada de decisão.

Em relação às etapas de seleção de portfólios de impacto, prescritas na seção 3.1, o primeiro item acima relaciona-se aos dois primeiros itens do protocolo de seleção (“definição dos objetivos do investidor” e “mapeamento das alternativas de investimento”). O segundo item corresponde às etapas de 3 a 5 do protocolo (“levantamento das estimativas iniciais”, “aplicação de metodologia de ajuste” e “aplicação do algoritmo de consolidação”). O terceiro item abarca o penúltimo item do protocolo (“cálculo da fronteira eficiente”). Finalmente, o último item relaciona-se ao sétimo e último item do protocolo (“escolha do portfólio do investidor”).

3.2.3.1 Definição do universo de seleção contendo os produtos e setores passíveis de alocação e períodos de estimação

A inferência do impacto estimado da atuação do BNDES apoiou-se nas seguintes bases:

- dados de operações automáticas do BNDES;
- dados contábeis de empresas da Centralização de Serviços Bancários S.A.

(Serasa);

- dados sobre emprego e setor de atividade das empresas brasileiras da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), oriundos de informações coletadas pelo Ministério do Trabalho e Previdência.

A base de dados de operações automáticas foi construída por meio de acesso direto ao banco de dados do BNDES, respeitadas as condições do Termo de Confidencialidade para Profissionais e Estagiários do Sistema BNDES, através do sistema *Business Intelligence* da SAP (SAP BI). Tal base dispõe de cinco campos: cadastro nacional da pessoa jurídica (CNPJ) raiz da firma (oito primeiros dígitos), ano de concessão do financiamento, indicador *dummy* de que a empresa recebeu o financiamento naquele ano, produto do BNDES e ramo de atuação da firma.

A base de dados de operações automáticas foi filtrada e segmentada em seis outras bases compreendendo os dois produtos principais das operações automáticas (BNDES Automático e BNDES Finame) e os três setores de atuação (agropecuária e pesca, comércio e serviços e indústria).

Em relação ao universo de concessões de crédito do BNDES, optou-se por excluir as operações diretas e indiretas não automáticas da amostra. Tais operações são analisadas diretamente pelo BNDES e possuem valor de financiamento, em geral, superiores a R\$ 10 milhões⁶. Devido ao elevado valor, os produtos dessas linhas de crédito são acessados normalmente por grandes empresas, que possuem representatividade menor na amostra (em quantidade de operações) e poderiam tornar a base muito heterogênea.

Já as operações de crédito automáticas são realizadas por meio de instituições financeiras parceiras do BNDES e são contratadas por um amplo espectro de empresas em todo o território nacional. Além disso, os produtos dessa forma de apoio selecionados para compor a amostra correspondem, nos dez últimos anos (isso é, no período de 2012 a 2021), a 76,6% dos valores desembolsados via operações indiretas do BNDES e 41,8% dos desembolsos totais da instituição no período. O produto BNDES Finame é destinado à aquisição de máquinas ou equipamentos, enquanto o produto BNDES Automático destina-se ao financiamento de projetos de investimento (obras civis, por exemplo).

⁶ Atualmente, o valor mínimo das formas de apoio direta e indireta não automática é de R\$ 20 milhões, podendo chegar a R\$ 40 milhões, a depender de características específicas do financiamento.

Em relação aos setores, as empresas da amostra foram distribuídas segundo classificação do BNDES para o setor correspondente da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), da seguinte forma: seção A do CNAE para setor “agropecuária e pesca”; seções B e C do CNAE para “indústria”; e demais seções do CNAE para “comércio e serviços”.

A base da Serasa é uma base privada com informações contábeis das empresas, e foi adquirida pelo BNDES para utilização em seus processos de análise de crédito e disponibilizada via repositório de *Data Lake*. A utilização de uma base externa é interessante para coletar dados de empresas que não obtiveram acesso aos financiamentos do BNDES e, portanto, são candidatas ao grupo controle.

Um fator limitador em relação à base de dados da Serasa é que ela possui informações disponíveis somente até o ano de 2018. Além disso, este trabalho propõe-se a estudar o impacto nos indicadores das firmas no ano posterior à obtenção do financiamento pelo BNDES. Assim, a combinação desses dois fatores faz com que o período máximo de financiamento para a composição da amostra esteja limitado ao ano de 2017.

A RAIS, do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados e do Cadastro de Estabelecimentos Empregadores, em formato de microdados identificados, foi disponibilizada pelo Ministério do Trabalho e Previdência Social ao BNDES e é acessada via repositório de *Data Lake* mediante assinatura de um termo de compromisso e manutenção de sigilo. Informações quantitativas sobre número de empregados, gastos salariais, qualificação e tempo de atuação na empresa estão entre as principais variáveis utilizadas da base consultada neste estudo.

A Tabela 8 apresenta a lista extensiva das variáveis utilizadas nas três bases de dados. As variáveis apresentam dados para uma janela de cinco anos (2014 a 2018), período escolhido para o cômputo dos modelos.

As duas primeiras variáveis, *cnj_raiz* e *ano*, estão presentes nas três bases e são utilizadas como chave-primária para relacioná-las. As variáveis produtos e setor, conforme mencionado, são utilizadas para divisão da base das operações de crédito do BNDES em seis bases menores: (i) BNDES Automático/Agropecuária e pesca; (ii) BNDES Automático/Comércio e serviços; (iii) BNDES Automático/Indústria; (iv) BNDES Finame/Agropecuária e pesca; (v) BNDES Finame/Comércio e serviços; e (vi) BNDES Finame/Indústria. Como será detalhado mais adiante, tais sub-bases são

utilizadas para aferir o impacto de um produto em um determinado setor e constituem o universo alocativo anual para distribuição do orçamento de desembolsos no problema de seleção de portfólios. As demais variáveis são utilizadas como variáveis exógenas ou endógenas nos modelos de estimação de impacto.

As variáveis de impacto selecionadas como objetivo para o modelo de seleção de portfólio foram faturamento bruto, número médio de empregados, produtividade do trabalho e resultado líquido. Cabe ressaltar que as variáveis mencionadas também poderão figurar na lista das variáveis exógenas quando forem a variável de impacto estimada no modelo (por exemplo, na mensuração do impacto do faturamento bruto, o número médio de empregados poderá ser uma das variáveis explicativas).

Os produtos cruzados das variáveis exógenas (isso é, as variáveis elevadas ao quadrado e os produtos entre as variáveis), exceto sobre a variável de indicador do financiamento (*trat_var_dummy*), também foram incluídos na lista de variáveis candidatas ao modelo explicativo de impacto. Portanto, cada modelo de estimação do impacto, além da própria variável de tratamento, conta com um número de 209 variáveis candidatas potenciais a serem incluídas na regressão, sendo 19 variáveis lineares, 19 variáveis quadráticas e 171 produtos entre as variáveis.

A definição das variáveis para a composição da função objetivo e das variáveis explicativas seguiu a proposição descrita em Grimaldi et al. (2018), o que facilita a comparabilidade entre os resultados encontrados em ambos os estudos.

Tabela 8

Descrição das variáveis nas bases de dados

#	Nome da variável	Base	Descrição
1	<i>cnpj_raiz</i>	Todas	Oito primeiros dígitos do CNPJ da firma
2	<i>ano</i>	Todas	Ano de concessão do financiamento/balanco/ano-base dados emprego
3	<i>produto_bndes</i>	BNDES	BNDES Finame ou BNDES Automático
4	<i>setor</i>	BNDES	Agropecuária e pesca, indústria ou comércio e serviços
5	<i>trat_var_dummy</i>	BNDES	Identificação binária de que a empresa recebeu financiamento no ano específico (1=recebeu; 0=não recebeu)
6	<i>ativo_financeiro</i>	Serasa	Soma de caixa, aplicações financeiras, adiantamentos e impostos a recuperar
7	<i>ativo_operacional</i>	Serasa	Soma de contas a receber e estoques
8	<i>ativo_total</i>	Serasa	Ativo total

#	Nome da variável	Base	Descrição
9	capital_de_giro	Serasa	Ativo circulante menos passivo circulante
10	custos	Serasa	Custos dos bens e serviços vendidos
11	faturamento_liquido	Serasa	Receita de vendas de bens e serviços
12	faturamento_bruto	Serasa	Receita operacional
13	ebitda	Serasa	Resultado bruto menos despesas gerais e administrativas
14	ativo_imobilizado	Serasa	Ativo imobilizado
15	passivo_financeiro	Serasa	Empréstimos e financiamentos
16	passivo_operacional	Serasa	Fornecedores, contas e impostos a pagar e resultado de exercícios futuros
17	passivo_total	Serasa	Passivo total
18	patrimonio_liquido	Serasa	Patrimônio líquido
19	resultado_da_atividade	Serasa	Resultado antes do resultado financeiro e tributos
20	resultado_financeiro	Serasa	Resultado financeiro
21	resultado_bruto	Serasa	Resultado bruto
22	resultado_liquido	Serasa	Resultado do exercício
23	margem_ebitda	Serasa	Ebtida / faturamento líquido
24	resultado_nao_operacional	Serasa	Resultado operacional menos resultado da atividade mais resultado financeiro
25	numero_de_empregados_dez	Rais	Número de empregados da firma em dezembro
26	numero_de_empregados_media	Rais	Média anual do número de empregados da firma
27	massa_salarial_dez	Rais	Soma da folha salarial da firma em dezembro
28	anos_de_estudo_media	Rais	Média do ano de estudos dos empregados
29	funcionarios_graduados_percentual	Rais	Percentual de empregados com curso superior na firma
30	idade_da_firma	Rais	Ano de referência da Rais menos ano de abertura da firma
31	produtividade_do_trabalho	Rais e Serasa	Resultado bruto sobre média anual do número de empregados da firma

Fonte: Elaboração própria.

As principais estatísticas descritivas das variáveis financeiras e operacionais, pertencentes aos bancos de dados da Serasa e Rais, estão apresentadas na Tabela 9. Nota-se que o faturamento bruto médio das empresas das bases de dados era de R\$ 97 milhões e que elas empregavam em média 229 empregados, mas há também ampla dispersão nos valores, tornando a base representativa para vários portes de empresas.

Tabela 9*Estatísticas descritivas das variáveis dos bancos de dados da Serasa e RAIS*

Nome da variável	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Curtose	Assimetria	Observações
ativo_financeiro	40.892.152	970.985.970	24	261.045.008.227	-	37.996	163	297.874
ativo_operacional	27.710.272	429.141.344	15	84.177.000.000	-	15.579	108	297.874
ativo_total	144.542.617	3.610.762.719	25	839.717.000.000	1	29.985	155	297.874
capital_de_giro	12.231.808	665.833.502	54	216.106.187.250	-	75.800	229	297.869
custos	62.971.344	996.018.726	16	180.852.000.000	-	14.512	101	297.874
faturamento_liquido	85.313.568	1.331.747.103	16	281.099.000.000	- 2.065.402	20.348	119	297.874
faturamento_bruto	97.043.699	1.672.285.077	17	376.101.000.000	-	25.252	135	297.874
ebitda	10.669.864	268.854.952	25	69.580.000.000	- 8.064.611.000	26.552	135	297.874
ativo_imobilizado	50.875.514	2.007.082.179	39	492.643.000.000	-	43.045	193	297.874
passivo_financeiro	41.298.307	1.398.352.747	34	329.575.000.000	-	34.144	167	297.869
passivo_operacional	41.716.999	1.150.051.930	28	258.468.649.892	-	29.419	154	297.543
passivo_total	144.542.617	3.610.762.719	25	839.717.000.000	1	29.985	155	297.874
patrimonio_liquido	58.355.194	1.426.624.347	24	277.225.000.000	-	20.717	127	297.872
resultado_da_atividade	6.237.924	194.911.543	31	51.268.000.000	- 8.224.822.000	29.632	144	297.873
resultado_financeiro	- 3.001.409	147.519.571	- 49	26.619.404.000	- 31.126.665.000	23.802	- 90	295.476
resultado_bruto	22.342.224	396.482.759	18	100.247.000.000	- 1.506.806.000	30.753	152	297.874
resultado_liquido	3.435.005	191.881.886	56	25.779.000.000	- 44.212.187.000	20.339	- 36	297.363
margem_ebtida	- 24	349	- 15	17	- 84.432	34.766	- 177	297.059

Nome da variável	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Curtose	Assimetria	Observações
resultado_nao_operacional	1.523.377	138.150.353	91	14.257.223.000	37.762.000.000	44.402	- 150	295.476
numero_de_empregados_dez	227,1	1.345,3	5,9	124.707,0	1,0	2.269,3	37,5	257.881
numero_de_empregados_media	229,0	1.347,8	5,9	126.741,6	0,1	2.370,0	38,3	257.881
massa_salarial_dez	668.045	6.117.468	9	1.200.386.755	-	16.878	104	257.176
anos_de_estudo_media	11,7	1,9	0,2	16,0	-	1,3	- 0,4	254.082
funcionarios_graduados_percentual	0,16	0,23	1,44	1,00	-	3,62	2,02	252.621
idade_da_firma	22,9	86,0	3,7	51,0	-	518,5	22,5	292.681
produtividade_do_trabalho	539.272	12.365.883	23	3.399.043.000	-100.958.111	50.803	209	257.858

Fonte: Elaboração própria.

3.2.3.2 Modelagem do impacto estimado dos produtos em cada um dos setores da economia para os períodos da amostra

O levantamento das estimativas iniciais de impacto dos produtos selecionados nos setores da economia foi baseado no MARVIm, descrito em Grimaldi et al. (2018).

O modelo MARVIm retorna quatro estimadores de impacto do financiamento do BNDES em uma determinada variável de interesse:

- $\hat{\beta}_{OLS}$, um estimador por mínimos quadrados ordinários (OLS, do inglês *Ordinary Least Squares*);
- $\hat{\beta}_{PSM}$, um estimador baseado na diferença simples de médias entre grupos pareados segundo a técnica de escore de propensão (PSM, do inglês *Propensity Score Matching*);
- $\hat{\beta}_{PSX}$, um estimador baseado em mínimos quadrados ordinários de grupos pareados por PSM;
- $\hat{\beta}_{WLS}$, um estimador baseado em mínimos quadrados ponderados (WLS, sigla do inglês *Weighted Least Squares*), cuja ponderação se dá em função do escore de pareamento do PSM.

O primeiro estimador, $\hat{\beta}_{OLS}$, se fundamenta na premissa de que o modelador possui um modelo completo, no sentido de que todas as covariadas x_{i1}, \dots, x_{in} utilizadas, além do próprio indicador binário de financiamento T_i , são suficientes para prever sem viés o valor da variável de impacto observada Y_i para cada uma das i empresas na base de dados, conforme equação a seguir estimada por OLS:

$$Y_i = \beta_{OLS} T_i + \sum_{j=1}^n \gamma_j x_{ij} \quad (55)$$

Os três próximos indicadores se valem da seguinte regressão logística binomial em que $Pr(T_i = 1 | X_i = x)$ é a probabilidade estimada (*p-score*) dado o vetor de parâmetros v obtidos via regressão logística de que a firma i com um vetor de covariadas $x_i = [x_1, \dots, x_n]$ receba o financiamento do BNDES (isso é, $T_i = 1$):

$$p_i = Pr(T_i = 1 | X_i = x_i) = \frac{\exp(v'x)}{1 + \exp(v'x)} \quad (56)$$

De posse do *p-score* de cada firma, é executado um procedimento denominado

trimming, que exclui os pares fora de uma região de suporte comum de *p-score*, evitando empresas muito díspares (com *p-scores* próximos de 0 ou 1).

O pareamento para definição do grupo de controle com empresas não tratadas é obtido via algoritmo do vizinho mais próximo que consiste em encontrar, para cada firma que recebeu o financiamento, uma outra que não o recebeu, mas que possua um *p-score* semelhante.

A partir da subamostra criada pelo pareamento, o estimador $\hat{\beta}_{PSM}$ é obtido pela diferença simples de médias entre grupos que receberam o financiamento ($\bar{Y}_i|T_i = 1$) e os que não receberam ($\bar{Y}_i|T_i = 0$), conforme equação a seguir:

$$\hat{\beta}_{PSM} = (\bar{Y}_i|T_i = 1) - (\bar{Y}_i|T_i = 0) \quad (57)$$

Já o estimador $\hat{\beta}_{PSX}$ combina o pareamento com o ajuste por regressão em covariadas, permitindo um controle mais robusto da heterogeneidade eventualmente remanescente do pareamento, obtido conforme a seguinte equação:

$$Y_i = \beta_{PSX}T_i + \sum_{j=1}^n \gamma_j x_{ij} \quad (58)$$

Finalmente, o estimador $\hat{\beta}_{WLS}$ não se restringe à subamostra criada pelo pareamento, mas utiliza o inverso do escore de propensão para ponderar o quadrado dos resíduos, conforme equações a seguir:

$$\arg \min_{\beta_{WLS}} \sum_{i=1}^m w_i \left| Y_i - \beta_{WLS}T_i + \sum_{j=1}^n \gamma_j x_{ij} \right|^2 \quad (59)$$

$$w_i = \begin{cases} \frac{\frac{N_t}{p_i}}{\sum_{i \in g_t} \frac{1}{p_i}}, & \text{se } T_i = 1 \\ \frac{\frac{N_c}{1-p_i}}{\sum_{i \in g_c} \frac{1}{1-p_i}}, & \text{se } T_i = 0 \end{cases} \quad (60)$$

em que, g_t é o grupo de tratamento com um número N_t de firmas e g_c é o grupo de controle com N_c firmas. A lógica da atribuição dos pesos é valorizar na regressão as firmas mais comparáveis para a obtenção do estimador.

Por fim, para aumentar a robustez dos estimadores, a variável de *output* Y_i é computada como a diferença dos valores observados para a variável no ano posterior do financiamento e no ano do financiamento de cada firma da amostra, o que fornece um estimador não viesado do método de diferenças-em-diferenças, descrito pela Equação 3.

A seleção das covariadas que irão compor as regressões para estimação do impacto e dos escores de propensão é realizada por meio de um procedimento automatizado de *data mining* intitulado *Stepwise Selection*. Esse procedimento parte de um modelo inicial e, em cada iteração, adiciona aquelas variáveis que mais contribuem e exclui aquelas que menos contribuem para o poder explicativo da regressão.

Para os modelos de estimação do impacto (OLS ou WLS), é realizado um procedimento iterativo de seleção de variáveis para minimizar a estatística *Akaike Information Criterion* (AIC) das regressões. Partindo de um modelo com todas as variáveis, em cada etapa se analisa individualmente o benefício da exclusão de cada uma das variáveis ou da reinclusão de uma excluída em uma etapa anterior, e o modelo é ajustado com a estratégia de maior redução no AIC. O processo iterativo continua até que não sejam observados mais ganhos em todas as exclusões/inclusões disponíveis.

Para o modelo do pareamento, dado por uma regressão logística, utiliza-se uma seleção em duas etapas somente com inclusão de variáveis. A primeira etapa parte de um modelo vazio, e são adicionadas as variáveis de ordem 1 que aumentam a log-verossimilhança do modelo em 1 unidade. Definidas as variáveis da primeira etapa, permite-se a entrada dos produtos das variáveis (incluídos os termos quadráticos) que aumentam a log-verossimilhança da regressão em 2,71 unidades.

O modelo MARVIm, descrito nesta subseção, é executado 24 vezes para estimar o impacto das 6 possibilidades de alocação (produto/setor) e 4 anos disponíveis⁷. Além disso, cada execução do modelo retorna 4 estimadores de impacto, o que acarreta um número total de 96 estimadores nas 24 execuções do modelo.

Dado o protocolo sugerido para a seleção de portfólios de impacto, uma inovação necessária em relação ao MARVIm, descrito em Grimaldi et al. (2018), é a consolidação dos 4 estimadores de impacto em um único por meio técnicas de meta-

⁷ Como as bases de dados contêm os anos de 2014 a 2018 e o impacto é estimado para um ano à frente, os anos de recebimento do financiamento ficam restritos ao período 2014-2017.

análise.

Como todos os estimadores são calculados para estimar os efeitos do financiamento na mesma população, assume-se que o modelo de efeitos fixos, dado pelas equações 28 e 29 apresentadas em Rubin (1981), seja apropriado para sumarizar os estimadores.

Cabe reconhecer algumas limitações da modelagem do impacto proposta. Primeiramente, destaca-se que não são considerados outros trabalhos existentes na literatura sobre o impacto do BNDES para construção do conhecimento *a priori* a ser utilizado na consolidação das estimativas, o que poderia robustecer as estimativas apresentadas. Optou-se pela não utilização dessas estimativas dada a especificidade da carteira a ser modelada, o que poderia trazer distorções às análises realizadas. Além disso, a modelagem implementada não considera os seguintes efeitos que podem ter impacto nos resultados apresentados:

- ausência de modelagem do “efeito dosagem”: as estimativas de impacto não consideram o valor do financiamento, mas o ato de receber ou não o financiamento.
- ausência de modelagem do “efeito temporal”: o modelo apresenta o efeito nos indicadores das empresas no ano consecutivo à obtenção do financiamento, sendo que os maiores efeitos podem ter tempo de maturidade maior que o modelado.
- ausência de modelagem do “efeito transbordo”: não se estuda efeitos indiretos ao financiamento (por exemplo, impacto na cadeia de fornecedores, consumidores ou concorrentes) que podem alavancar ou desalavancar os estimadores agregados.

3.2.3.3 Definição da fronteira de eficiência alocativa para todos os possíveis portfólios

Definidas as estimativas finais de impacto para cada alocação, o próximo passo do protocolo de seleção de investimentos de impacto é a definição da fronteira de eficiência. No caso do problema em análise, o problema multiobjetivo para cada ano é definido conforme a equação a seguir:

maximizar

$$\mathbf{Z}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} Z\mu_{fat}(\mathbf{x}) \\ Z\mu_{emp}(\mathbf{x}) \\ Z\mu_{prod}(\mathbf{x}) \\ Z\mu_{res}(\mathbf{x}) \\ -Z\sigma_{fat}(\mathbf{x}) \\ -Z\sigma_{emp}(\mathbf{x}) \\ -Z\sigma_{prod}(\mathbf{x}) \\ -Z\sigma_{res}(\mathbf{x}) \end{bmatrix} \quad (61)$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^6 x_i k_i = H$$

$$0 \leq x_i \leq \frac{H}{k_i}, \quad i = 1, \dots, 6$$

em que:

- \mathbf{Z} é a função multiobjetivo para maximização de cada um dos oito objetivos;
- H é o orçamento disponível para alocação entre os produtos/setores;
- $\mathbf{k} = [k_1, \dots, k_6]$ é um vetor, o valor do *ticket* médio do financiamento (valor médio de cada financiamento) para cada i -ésimo produto/setor.

Na função objetivo apresentada, os oito objetivos se relacionam ao ganho esperado e nível de incerteza quanto ao impacto do financiamento no ano seguinte para os indicadores da empresa: faturamento bruto, número médio de empregados, produtividade do trabalho e resultado líquido.

As quatro primeiras funções objetivo, $Z\mu_j(\mathbf{x})$, definidas como o impacto esperado da carteira de financiamentos no indicador j , são dadas pela seguinte equação, em que \mathbf{r} é o vetor de impacto estimado escalonado pelo inverso de \mathbf{k} (isso é $r_i = \beta_i/k_i$):

$$\mathbf{Z}\mu_j(\mathbf{x}) = \mathbf{x}'\mathbf{r} \quad (62)$$

Como a variável decisória se dá no nível da quantidade de firmas apoiadas, o escalonamento de \mathbf{r} pelo inverso do *ticket* médio é necessário tendo em vista que o apoio com um produto em um setor que consome, em média, um valor baixo orçamentário possui um efeito multiplicador de impacto maior, uma vez que possibilita que mais firmas sejam apoiadas.

As quatro últimas funções objetivo, $-Z\sigma_j(\mathbf{x})$, definidas como um nível de precisão para o impacto total da carteira de financiamentos no indicador j , são dadas

pela seguinte equação, em que σ é um vetor com os desvios-padrão dos impactos estimados escalonados pelo inverso de \mathbf{k} (isso é $\sigma_i = \sigma_i/k_i$):

$$-\mathbf{Z}\sigma_j(\mathbf{x}) = -(\mathbf{x}'\sigma^2)^{1/2} \quad (63)$$

Comparando-se a Equação 63 com a Equação 32, nota-se que o risco do portfólio é sumarizado somente com os desvios-padrão individuais. Isso, porque assume-se que as covariâncias entre os impactos de financiamentos e os produtos/setores sejam iguais a zero, isso é, que não há efeito de transbordo entre os produtos/setores. O sinal negativo é utilizado para reorientar a direção desejada do risco em concordância com o tipo de otimização, de minimização do risco para maximização do negativo do risco ou, de maneira similar, para maximização da precisão do impacto.

As restrições do modelo estão relacionadas à questão orçamentária, uma vez que a soma das alocações entre os produtos/setores não pode superar o orçamento disponível para o ano H , e que as alocações individuais entre os produtos/setores devem estar contidas entre zero e o valor orçamentário.

Quanto aos parâmetros fixos, além dos parâmetros de impacto (média e desvio-padrão) estimados na subseção anterior, utilizou-se dos valores observados nos respectivos anos para o cômputo do orçamento anual, H , e do *ticket* médio, k_i , isso é, a soma anual dos dispêndios dos produtos BNDES Automático e BNDES Finame nos produtos/setores e da razão dos valores dispendidos por quantidade de financiamentos concedidos por produto/setor no ano em questão para o computo de H e k_i , respectivamente.

Cabe, ainda, observar que foram assumidas três premissas simplificadoras para a modelagem: (i) que não consta um objetivo financeiro no problema de seleção de portfólios; (ii) que há um poder discricionário completo para a alocação orçamentária entre os produtos/setores; e (iii) que a seleção de portfólios se dará no mesmo ano da estimação do impacto. Apesar de tais premissas serem inverossímeis, a forma escolhida para a modelagem se justifica por reduzir a complexidade do modelo, mas ainda ser capaz de fornecer *insights* sobre possíveis cursos de ações a serem adotados no planejamento da instituição, no caso em que não há grandes variações entre os parâmetros de um ano para o outro. Além disso, tal abordagem traz maior comparabilidade entre os efeitos dos portfólios efetivamente adotados e aqueles considerados ideais segundo o modelo de seleção de portfólio, uma vez que se elimina

da análise as oscilações nos parâmetros fixos do modelo de otimização decorrentes das diferenças entre as datas de apuração e da utilização para fins decisórios.

A estimação da fronteira eficiente foi feita via algoritmos genéticos multiobjetivos, dado pelo modelo NSGA-II, descrito em Deb et al. (2002). O modelo foi implementado em Python com a utilização do módulo *pymoo - Multi-objective Optimization in Python*⁸.

O algoritmo NSGA-II é uma evolução do algoritmo *Nondominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA) e funciona da seguinte forma: o primeiro passo é criar um número N de soluções aleatórias para o problema x_1, \dots, x_N (chamadas indivíduos) e formar uma população P_0 inicial. Em seguida, cria-se uma nova população Q_0 de tamanho N a partir de operadores usuais dos algoritmos genéticos, como seleção de torneio binário, *crossover* e mutação, que é combinada com a população original, formando uma população R_0 de tamanho $2N$. Então, para cada uma das soluções, é atribuído um *ranking*, *Nondomination rank*(x_i), de acordo com seu *status* de não dominância (1 não é dominado; 2 é dominado por outra solução; 3 é dominado por duas soluções; etc.), formando-se subpopulações \mathcal{F}_1 de indivíduos com *ranking* 1, \mathcal{F}_2 de indivíduos com *ranking* 2 etc. Cria-se, então, uma nova população pela união das subpopulações de menor *ranking* enquanto o tamanho resultante for menor ou igual a N . Para a subpopulação seguinte \mathcal{F}_l , cuja adição estouraria o limite populacional N , selecionam-se aqueles indivíduos com melhor indicador de distância populacional, *Crowding distance*(x_i), um indicador que privilegia aqueles indivíduos situados em regiões de menor densidade populacional⁹. Culmina-se, assim, em uma nova população P_1 de tamanho N , que dará início a um novo ciclo do algoritmo.

A diversidade da população é fomentada de duas formas: por meio do processo de redução populacional descrito no parágrafo anterior e durante o processo dos torneios binários, no qual se selecionam aleatoriamente dois indivíduos da população, sendo selecionado para composição de Q_0 aquele que tiver o melhor indicador de *Crowding distance*(x_i).

Os demais operadores de algoritmos genéticos operam sobre as soluções da seguinte forma:

⁸ Disponível em: <https://pymoo.org/>

⁹ O indicador *Crowding distance* é dado pela Distância Manhattan no espaço das funções objetivo, exceto nos pontos extremos, que são mantidos em cada geração e, portanto, recebem um indicador infinito.

- *Crossover*: dados dois indivíduos x_i e x_j selecionados para cruzamento, criam-se dois filhos que são combinações aleatórias dos pais. Especificamente, utiliza-se o algoritmo SBX, descrito em Deb e Beyer (2001), que emprega as seguintes equações:

$$\beta_q = \begin{cases} (2u)^{\frac{1}{\eta+1}} & , \text{ se } u \sim U(0,1) \leq 0,5 \\ \left(\frac{1}{2(1-u)}\right)^{\frac{1}{\eta+1}} & , \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (64)$$

$$x_{filho1} = 0,5[(1 + \beta_q)x_{pai} + (1 - \beta_q)x_{mãe}] \quad (65)$$

$$x_{filho2} = 0,5[(1 - \beta_q)x_{pai} + (1 + \beta_q)x_{mãe}] \quad (66)$$

Para fins das otimizações executadas neste trabalho, optou-se por trabalhar com o parâmetro $\eta = 15$ e com a probabilidade que o indivíduo seja selecionado para *crossover* em 90%.

- *Mutação*: dada uma taxa de mutação na população, cria-se uma distorção na formação do indivíduo por uma função $x_{mutante} = x_{original} \mathbf{R}$, em que \mathbf{R} é um vetor de ruído com distribuição centrada em 1. No caso específico, utiliza-se o mesmo algoritmo SBX empregado no *crossover*, com $x_{pai} = x_{mãe} = x_{original}$. Neste trabalho, assume-se que a função de *crossover* utilizada, idêntica à de mutação, já é suficiente para aumentar a diversidade populacional. Sendo assim, a probabilidade de mutação foi configurada para zero.
- *Elitismo*: é uma cópia simples dos indivíduos mais aptos de uma população para a geração seguinte. No NSGA-II, o elitismo é assegurado na formação da população R_k , que incorpora os indivíduos da população anterior.

O algoritmo foi configurado para ser executado com uma população constante de 1.000 indivíduos, que evoluem por 1.000 gerações. Ao final da execução do algoritmo, apresentam-se, então, 1.000 soluções possíveis para o problema de otimização, que tendem a ter um amplo grau de dispersão na região de factibilidade e a estarem próximas à fronteira eficiente verdadeira, ressaltando-se, contudo, que essa é desconhecida.

3.2.3.4 Critérios de análise da fronteira eficiente e atribuição de performance

Conforme apresentado em Deb (2001), não há um único número que resuma a qualidade das soluções encontradas na fronteira eficiente, sendo que a análise, geralmente, é realizada por inspeções visuais. Segundo o autor, a análise dos pontos da fronteira eficiente pode ser facilitada por meio da padronização dos valores encontrados da função objetivo na dimensão j , Z_{ij} , em um intervalo entre 0 e 100, sendo 0 atribuído ao menor valor encontrado para a função objetivo (isso é, Z_{minj}) e 100 atribuído ao maior valor da função da função objetivo (isso é, Z_{maxj}), conforme equação abaixo:

$$G_{ij} = 100 \times \frac{Z_{ij} - Z_{minj}}{Z_{maxj} - Z_{minj}} \quad (67)$$

Dentre os aspectos a serem analisados, Deb (2001) sugere verificar o *status* de dominância das soluções e o nível de cobertura do espaço decisório. Além disso, os pseudopesos, apresentados na Equação 31, podem ser utilizados para hierarquização de alternativas decisórias.

Por fim, sugere-se comparar os impactos decorrentes da alocação real contra as possíveis alocações sugeridas para a fronteira eficiente, destacando-se possíveis ineficiências no portfólio adotado pela instituição e possibilidades de melhorias alocativas, segundo um determinado critério decisório.

Capítulo 4 Resultados

A presente seção tem como objetivo apresentar os resultados e as análises dos estudos de casos descritos na seção anterior. O primeiro estudo de caso analisado visa apresentar a aplicação do protocolo de estruturação de um portfólio de investimentos de impacto, no qual se investigará as técnicas de generalização e consolidação de estudos de impacto, bem como permite avaliar a possibilidade de redução de riscos financeiros e socioambientais por meio da diversificação nas oportunidades de investimentos disponíveis. Na sequência, será analisado um outro estudo de caso, cujo foco de análise se dá nos efeitos temporais da alocação, investigando-se ganhos decorrentes de aprendizagem e da maximização do orçamento financeiro, bem como outros *trade-offs* intertemporais decorrentes das preferências dos tomadores de decisão. Por fim, apresentam-se os resultados da aplicação do protocolo de seleção de investimentos de impacto no BNDES.

4.1 Seleção de portfólio de impacto a partir de diferentes fontes de informação preliminares de impacto (Estudo de caso hipotético 1)

A presente seção tem como objetivo apresentar os resultados e a análise do primeiro estudo de caso descrito na seção anterior. Como várias etapas do protocolo descrito na metodologia já foram definidas na apresentação do problema, a derivação do resultado se concentrará nas últimas quatro etapas do protocolo, conforme apresentado na Figura 5.

A primeira etapa sugerida para a resolução do problema é derivada diretamente das convicções individuais do investidor acerca de seus *inputs* coletados para aferição dos efeitos de cada um dos investimentos. Assim, de acordo com a definição do problema, as

estimativas de impacto dos programas creditícios são ajustadas conforme a Tabela 10.

Tabela 10

Estimativas de impacto (em desvio-padrão) dos programas creditícios na renda média das famílias que contrairão o financiamento, após ajuste da qualidade da fonte de informação

Programa (Estudo/Fonte de informação)	Estimativa inicial	Fator de ajuste da fonte de informação	Estimativa final
Microcrédito urbano (Estudo 1/RCT)			
Efeito da política	0,000	0%	0,000
Erro-padrão	0,080	0%	0,080
Microcrédito urbano (Estudo 2/RCT)			
Efeito da política	0,200	0%	0,200
Erro-padrão	0,100	0%	0,100
Crédito agrícola (Estudo 3/Quase-experimento)			
Efeito da política	0,125	-20%	0,100
Erro-padrão	0,128	+25%	0,160
Crédito agrícola (Estudo 4/Opinião de especialista)			
Efeito da política	0,400	-50%	0,200
Erro-padrão	0,125	+60%	0,200

Fonte: Elaboração própria.

Calculadas as estimativas individuais, utilizam-se as estimativas bayesianas sugeridas em Rubin (1981), operacionalizadas pelas equações 28 e 29, para a consolidação das estimativas, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11

Consolidação das estimativas de impacto na renda média (em desvio-padrão) por programa creditício

Programa	Estimativa
Microcrédito urbano	
Efeito da política	0,078
Erro-padrão	0,062
Crédito agrícola	
Efeito da política	0,139
Erro-padrão	0,125

Fonte: Elaboração própria.

Comparando-se os resultados das tabelas 10 e 11, observa-se que o esquema de

ponderação privilegia, para a média final da estimativa, aqueles estudos com menor erro-padrão nas estimativas. Por exemplo, a consolidação dos estudos de microcrédito apresentou como estimativa final o valor de 0,078, apesar da média simples das estimativas ser de 0,100, uma vez que o erro-padrão do Estudo 1 é menor que o do Estudo 2, o que puxa o valor para baixo. Já em relação à consolidação dos estudos 3 e 4, para obtenção do efeito estimado do programa de crédito agrícola, encontrou-se o valor de 0,139. Tal estimativa foi influenciada majoritariamente pelo menor erro-padrão do Estudo 3 em relação ao Estudo 4.

Ainda em relação à Tabela 11, observa-se que os programas de crédito são não dominantes um em relação ao outro, pois o que possui o maior impacto esperado está sujeito a um maior risco. Isso não significa, contudo, que, caso fosse constatada uma relação de dominância, não se justificaria uma alocação em ambos os programas, uma vez que, havendo uma correlação nula entre o efeito de um e do outro, poderia haver um ganho na estratégia em decorrência do princípio da diversificação.

O passo seguinte é a derivação da fronteira eficiente parcial (fronteira de Pareto) dada pela aplicação da Equação 34 para cada um dos objetivos (no caso, objetivo financeiro ou socioeconômico), com pesos arbitrários para o objetivo que está se querendo observar e pesos nulos para aquele fora da análise.

Cabe notar que o espaço de decisão do problema é muito restrito, uma vez que há somente uma variável de decisão livre e que essa varia entre 0% e 100%. Por exemplo, fixando-se a alocação orçamentária no programa de microcrédito urbano em um dado montante, define-se a alocação no programa de crédito agrícola como o seu complemento. Assim, é possível mapear o risco e retorno do portfólio, construindo-se uma grade de valores para alocação em um programa específico.

Dessa forma, fazendo o programa de microcrédito urbano variar entre 0% e 100%, podemos observar, de maneira isolada, a relação entre o retorno financeiro e o risco esperado da carteira (Figura 6) e o efeito conjunto dos programas na renda média das famílias beneficiárias e seu erro-padrão associado (Figura 7).

Na Figura 6, que considera apenas os objetivos financeiros e despreza os objetivos socioambientais, a fronteira eficiente (fronteira de Pareto) é formada pelos portfólios constantes no segmento **XW**, no qual **X** representa o portfólio de menor risco possível, construído com 34% de alocação no programa de microcrédito urbano e 66% no programa de crédito agrícola, e **W** representa o portfólio de maior retorno financeiro

possível, formado pela alocação de 100% no programa de microcrédito urbano. O retorno e o risco desses portfólios são de, respectivamente, 8,7% a.a. e 3,5% a.a., no portfólio **X**, e 10,0% a.a. e 5,0% a.a., no portfólio **W**. Como é possível observar, qualquer alocação no segmento **ZX** seria ineficiente do ponto de vista financeiro, pois são portfólios dominados.

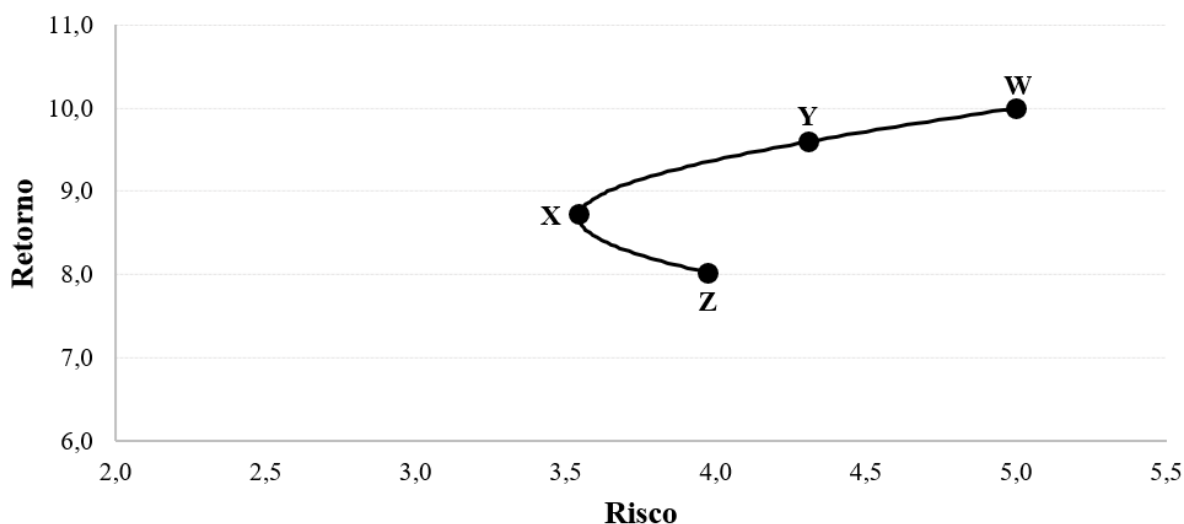


Figura 6

Risco e retorno financeiro (em % a.a.) em função da alocação entre as alternativas de investimento

Fonte: Elaboração própria.

Fazendo o mesmo tipo de análise, mas agora considerando apenas o objetivo social das alocações, observa-se que qualquer alocação nos portfólios do segmento **YW** seria ineficiente, e a fronteira de Pareto seria dada pelas carteiras no segmento **YZ**. O portfólio **Y**, formado por uma alocação de 80% no programa de microcrédito urbano e 20% em crédito agrícola, seria o de menor risco de implementação, oferecendo um impacto na renda média familiar de 0,09 d.p. com um erro-padrão associado de 0,056. Já o portfólio **Z**, dominado do ponto de vista financeiro, composto de uma alocação em 100% no programa de crédito agrícola, é o que oferece o maior impacto na renda média esperado (0,139 d.p.), porém às custas de ser o mais arriscado (0,125 erros-padrão).

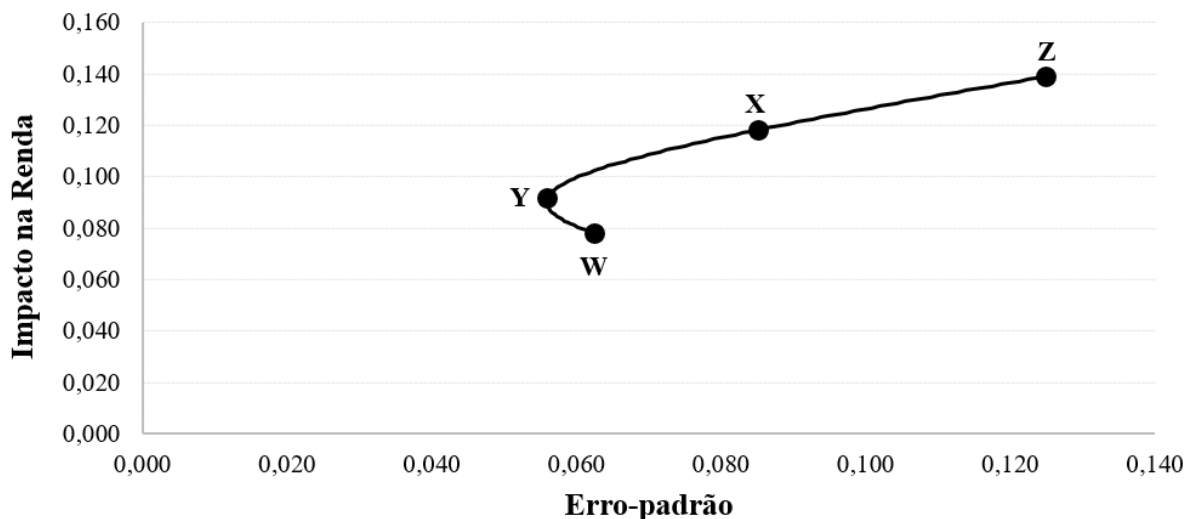


Figura 7

Impacto estimado na renda familiar (em desvios-padrão) e erro-padrão da estimativa em função da alocação entre as alternativas de investimento

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 8 permite visualizar todos os objetivos em função da alocação no programa de crédito de maneira concomitante. Para melhorar a visualização dos dados, os objetivos foram reescalados entre 0 e 100, sendo 100 atribuído àquele mais desejável possível (isso é, àquele com maior retorno financeiro, maior impacto social, menor risco financeiro ou menor incerteza sobre o impacto social) e 0 atribuído ao menos desejável possível (menor retorno financeiro, menor impacto social, maior risco ou maior incerteza sobre o impacto social). Assim, tomados de maneira conjunta, não há relação de dominância entre os portfólios, uma vez que o efeito esperado na renda e o retorno financeiro se comportam de maneira inversamente proporcional ao longo do eixo horizontal (percentual alocado no programa de microcrédito urbano).

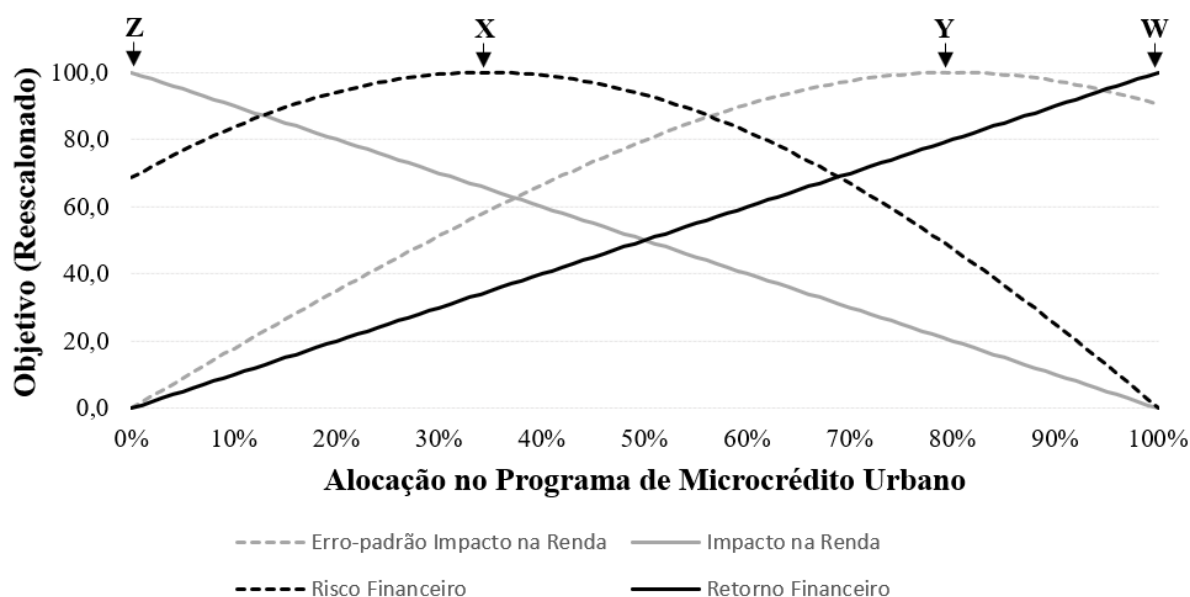


Figura 8

Objetivos do investidor em função da alocação percentual no programa de microcrédito urbano

Nota: O objetivo foi reescalonado para que sua melhor avaliação possível fosse igual a 100 e a sua pior fosse igual a 0. Fonte: Elaboração própria.

Finalmente, um único portfólio da fronteira pode ser selecionado à luz das preferências individuais do tomador de decisão. Por exemplo, face aos objetivos reescalados apresentados anteriormente, utilizando-se de pesos variando de 0 a 4, um investidor que tenha um apetite médio na relação retorno/risco e preze pelo alcance de resultados socioambientais com baixa tolerância a incertezas poderia ser representado por um vetor de pesos $w = (2,2,4,4)$, em que: w_1 é o peso do retorno financeiro; w_2 é o peso do risco financeiro; w_3 é o peso do impacto socioambiental; e w_4 é o peso da incerteza do impacto. Com essa configuração das preferências, o investidor deveria optar por uma alocação de 55% no programa de microcrédito urbano e 45% no programa de crédito familiar agrícola.

Portanto, com base nos resultados numéricos aqui evidenciados, é razoável perceber ser possível estender as ideias presentes na fronteira eficiente de Markowitz para gerenciar portfólios com múltiplos objetivos. Particularmente, observa-se que os ganhos da diversificação na alocação também podem ser utilizados para reduzir os riscos associados aos efeitos pretendidos com programas socioambientais.

4.2 Seleção de portfólios de impacto com decisões intertemporais (Estudo de caso hipotético 2)

O Estudo de caso 2 acrescenta o caráter dinâmico ao problema de escolha de carteira de investimento ao introduzir a possibilidade de alocações intertemporais entre os projetos, bem como novos parâmetros relacionados às preferências dos tomadores de decisão no modelo de otimização de portfólios.

Com as parametrizações do cenário base e sua substituição no modelo de otimização, o valor da função objetivo Z , que mensura o impacto total do portfólio, foi de 0,995 desvio-padrão, por meio da aplicação no seguinte portfólio: $x_1^* = 5,0\%$, $x_2^* = 23,2\%$, $x_3^* = 41,0\%$, $x_4^* = 38,0\%$.

Como é possível perceber, a soma dos pesos supera os 100% dos recursos disponíveis no tempo 1, tendo em vista que, no tempo 2, houve a replicação do investimento do excedente dos recursos do tempo 1 (isso é, $1 - 5,0\% - 23,2\%$), que foram rentabilizados pela taxa de $r = 10\%$.

As figuras 9 e 10 apresentam os efeitos da variação do parâmetro r no cenário base, na função objetivo e nas alocações, respectivamente. Há uma relação direta entre o retorno financeiro do excedente e o impacto final encontrado no portfólio ótimo (Figura 9). Além disso, nota-se que, à medida que o retorno financeiro do excedente aumenta, a alocação ótima tende a diminuir a aplicação no período 1 para os mínimos requeridos para o projeto-piloto (Figura 10).

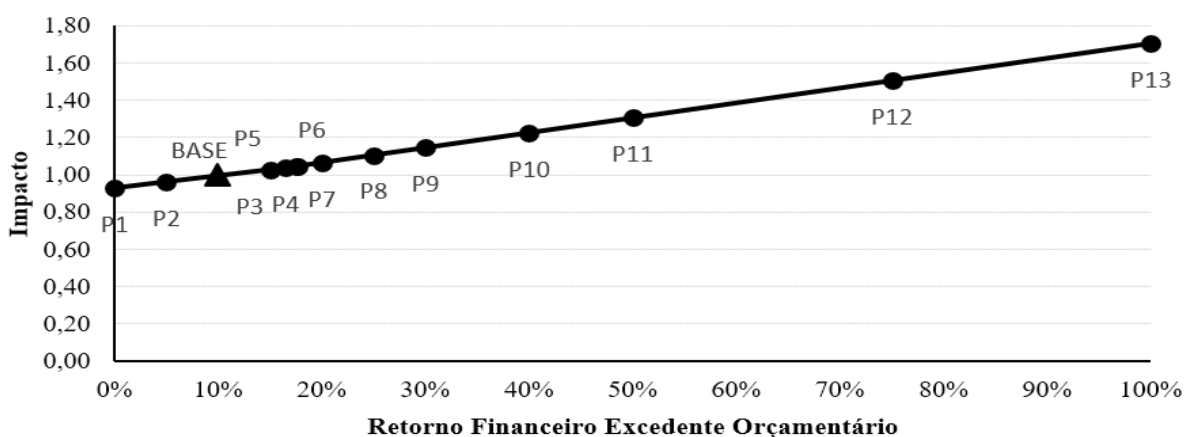


Figura 9

Variação da função objetivo Z (impacto em desvios-padrão) em função da variação no parâmetro retorno financeiro do excedente orçamentário, r

Fonte: Elaboração própria.

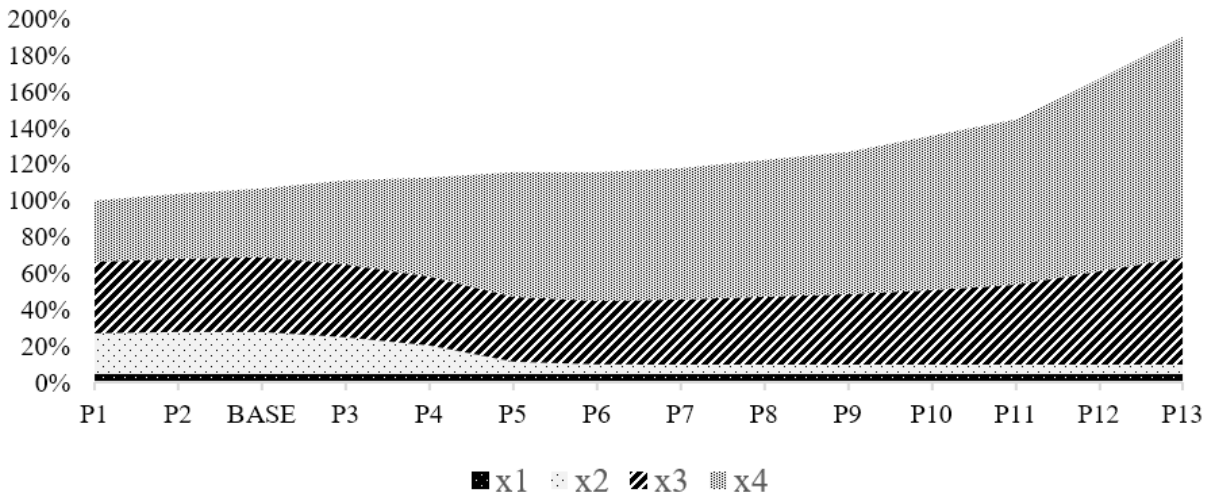


Figura 10

Variação da alocação do portfólio ótimo em função da variação no parâmetro retorno financeiro do excedente orçamentário, r

Fonte: Elaboração própria.

Em relação à restrição do mínimo requerido para o projeto-piloto no cenário base, a otimização convergiu para o uso do projeto-piloto nos dois projetos ($x_1 \geq 5,0\%$, $x_2 \geq 5,0\%$), sendo que a alocação no Projeto 1 no período inicial foi a única que teve essa restrição ativa.

A variação desse parâmetro no cenário base dentro do intervalo das soluções factíveis $0 \leq k \leq 14,7\%$ apresentou relação negativa com a função objetivo (Figura 11). A elevação desse parâmetro provocou uma elevação do valor aplicado nos projetos do tempo 1, sendo que não foram encontradas, dentro dos cenários avaliados, situações em que a solução ótima privilegiou pela não obtenção do ganho de experiência (isso é, b_1 ou b_2 iguais a zero).

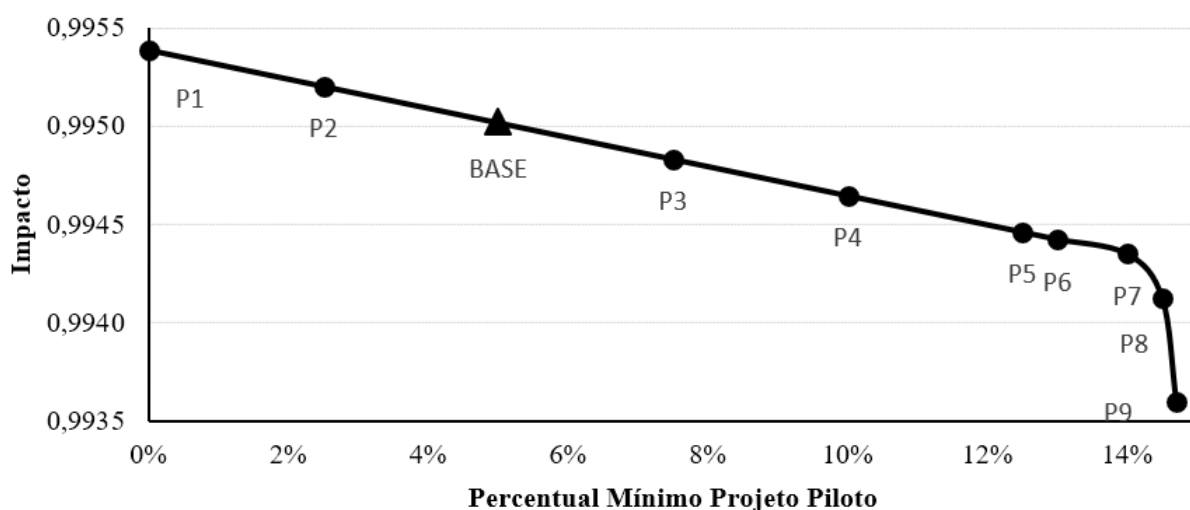


Figura 11

Variação da função objetivo Z (impacto em desvios-padrão) em função da variação no parâmetro percentual mínimo do projeto-piloto, k

Fonte: Elaboração própria.

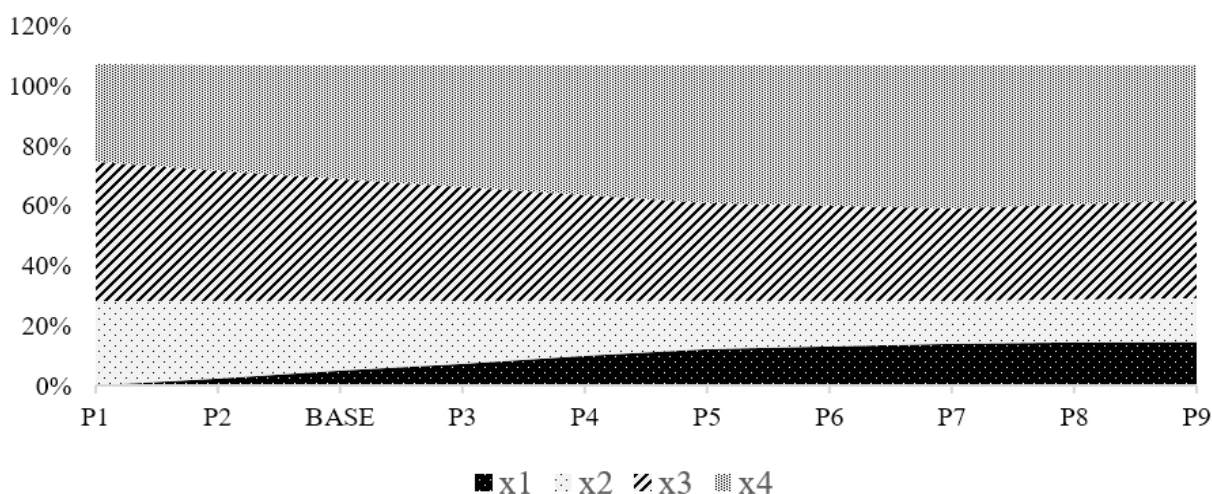


Figura 12

Variação da alocação do portfólio ótimo em função da variação no parâmetro percentual mínimo do projeto-piloto, k

Fonte: Elaboração própria.

O estudo da variação no parâmetro α (redução de risco com realização do projeto-piloto) no cenário base sugere uma relação positiva, de ganhos decrescentes, entre o parâmetro e a função objetivo (Figura 13). Em relação à política ótima de alocação, observou-se um padrão não monotônico entre as variáveis (Figura 14). Por exemplo, os portfólios P1, BASE, P2 e P3, correspondentes respectivamente aos parâmetros α de

8%, 10%, 12,5% e 15%, acarretaram a alocação de x_1 (Projeto 1, tempo 1) no mínimo requerido para o ganho de experiência (isso é, $x_1 = 5\%$). No entanto, o aumento de α para 25% (portfólio P4) fez com que x_1 saltasse para 34,8%, alocação que passou a decair novamente em razão do aumento do parâmetro α .

Tal comportamento é explicado pela folga no orçamento de risco acarretada pelo ganho de experiência, sendo que o algoritmo passa a privilegiar alocações no momento inicial que não são afetadas pelo parâmetro de desconto temporal γ . Por outro lado, com o consequente e gradual aumento do orçamento de risco, o benefício da diversificação do tempo 1 passa a ser menos relevante, privilegiando a alocação no Projeto 2, por ser o que gera os melhores resultados de impacto por orçamento alocado.

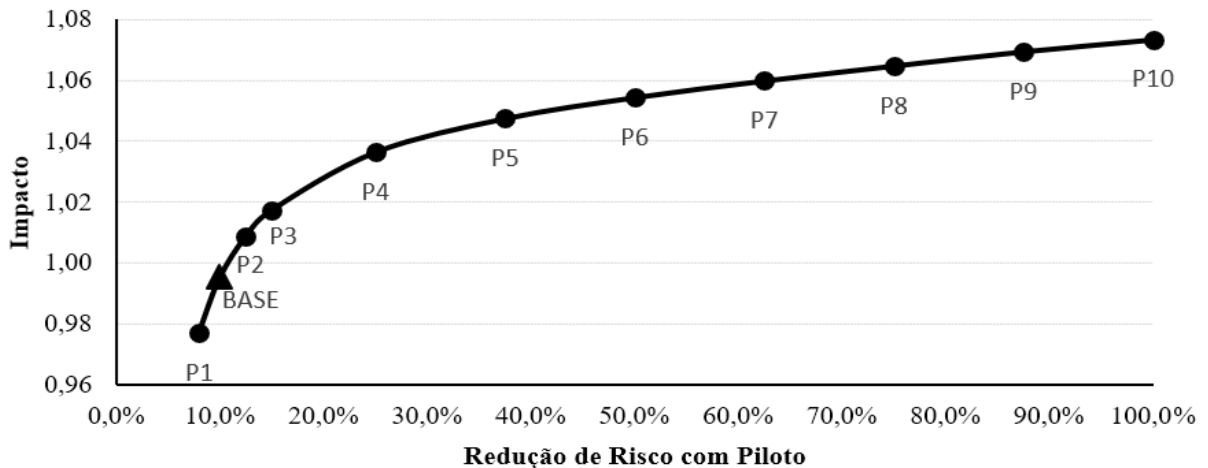


Figura 13

Variação da função objetivo Z (impacto em desvios-padrão) em função da variação no parâmetro redução de risco com realização do projeto-piloto, α

Fonte: Elaboração própria.

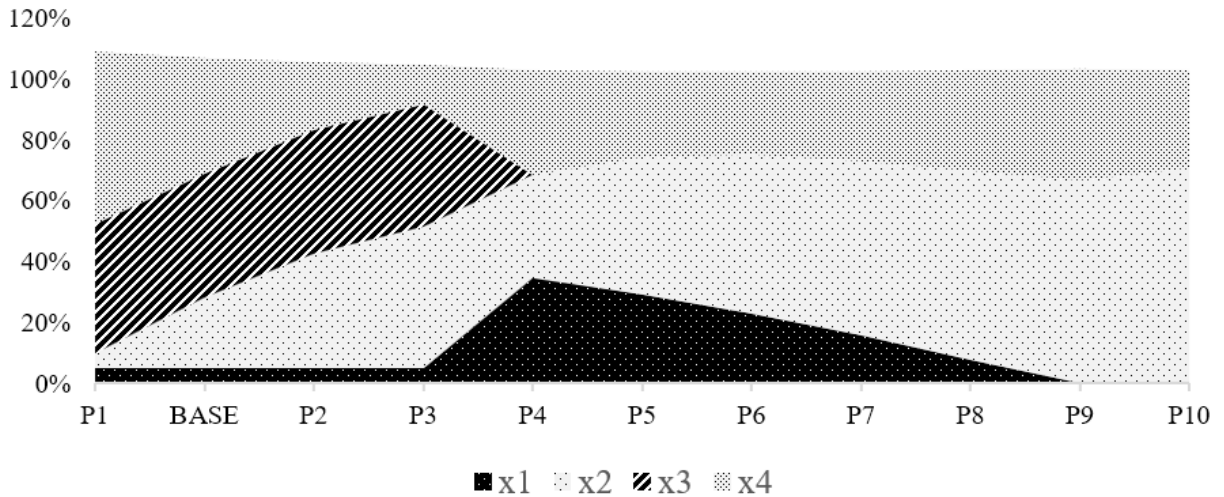


Figura 14

Varição da alocação do portfólio ótimo em função da variação no parâmetro redução de risco com realização do projeto-piloto, α

Fonte: Elaboração própria.

Pelas mesmas razões apresentadas anteriormente, esse mesmo tipo de comportamento não monotônico na alocação foi encontrado no estudo da variação do orçamento de risco \sqrt{T} , que também apresentou um aumento nas alocações do período inicial, com o aumento do orçamento de risco, e, posteriormente, a concentração na alocação de x_2 (Projeto 2, tempo 1), com a diminuição da exigência da diversificação (Figura 16). Também foi observada uma relação positiva e de ganhos decrescentes entre o aumento do orçamento de risco e a função objetivo (Figura 15), sendo que, na fase inicial da curva (portfólios P1 a P4), os ganhos foram mais significativos (isso é, maior inclinação da curva), tendo em vista o aproveitamento simultâneo do ganho de experiência e da diversificação.

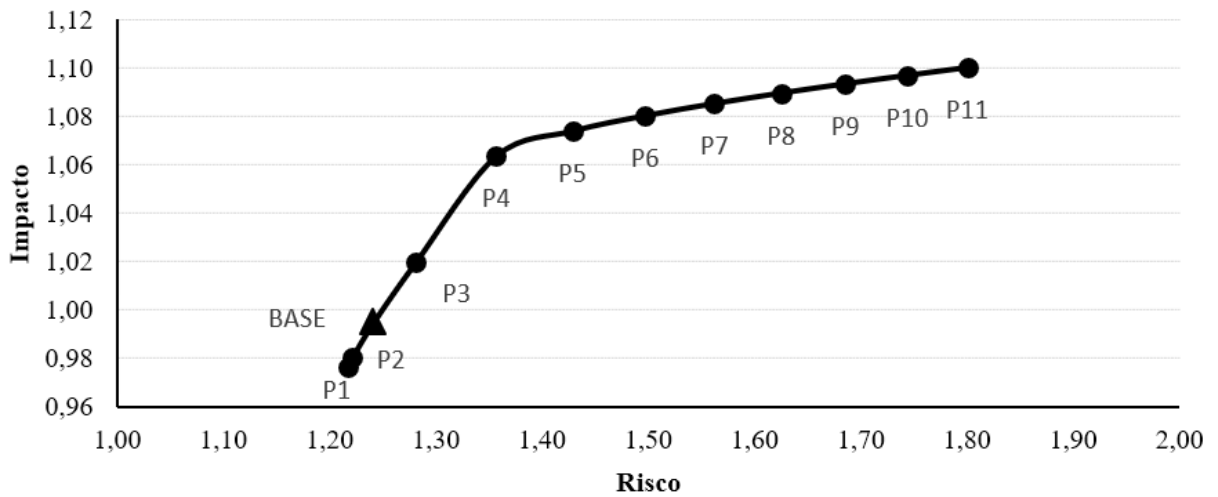


Figura 15

Varição da função objetivo Z (impacto em desvios-padrão) em função da variação no parâmetro orçamento de risco, \sqrt{T}

Fonte: Elaboração própria.

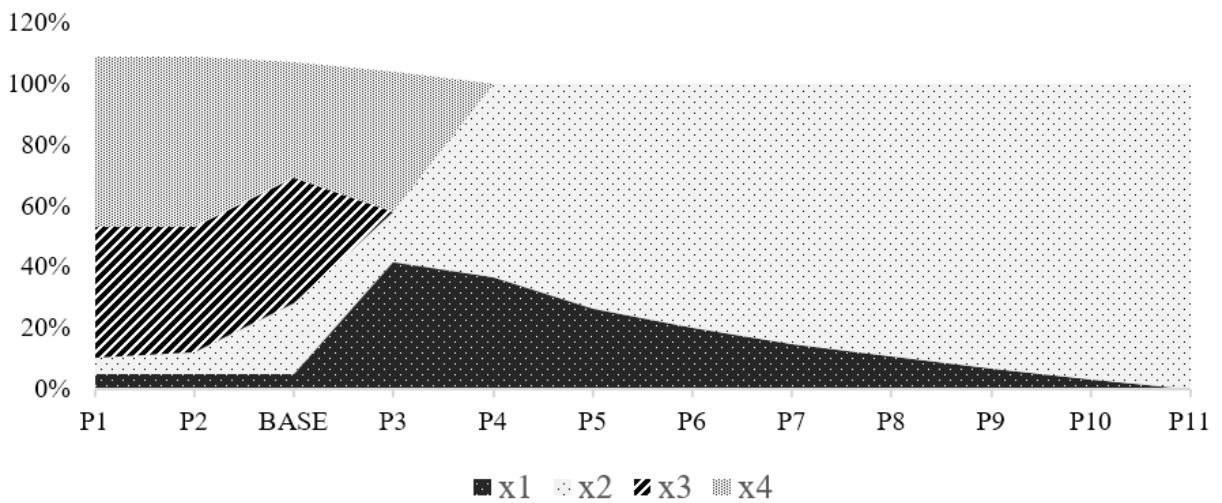


Figura 16

Varição da alocação do portfólio ótimo em função da variação no parâmetro orçamento de risco, \sqrt{T}

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, como era de se esperar, a maior preocupação do gestor em gerar resultados imediatos, refletida no parâmetro de desconto da postergação γ , apresentou uma relação negativa com a função objetivo (Figura 17). Contudo, esse declínio ocorreu de forma lenta no intervalo de variação estudado para o parâmetro ($0\% \leq \gamma \leq 100\%$),

sendo que o aumento desse parâmetro não acarretou mudanças significativas de alocação a partir do cenário do portfólio 5 ($\gamma = 15\%$), conforme pode ser depreendido da análise da Figura 18.

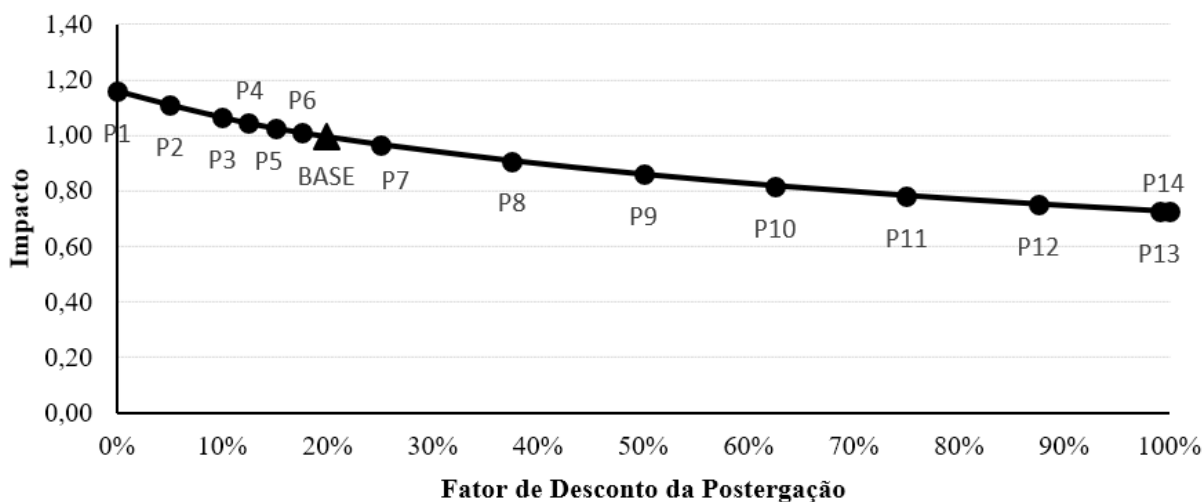


Figura 17

Variação da função objetivo Z (impacto em desvios-padrão) em função da variação no parâmetro de desconto da postergação, γ

Fonte: Elaboração própria.

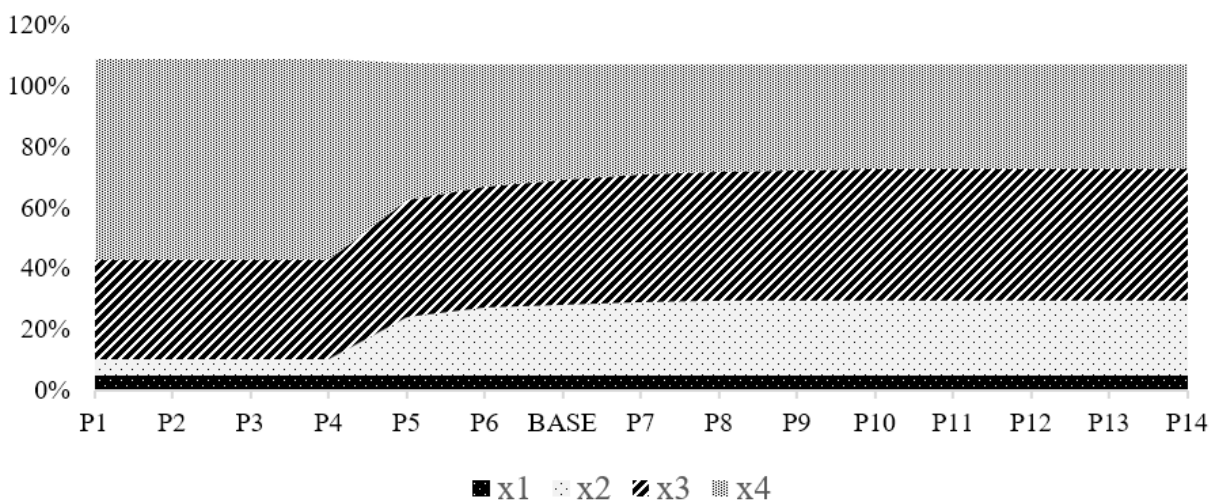


Figura 18

Variação da alocação do portfólio ótimo em função da variação no parâmetro de desconto da postergação, γ

Fonte: Elaboração própria.

4.3 Seleção de portfólio de impacto no BNDES

Nesta seção, serão abordados os resultados da modelagem de seleção de portfólios descrita na seção 3.2.3. A apresentação será dividida em três tópicos, a saber: base de dados; resultados da estimação do impacto dos financiamentos; e estimação e análise das fronteiras eficientes.

4.3.1 Base de dados

A consulta na base de dados das operações de crédito do BNDES, com os filtros: modalidade = indireta, ano liberação = 2014 a 2017, produtos = BNDES Automático ou Finame resultou em 368.896 registros distribuídos conforme Tabela 12. Dentre os produtos selecionados, o tipo de operação mais comum realizado pelo BNDES é formado pelas operações com o produto Finame destinado à aquisição de máquinas e equipamentos para o setor de comércio e serviços, responsável por cerca de 72% da quantidade dos financiamentos concedidos no período. Por outro lado, operações com o produto BNDES Automático destinado à realização de projetos de investimentos para o setor de agropecuária e pesca foram as menos representativas da amostra, com pouco mais de 0,5% da quantidade de financiamentos do período.

Tabela 12

Número de operações de crédito

Ano / Variável	BNDES AUTOMÁTICO			FINAME			TOTAL
	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria	
2014	732	5.893	2.493	3.303	129.802	29.335	171.558
2015	196	3.387	1.100	1.312	66.848	12.214	85.057
2016	339	7.053	1.900	1.057	35.433	5.608	51.390
2017	697	16.253	3.505	1.577	33.128	5.731	60.891

Fonte: Elaboração própria.

Em relação ao volume financeiro desembolsado (Tabela 13), a ordem da representatividade na amostra entre os produtos e setores não se altera, sendo o produto Finame destinado ao setor de comércio e serviços, o mais representativo, e o produto BNDES Automático destinado ao setor de agropecuária e pesca, o menos. Contudo,

devido à diferença do *ticket* médio das operações (Tabela 14), há uma ligeira redução na disparidade entre os produtos/setores estudados.

Ainda com relação à Tabela 13, vale notar que o volume total financiado em cada ano constitui o valor orçamentário disponível para alocação no problema de otimização (variável H da Equação 61).

Tabela 13

Volume total financiado (R\$ milhões)

Ano / Variável	BNDES AUTOMÁTICO			FINAME			TOTAL
	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria	
2014	423	4.428	3.138	1.061	38.191	13.004	60.244
2015	575	4.314	2.251	234	11.474	3.716	22.563
2016	492	4.736	2.344	195	6.613	1.653	16.034
2017	420	6.373	2.559	599	8.905	2.755	21.611

Fonte: Elaboração própria.

O valor do *ticket* médio por operação de crédito (variável k da Equação 61), apresentado na Tabela 14, é uma variável muito importante para definição dos portfólios eficientes, uma vez que ele, em termos agregados, é capaz de alavancar ou desalavancar os impactos individuais de cada concessão de crédito. Por exemplo, uma operação com baixo impacto em uma variável de interesse, mas com baixo valor de *ticket* médio pode contribuir para que o impacto agregado de todos os financiamentos seja eventualmente superior às operações com alto impacto individuais, mas com alto valor de *ticket* médio.

Tabela 14

Ticket médio por operação de crédito (R\$)

Ano / Variável	BNDES Automático			FINAME		
	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria
2014	578.459	751.383	1.258.605	321.159	294.224	443.279
2015	2.932.393	1.273.719	2.046.221	178.104	171.642	304.202
2016	1.452.749	671.495	1.233.834	184.123	186.633	294.829
2017	602.120	392.123	730.118	379.759	268.820	480.660

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 15, apresentada a seguir, sumariza a alocação orçamentária efetiva da instituição para os anos de 2014 a 2017 e servirá como um importante *benchmark* para comparação dos portfólios eficientes apresentados mais adiante nesta seção. De modo geral, o produto Finame foi responsável por uma fatia maior do orçamento que o produto BNDES Automático. Entre os setores, a maior representatividade ficou para o setor de comércio e serviços, seguido por indústria e, depois, agropecuária e pesca.

Tabela 15

Alocação orçamentária por produto e setor (%)

Ano / Variável	BNDES AUTOMÁTICO			FINAME		
	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria
2014	0,7	7,3	5,2	1,8	63,4	21,6
2015	2,5	19,1	10,0	1,0	50,9	16,5
2016	3,1	29,5	14,6	1,2	41,2	10,3
2017	1,9	29,5	11,8	2,8	41,2	12,7

Fonte: Elaboração própria.

Cabe mencionar que nem todas as empresas da base de operações de crédito do BNDES possuem CNPJ cadastrado na base Serasa+RAIS, utilizada para composição das covariadas dos grupos de controle e de tratamento. A aplicação do cruzamento nos 105.150 registros de empresas da Serasa+RAIS para o período implicou a redução do tamanho máximo da amostra disponível para a composição do grupo de tratamento, conforme apresentado na Tabela 16. Cabe, ainda, ressaltar que os procedimentos de pareamento e *trimming* implicam posterior redução do tamanho da amostra dos estimadores que os utilizam, conforme apresentado na metodologia.

Tabela 16

Número de operações de crédito com informações nas bases Serasa e RAIS.

Ano / Variável	BNDES AUTOMÁTICO			FINAME		
	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria
2014	72	495	739	374	6.717	3.564
2015	84	449	409	138	2.956	1.555
2016	60	769	495	104	1.935	897
2017	56	1.230	634	181	1.903	879

Fonte: Elaboração própria.

4.3.2 Resultados da estimação do impacto

Nesta subseção, serão detalhados os resultados da estimação do impacto do financiamento do BNDES (média e erro-padrão dos estimadores) nas quatro variáveis de interesse (produtividade, emprego, faturamento e resultado) para cada um dos seis produtos/setores estudados (BNDES Automático/Agropecuária e pesca, BNDES Automático/Comércio e serviços, BNDES Automático/Indústria, Finame/Agropecuária e pesca, Finame/Comércio e serviços, Finame/Indústria), considerando os financiamentos concedidos no período de 2014 a 2017, de acordo com os quatro modelos de estimação (OLS, PSM, PSX e WLS) e o modelo de meta-análise de efeitos fixos para consolidação das estatísticas de impacto.

As tabelas de 17 a 20 e figuras de 19 a 22 trazem uma visão dos estimadores que, em muitas situações, indicam haver um impacto positivo e estatisticamente significativo nos indicadores das empresas que obtiveram financiamentos do BNDES.

Contudo, foram encontrados, relativamente, poucos estimadores estatisticamente significativos do impacto do financiamento do BNDES na produtividade, dimensão comumente apontada como determinante do crescimento de longo prazo da economia, bem como no resultado líquido do exercício das empresas apoiadas. Além disso, em alguns casos, foram encontrados estimadores negativos e estatisticamente significativos.

Tais conclusões são coerentes com os resultados de Grimaldi et al. (2018), que estudaram o mesmo fenômeno para o período de 2008 a 2011. Segundo os autores, uma possível hipótese é a de que o impacto do financiamento em tais indicadores poderia demorar mais que dois anos para serem capturados na modelagem, estando fora, portanto, do escopo de estimação do impacto no ano consecutivo ao financiamento.

A Figura 19 apresenta uma visualização dos resultados dos estimadores para a produtividade. Nessa figura, o posicionamento do eixo central das barras à direita do eixo de impacto nulo representa um impacto positivo do estimador, enquanto o posicionamento à esquerda indica um impacto negativo do estimador. Além disso, os tamanhos das barras estão relacionados ao intervalo de confiança de 10% (isso é, $\mu \pm$

1,65 desvios), considerando a aproximação da distribuição *t* de *Student* pela normal¹⁰, de forma que, quando não há sobreposição da barra ao eixo de impacto nulo, considera-se que o estimador é estatisticamente diferente de zero para um p-valor de 10%.

Ainda com relação à Figura 19, observa-se que as estatísticas de consolidação tendem a se localizar mais próximas em relação aos modelos com menor intervalo de confiança e, também, tendem a ter intervalos de confiança menores do que os próprios modelos utilizados para a sua composição.

No caso específico da estimação do impacto sobre a produtividade, observa-se claramente o efeito desse fenômeno na consolidação do ano de 2016 para o produto BNDES Automático concedido para empresas do setor de comércio e serviços. Apesar de todos os estimadores não serem estatisticamente diferentes de zero, o fato de todos terem resultados coerentes entre si reduz o grau de incerteza sob o efeito verdadeiro, permitindo-se inferir, segundo o modelo de efeitos fixos, que o estimador é estatisticamente diferente de zero.

¹⁰ A distribuição *t* de *Student* converge rapidamente para a distribuição normal com o aumento do tamanho da amostra.

Tabela 17

Impacto estimado do crédito na produtividade (em R\$ mil/empregado), segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise

Produto/Setor	Ano	Modelo de estimação				Consolidação
		OLS	PSM	PSX	WLS	
BNDES AUTOMÁTICO						
Agropecuária e pesca	2014	-13,86	38,36	43,46	-17,48	29,56
	2015	40,69	25,25	22,51	-12	12,2
	2016	-24,85	-0,53	-0,53	2,42	-0,52
	2017	-70,67	-103,9	-104,37	-121,91	-102,91 *
Comércio e serviços	2014	8,6	22,41	23,3	9,16	19,84
	2015	-18,21	-7,49	-8,91	-22,17	-10,76
	2016	-132,66	-165,83	-161,76	-144,63	-148,85 **
	2017	-78,84	-60,68	-57,22	-185,5 ***	-106,2 ***
Indústria	2014	4,88	23,12 ***	23,44 ***	15	22,84 ***
	2015	3,86	10,51	10,84	0,18	10
	2016	1,74	3,51	3,94	3,16	3,64
	2017	-25,51	4,35	4,35	-1,15	2,52
FINAME						
Agropecuária e pesca	2014	-13,59	1,56	1,78	-63,4	-1,31
	2015	-8,89	50,07 *	52,65 **	-7,01	44,82 ***
	2016	133,58	100,86	76,27	43,89	79,13 **
	2017	39,7	-30,7	-36,59	21,22	-32,1 **
Comércio e serviços	2014	-16,04	-2,19	-2,16	-22,12	-5,19
	2015	-9,35	-8,8	-8,8	-19,37	-11,38 *
	2016	34,29	28,52	26,06	-3,42	7,46
	2017	7,4	33,27	33,01	39,42	31,82 **
Indústria	2014	1,84	-3,22	-3,22	-3,69	-3,03
	2015	3,11	-7,13	-7,13	-7,76	-6,88
	2016	-20,12	-13,62	-12,21	-7,08	-11,86
	2017	-22,29	-1,17	-1,17	-1,59	-1,22

Nota: * p-valor <10%; ** p-valor <5%; *** p-valor <1%. Fonte: Elaboração própria.

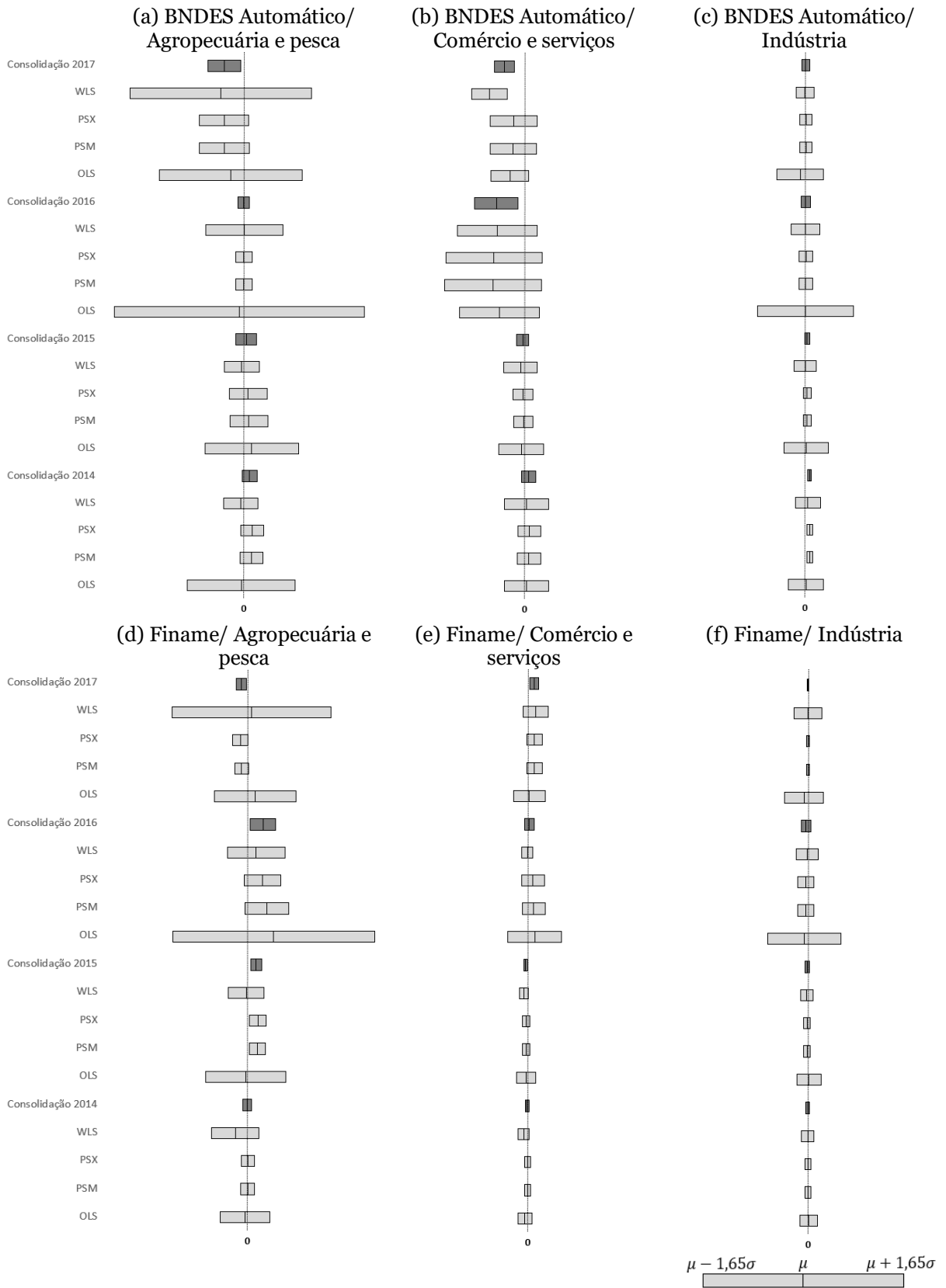


Figura 19
Impacto estimado do crédito na produtividade, segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise
 Fonte: Elaboração própria.

Tabela 18

Impacto estimado do crédito no emprego, segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise

Produto/Setor	Ano	Modelo de estimação				Consolidação
		OLS	PSM	PSX	WLS	
BNDES AUTOMÁTICO						
Agropecuária e pesca	2014	-28,28	-28,93	-36,44	46,77	7,74
	2015	174,27 ***	278,85 ***	179,13 ***	133,39 ***	165,09 ***
	2016	135,81 ***	-10,84	-46,05	48,74	89,53 ***
	2017	233,68 ***	421,53 ***	251,5 **	86,16	202,04 ***
Comércio e serviços	2014	55,88 ***	15,15	5,89	35,71 *	28,67 ***
	2015	61,88 ***	36,45	40,01	47,81 ***	49,74 ***
	2016	51,13 ***	27,35 *	3,06	50,15 ***	26,09 ***
	2017	16,39	19,02 **	11,25	12,51	13,81 ***
Indústria	2014	6,4	-17,83	11,23	3,42	7,86
	2015	40,6 **	57,61 ***	18,52	39,16 **	32,47 ***
	2016	27,8 *	47,11 *	25,82 ***	19,01	26,47 ***
	2017	35,24 *	49,49 ***	27,2 ***	13,54	28,16 ***
FINAME						
Agropecuária e pesca	2014	-27,88	-5,64	-43,44	32,94 *	1,47
	2015	66 *	108,57 *	113,17 **	120,22 ***	95,5 ***
	2016	147,46 ***	249,15 *	15,89	114,57 **	130,99 ***
	2017	134,08 ***	111,74 ***	99,5 **	94,44 ***	109,42 ***
Comércio e serviços	2014	46,28 ***	46,92 ***	39,02 ***	31,46 ***	38,13 ***
	2015	52,74 ***	55,92 ***	36,41 ***	27,74 ***	38 ***
	2016	55,48 ***	28,67 ***	22,39 **	35,97 ***	37,38 ***
	2017	38 ***	18,01	12,88	10,53	17,03 ***
Indústria	2014	0,43	21,65 ***	17,06 **	14,86 ***	14,29 ***
	2015	13,47	31,16 **	39,65 ***	20,57 ***	24,19 ***
	2016	45,8 ***	52,87 **	49,96 **	29,94 ***	39,83 ***
	2017	75,8 ***	44,63 **	45,82 **	36,25 ***	48,08 ***

Nota: * p-valor <10%; ** p-valor <5%; *** p-valor <1%. Fonte: Elaboração própria.

A consolidação dos estimadores do impacto do financiamento do BNDES no número médio de empregados das empresas é estatisticamente diferente de zero para um valor crítico de 1%, em todos os anos e produtos/setores estudados, à exceção do impacto estimado para o setor de agropecuária e pesca, no ano de 2014, nos dois produtos e para o setor industrial, nesse mesmo ano, no produto BNDES Automático.

Pela observação da Figura 20, nota-se que os maiores impactos são reportados no setor de agropecuária e pesca em ambos os produtos, porém tal grupo também é o que apresenta maior imprecisão nos estimadores.

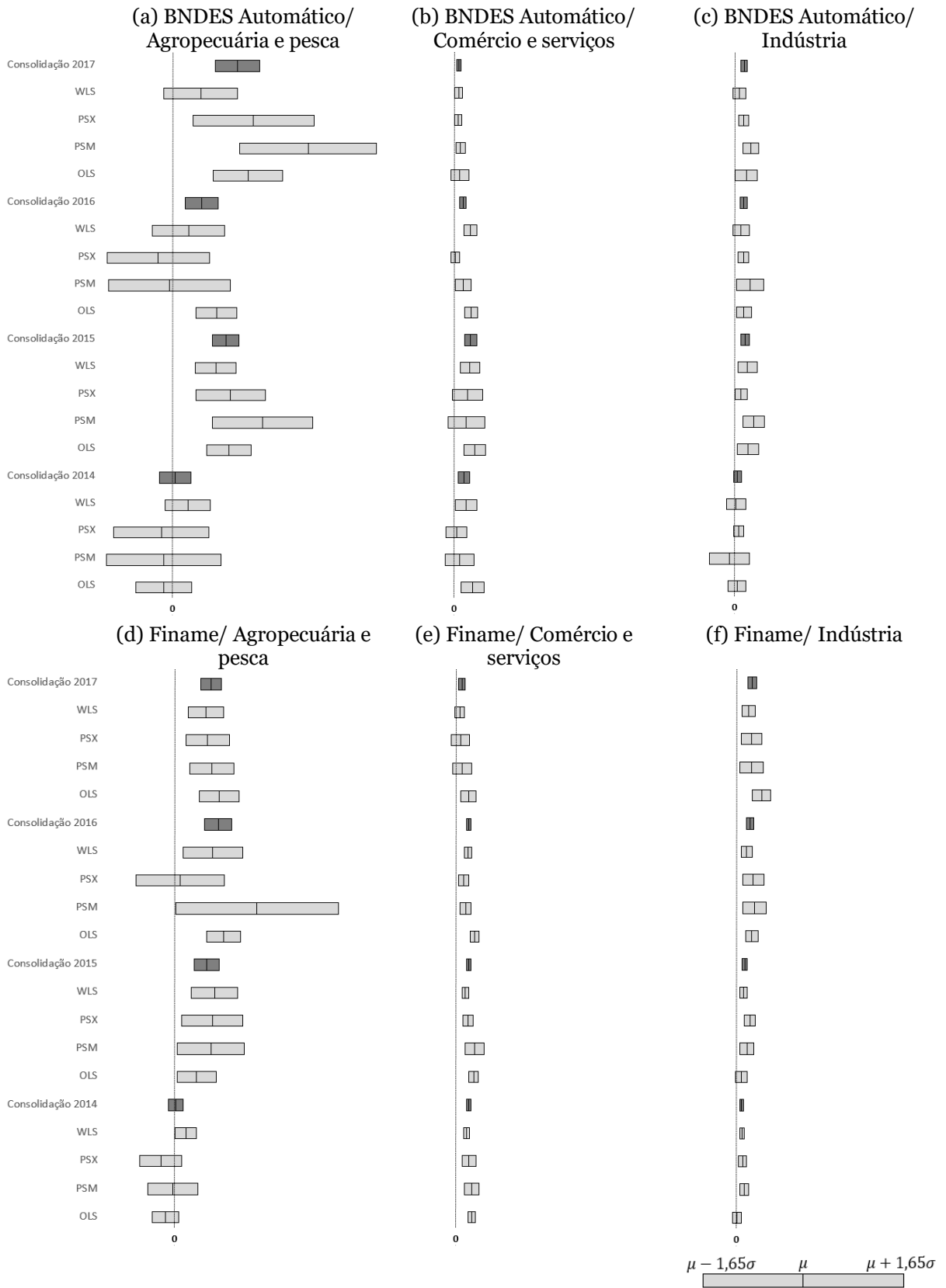


Figura 20

Impacto estimado do crédito no emprego, segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 19

Impacto estimado do crédito no faturamento (em R\$ milhões), segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise

Produto/Setor	Ano	Modelo de estimação				Consolidação
		OLS	PSM	PSX	WLS	
BNDES AUTOMÁTICO						
Agropecuária e pesca	2014	-7,91	51,95	12,79	4,45	7,91
	2015	83,6 ***	127,52 **	43,34 **	20,28	45,37 ***
	2016	92,11 ***	62,68	-15,15	20,59	12,39
	2017	75,5	123,52	4,01	1,72	22,78
Comércio e serviços	2014	8,25	22,68	22,44 *	6,14	11,57 **
	2015	39,05 ***	38,45 *	2,32	9,8	14,5 **
	2016	36,87 ***	21,96 *	6,33	38,36 ***	14,91 ***
	2017	16,35	14,93 **	6,75 *	3,08	7,05 ***
Indústria	2014	-1,48	-6,48	-0,36	0,22	-0,39
	2015	6,13	32,77 ***	0,52	2,89	5,25
	2016	14,28	21,32 **	17,13 ***	8	16,18 ***
	2017	4,2	7,33	5,95	-7,04	1,13
FINAME						
Agropecuária e pesca	2014	17,76	19,87	-1,62	19,67 **	14,7 **
	2015	28,19	85,8 ***	37,49 ***	18,55	36,22 ***
	2016	63,99 **	115,69 **	-2,52	-2,95	35,93 **
	2017	32,25	12,88	17,14	18,57	19,38 *
Comércio e serviços	2014	14,07 ***	19,92 ***	9,63 ***	9,45 ***	10,65 ***
	2015	40,41 ***	37,22 *	19,85 ***	16,16 ***	22,11 ***
	2016	23,19 ***	17,99 ***	14,64 ***	12,67 ***	15,78 ***
	2017	14,19	27,54 ***	16,45 ***	7,61 **	11,72 ***
Indústria	2014	-3,26	9	5,08	1,72	1,77
	2015	8,95	24,17 ***	24,08 ***	11,88 ***	15,68 ***
	2016	16,79 *	39,16 ***	30,3 ***	12,61	24,9 ***
	2017	14,8	3,43	14,46	1,86	7,61

Nota: * p-valor <10%; ** p-valor <5%; *** p-valor <1%. Fonte: Elaboração própria.

Os resultados dos estimadores para o indicador faturamento também fornecem outro indício do impacto positivo do BNDES nas empresas apoiadas. Todos os indicadores consolidados foram positivos, e a maioria deles apresentou resultados estatisticamente diferentes de zero a um nível de significância de 10%.

Novamente, o setor de agropecuária e pesca foi o que apresentou maior responsividade ao financiamento, porém, devido ao menor número de empresas da amostra, apresentou também mais incerteza quanto ao valor verdadeiro do impacto médio do financiamento.

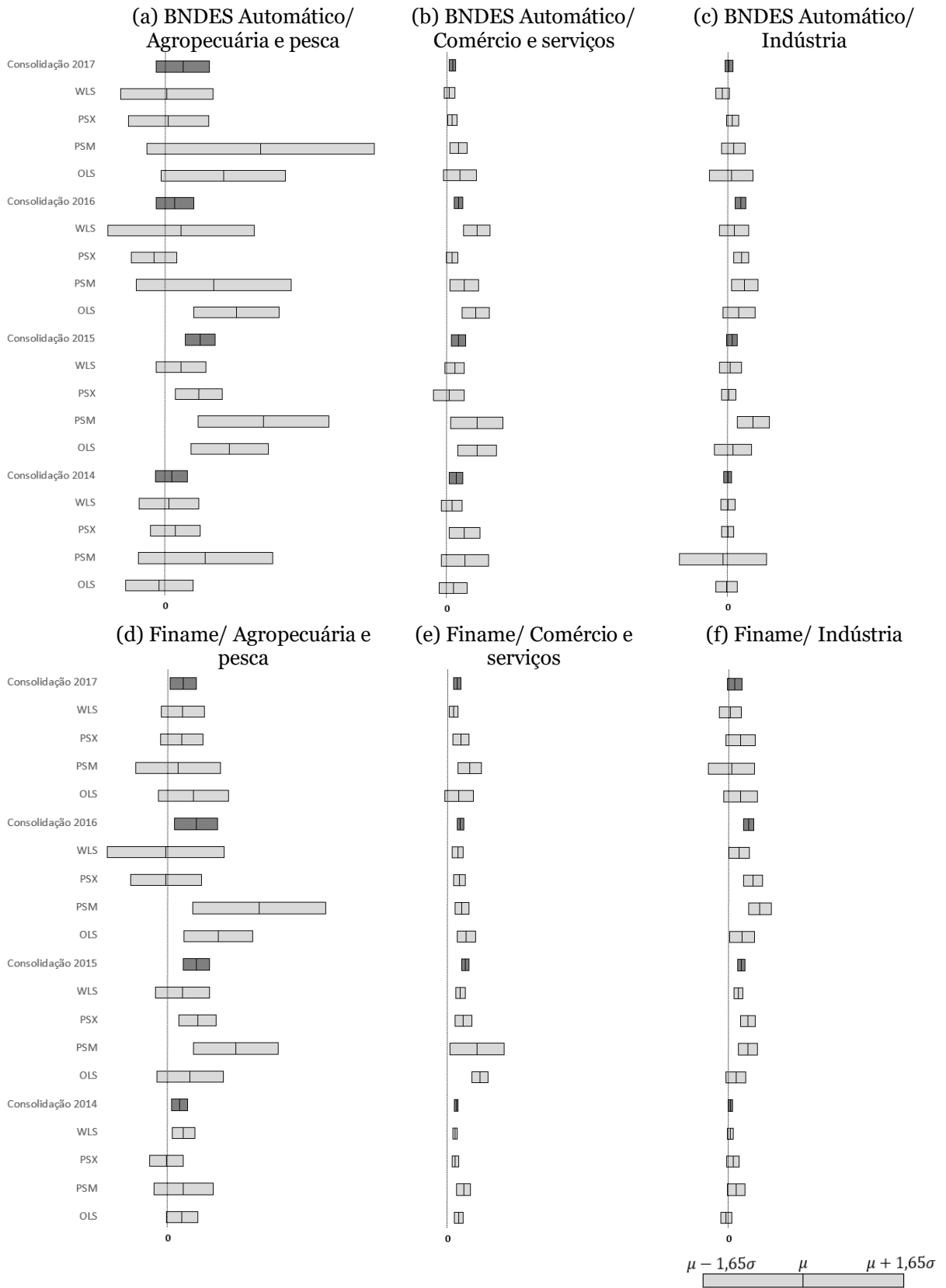


Figura 21

Impacto estimado do crédito no faturamento, segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 20

Impacto estimado do crédito no resultado (em R\$ milhões), segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise

Produto/Setor	Ano	Modelo de estimação				Consolidação
		OLS	PSM	PSX	WLS	
BNDES AUTOMÁTICO						
Agropecuária e pesca	2014	-8,94	10,33	9,06	1,64	5,36
	2015	11,33	-8,13	-3,6	-1,6	-2
	2016	28,29 **	9,49	-4,15	3,75	3,22
	2017	-26,23	5,95	-1,25	-9,5	-2,22
Comércio e serviços	2014	-8,93 *	-1,04	-6,33	-0,52	-4,52 *
	2015	-0,45	2,94	0,45	0,26	1,06
	2016	2,39	-2,68 **	-1,46 **	2,08	-1,62 ***
	2017	0,62	-2,82	-0,44	-0,85	-0,73
Indústria	2014	2,09	55,25	2,2	0,11	1,56
	2015	-3,71	-2,9 *	-1,56	-1,74	-1,99 **
	2016	1,51	3,14	2,74 ***	0,61	2,57 ***
	2017	1,45	-2,75	0,34	-1,94	-1,12
FINAME						
Agropecuária e pesca	2014	-7,29	9,22	11,01	8,13	2,12
	2015	2,13	30,42 *	11,73	2,61	6,1
	2016	22,31 **	31,04 *	8,72	5,23	12,46 ***
	2017	20	6,12	5,32	2,29	4,59
Comércio e serviços	2014	-1,21	0,49	-1,08	-0,06	-0,41
	2015	2,36	-1,71	-0,37	2	0,28
	2016	1,02	0,79	0,63	0,29	0,57
	2017	2,22	-0,15	1,17	-1,06	-0,17
Indústria	2014	3,36 *	1,18	-0,53	0,29	0,63
	2015	-1,68	-2,81	1,82	0,94	0,54
	2016	0,86	4,82 **	2,24 *	0,7	1,85 **
	2017	-9,54	-6,14	0,37	-0,36	-1,33

Nota: * p-valor <10%; ** p-valor <5%; *** p-valor <1%. Fonte: Elaboração própria.

O impacto do financiamento no resultado líquido do exercício das empresas apoiadas está apresentado na Tabela 20 e Figura 22. Como comentado, poucos foram os indicadores estatisticamente significativos, sendo que alguns deles apresentaram valores negativos.

Dentre os produtos analisados, o Finame foi quem apresentou maior contribuição para o indicador, destacando-se o desempenho do setor de agropecuária e pesca no ano de 2016.

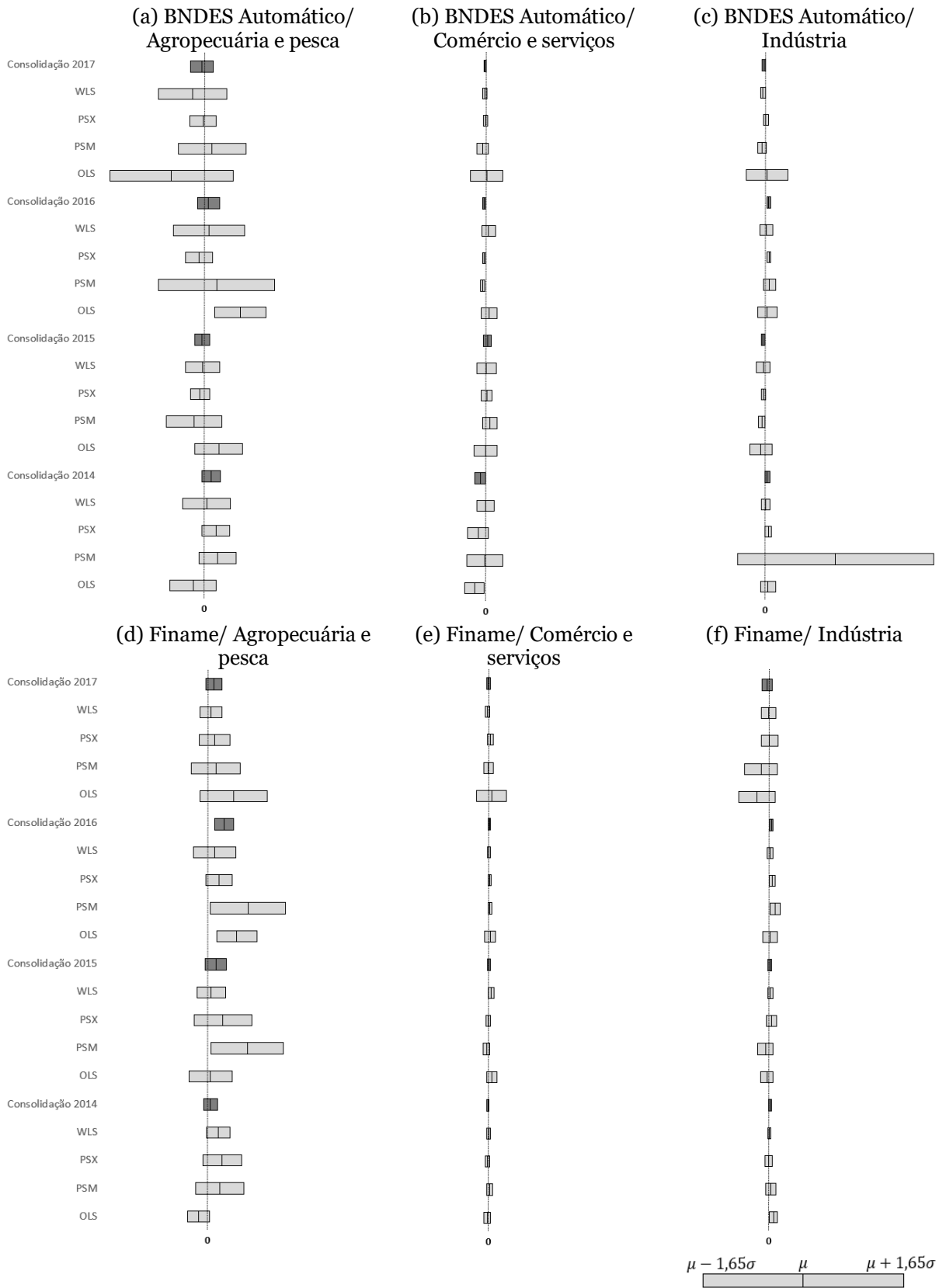


Figura 22

Impacto estimado do crédito no resultado, segundo vários modelos de estimação e consolidação dos efeitos por meta-análise

Fonte: Elaboração própria.

Como comentado na metodologia, desconsiderando os estimadores de consolidação, apurou-se um total de 384 estimadores de impacto (4 anos x 4 modelos de estimação x 6 produtos/setores x 4 variáveis de interesse), de forma que seria impossível descrever a etapa de cada um deles em detalhes.

Não obstante, para fins do entendimento das etapas metodológicas, serão apresentados os resultados detalhados do estimador da geração estimada de emprego para os financiamentos concedidos em 2017 com o produto Finame para empresas do setor industrial. Os demais estimadores foram objeto de análise semelhante.

O primeiro passo da estimação consiste na montagem da base de dados. A amostra inicial para o ano de 2017 contava com 5.731 financiamentos concedidos com o produto Finame para o setor industrial e 54.306 empresas cadastradas nas bases Serasa + RAIS. Entretanto, o cruzamento inicial reduziu a amostra de empresas tratadas para 879, tendo em vista que a exigência de ter CNPJ cadastrado na base Serasa+RAIS nos anos 2017 e 2018.

Na sequência, estimou-se o melhor modelo de *p-score*, com base no modelo de *data mining* descrito na metodologia, para estimação da probabilidade de cada uma das empresas da base de dados filtrada para o ano de 2017 (14.451 empresas) de receber um financiamento do BNDES naquele ano. Os resultados dessa estimação estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21

Modelo de p-score para estimação da probabilidade de receber o apoio do BNDES por meio do produto Finame no setor industrial no ano de 2017

Variável	Probabilidade de receber apoio do BNDES
anos_de_estudo_media	2,64*** (0,49)
margem_ebtida	6,32*** (0,67)
numero_de_empregados_dez	0,001*** (0,0002)
funcionarios_graduados_percentual	-14,65* (8,58)
Constante	-15,17*** (2,36)
Observações	14.451
<i>Log Likelihood</i>	-1.997,77
Akaike Inf. Crit.	4.019,54

Nota: * p-valor < 10%; ** p-valor < 5%; *** p-valor < 1%. Fonte: Elaboração própria.

Nesse caso específico, foram selecionadas quatro variáveis explicativas (anos de estudos dos empregados, percentual de funcionários com curso superior, número de empregados da empresa em dezembro de 2017 e margem ebitda da empresa), além da própria constante.

O próximo passo foi a realização do procedimento de *trimming*, utilizado na estimação PSM, PSX e WLS, para eliminação de empresas com *p-scores* em regiões de baixa interseção entre os grupos de controle e tratamento, conforme ilustrado na Figura 23. Tal procedimento reduziu nesses estimadores o tamanho da amostra de empresas tratadas para 521.

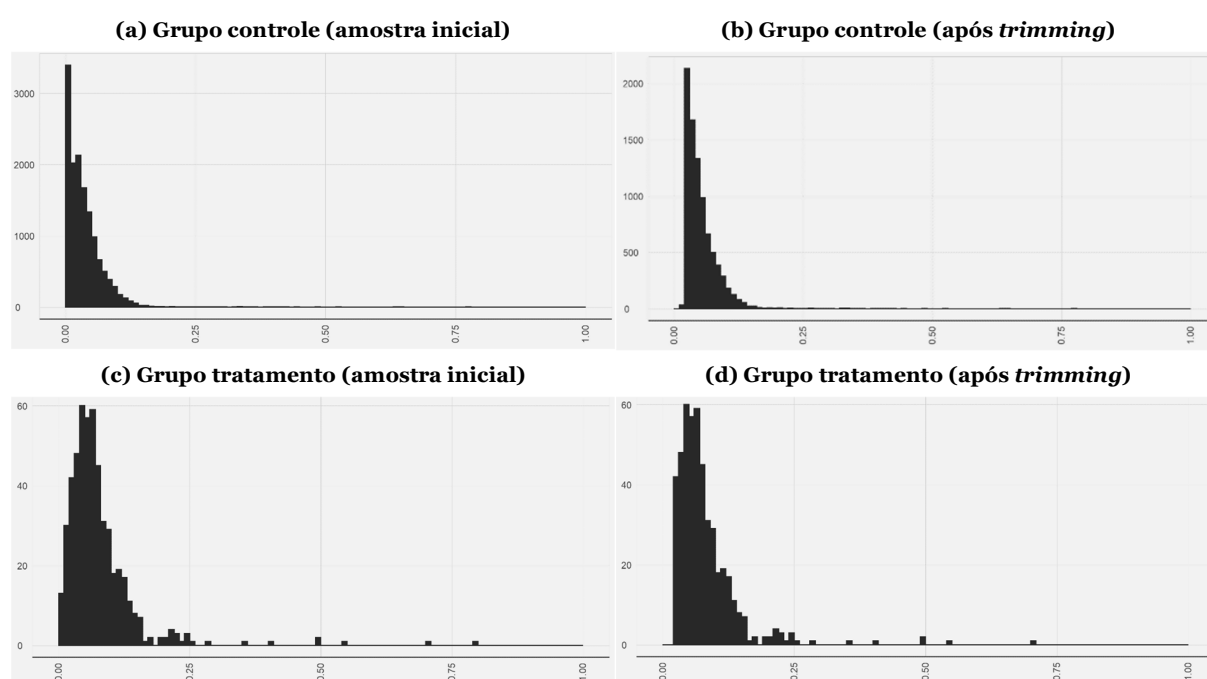


Figura 23

Distribuição do p-score do grupo controle e grupo de tratamento antes e após o procedimento do “trimming”

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, define-se a base de grupo controle final para cada um dos quatro estimadores, sendo que o estimador OLS conta com todas as empresas da base de dados, o WLS é composto pelas empresas não eliminadas pelo *trimming* e as empresas dos modelos PSM e PSX consistem em uma base formada pelos pares selecionados (inclusive com possibilidade de repetição) pelo método do vizinho mais próximo.

Para a definição das covariadas dos modelos, aplica-se o modelo de *data mining* para

definição do melhor modelo explicativo (seleção do modelo com menor estatística AIC).

A Tabela 22 apresenta, então, os resultados dos modelos de regressão para explicação da variação do número de empregados das firmas entre os anos de 2017 e 2018, sendo que o impacto e o erro-padrão estimados para cada um dos indicadores são dados, respectivamente, pelo coeficiente e erro-padrão da variável “tratamento”. Baseando-se na estatística R^2 ajustado, o modelo de PSX (*Propensity Score Matching* com covariadas) foi o que apresentou maior aderência aos dados, com R^2 ajustado = 0,28.

Tabela 22

Geração estimada de emprego em 2018 por financiamento do BNDES obtido em 2017 por meio do produto Finame no setor industrial

Variável	Modelo de estimação			
	OLS	PSM	PSX	WLS
Tratamento	75,80*** (17,05)	44,63** (22,02)	45,82** (18,92)	36,25*** (12,02)
ativo_financeiro	-0,0000*** (0,00)		0,0000** (0,0000)	-0,00 (0,0000)
ativo_operacional	-0,0000*** (0,0000)		0,0000*** (0,0000)	0,0000*** (0,0000)
ativo_total	-0,00 (0,00)		-0,0000*** (0,0000)	-0,0000*** (0,00)
custos	-0,0000*** (0,0000)		-0,0000*** (0,0000)	0,0000*** (0,0000)
faturamento_liquido	0,0000*** (0,0000)		0,0000*** (0,0000)	-0,0000*** (0,0000)
ativo_imobilizado	0,0000*** (0,00)		0,0000** (0,0000)	0,00 (0,00)
passivo_financeiro	-0,0000*** (0,00)		0,0000*** (0,0000)	0,0000*** (0,00)
resultado_da_atividade	-0,0000*** (0,0000)		-0,00 (0,0000)	0,0000*** (0,0000)
resultado_financeiro	0,0000*** (0,0000)		-0,0000 (0,0000)	0,0000*** (0,0000)
resultado_nao_operacional	0,0000*** (0,0000)		-0,0000*** (0,0000)	0,0000 (0,0000)
numero_de_empregados_dez	-0,03*** (0,003)		-0,001 (0,01)	0,03*** (0,003)
massa_salarial_dez	-0,0000*** (0,0000)		0,0000 (0,0000)	-0,0000*** (0,0000)
anos_de_estudo_media	4,62* (2,77)		32,13*** (8,83)	13,48*** (2,54)

Variável	Modelo de estimação			
	OLS	PSM	PSX	WLS
funcionarios_graduados_percentual	-35,65 (23,45)		-665,01*** (180,68)	-160,64*** (43,21)
Constante	-33,75 (29,79)	-1,92 (15,57)	-312,95*** (89,16)	-140,80*** (26,18)
Observações	14.451	954	954	9.024
Observações (Grupo Tratamento)	879	521	521	521
Observações (Grupo Controle)	13.572	433	433	8.503
R2	0,18	0,004	0,29	0,05
R2 ajustado	0,18	0,003	0,28	0,05
Erro-padrão dos resíduos	380,08 (df = 14435)	340,12 (df = 952)	289,13 (df = 938)	255,49 (df = 9008)
F Stat	218,38*** (df = 15; 14435)	4,11** (df = 1; 952)	25,67*** (df = 15; 938)	34,67*** (df = 15; 9008)

Notas: (1) * p-valor < 10%; ** p-valor < 5%; *** p-valor < 1%, (2) Além das variáveis presentes na tabela acima, foram utilizados como controles os seguintes termos: ativo_total², resultado_da_atividade² e numero_de_empregados_dez × massa_salarial_dez. Fonte: Elaboração própria.

Tabela 23

Estimativas consolidadas de impacto dos créditos por produto e setor nas variáveis produtividade (R\$), emprego (unid.), faturamento (R\$) e resultado (R\$)

Ano / Variável	BNDES AUTOMÁTICO			FINAME		
	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria
2014						
Produtividade	29.560,81	19.840,81	22.836,62	-1.306,29	-5.193,11	-3.026,67
Emprego	7,74	28,67	7,86	1,47	38,13	14,29
Faturamento	7.914.358,51	11.573.392,06	-391.030,90	14.695.236,97	10.645.327,71	1.772.991,66
Resultado	5.361.652,93	-4.516.772,42	1.555.105,51	2.116.657,18	-414.580,74	626.114,53
2015						
Produtividade	12.204,15	-10.757,24	9.996,64	44.816,14	-11.379,38	-6.879,05
Emprego	165,09	49,74	32,47	95,50	38,00	24,19
Faturamento	45.372.167,67	14.497.509,84	5.249.388,06	36.224.535,61	22.113.603,31	15.684.914,18
Resultado	-2.003.815,45	1.062.459,16	-1.988.401,48	6.100.495,94	279.940,53	536.922,82
2016						
Produtividade	-518,39	-148.850,72	3.642,51	79.130,91	7.462,63	-11.862,28
Emprego	89,53	26,09	26,47	130,99	37,38	39,83
Faturamento	12.385.769,35	14.907.354,45	16.184.367,26	35.926.938,27	15.778.398,70	24.896.835,51
Resultado	3.223.511,09	-1.617.878,89	2.566.771,45	12.456.473,79	574.323,94	1.845.936,71
2017						
Produtividade	-102.907,47	-106.204,73	2.520,69	-32.097,06	31.822,75	-1.217,31
Emprego	202,04	13,81	28,16	109,42	17,03	48,08
Faturamento	22.784.043,14	7.052.234,74	1.130.981,51	19.375.255,81	11.719.455,73	7.608.697,15
Resultado	-2.215.499,13	-731.449,83	-1.122.256,61	4.590.732,05	-167.978,77	-1.332.817,07

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 24

Erro-padrão das estimativas consolidadas de impactos do crédito por produto e setor nas variáveis produtividade (R\$), emprego (unid.), faturamento (R\$) e resultado (R\$)

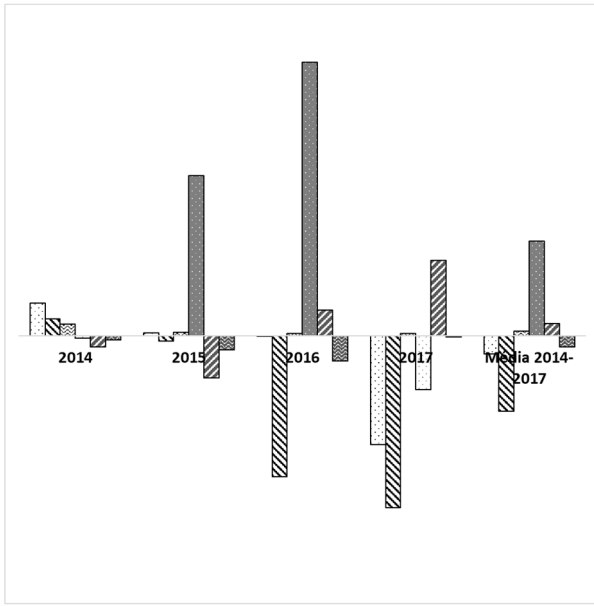
Ano / Variável	BNDES AUTOMÁTICO			FINAME		
	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria	Agropecuária e pesca	Comércio e serviços	Indústria
2014						
Produtividade	23.204,28	23.035,38	6.215,56	14.319,62	5.555,92	5.872,85
Emprego	29,90	10,92	7,38	13,53	3,82	3,00
Faturamento	12.734.898,71	5.500.226,94	3.283.524,31	5.956.078,17	1.207.215,87	1.819.965,25
Resultado	4.453.429,24	2.528.828,21	1.196.554,70	3.301.499,71	510.852,83	626.199,82
2015						
Produtividade	33.108,33	19.623,83	8.303,49	17.036,95	6.744,07	6.636,95
Emprego	25,12	11,52	8,12	22,95	4,34	4,58
Faturamento	11.913.589,43	5.646.113,71	4.213.355,13	10.138.798,90	2.767.815,59	2.556.425,42
Resultado	3.651.375,99	1.812.838,14	817.766,67	4.929.139,72	704.480,71	911.097,24
2016						
Produtividade	18.339,29	69.399,62	14.807,24	39.231,97	13.998,74	15.404,70
Emprego	30,75	5,59	6,86	25,14	4,24	6,57
Faturamento	14.770.125,42	3.553.802,19	4.364.887,78	16.464.891,23	2.538.312,78	4.101.245,27
Resultado	5.347.964,35	583.254,96	864.798,36	4.430.191,42	434.249,76	852.887,56
2017						
Produtividade	53.147,97	32.465,65	12.143,33	15.976,92	14.448,76	2.870,62
Emprego	41,80	4,41	6,45	18,57	6,22	8,11
Faturamento	20.875.482,95	2.530.791,29	3.143.555,13	10.135.394,23	2.751.998,51	5.640.347,94
Resultado	5.499.685,38	649.872,09	786.457,51	3.814.658,04	796.895,63	2.380.199,80

Fonte: Elaboração própria.

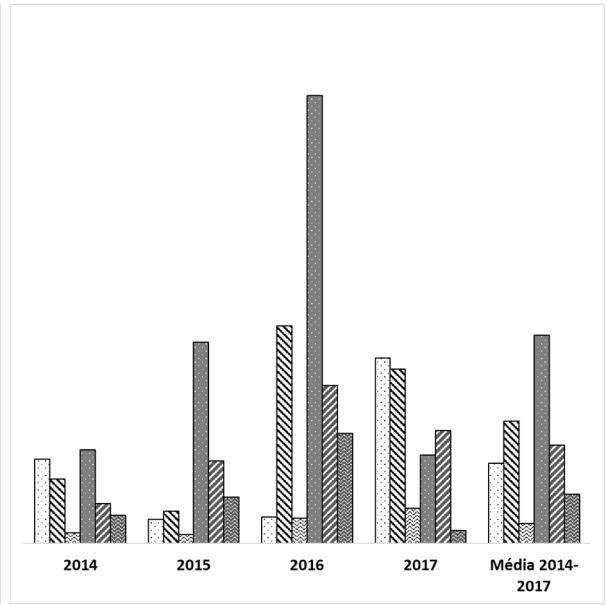
A análise da Figura 24, que apresenta visualmente os vetores r e σ das equações 62 e 63, respectivamente, permite fazer algumas considerações acerca dos impactos escalonados.

Primeiramente, observa-se uma correlação positiva, embora não perfeita, entre os impactos médios e os riscos correspondentes associados. Tal fato tende a constituir uma relação de *trade-off* de risco *versus* retorno nas fronteiras eficientes. Outro fator é a preponderância média do impacto do produto Finame em comparação ao produto BNDES Automático. Além disso, nota-se que o ano de 2014 é o ano com menor nível de impacto, e há uma aparente tendência de crescimento nos anos seguintes, porém interrompida com um decréscimo no ano de 2017.

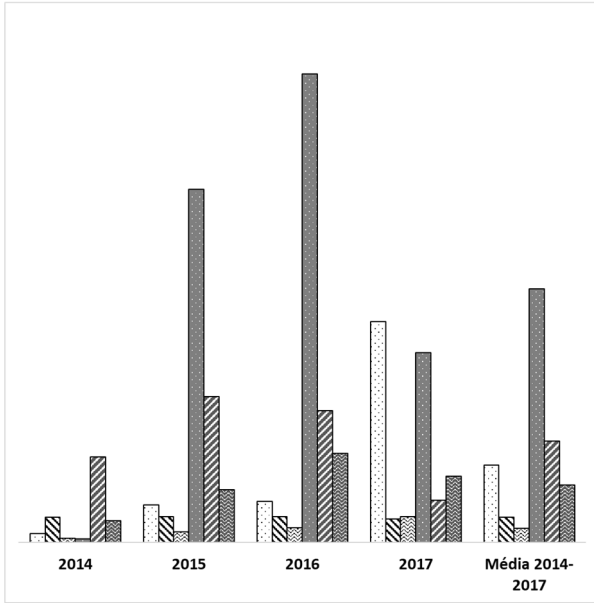
(a) Impacto escalonado produtividade



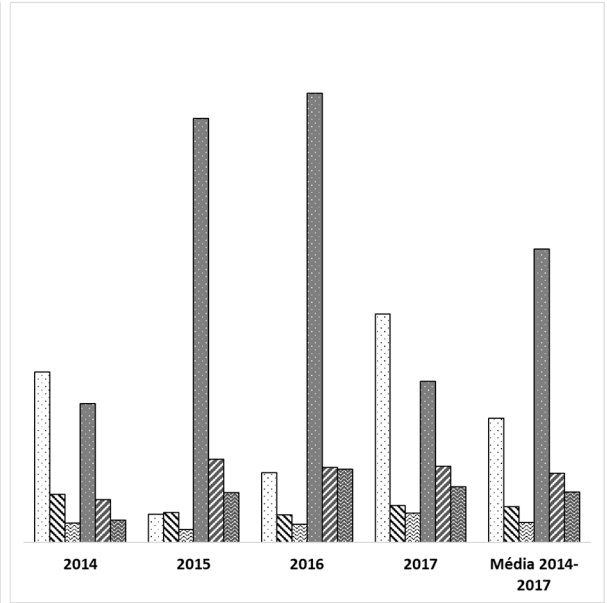
(b) Risco escalonado produtividade



(c) Impacto escalonado emprego



(d) Risco escalonado emprego



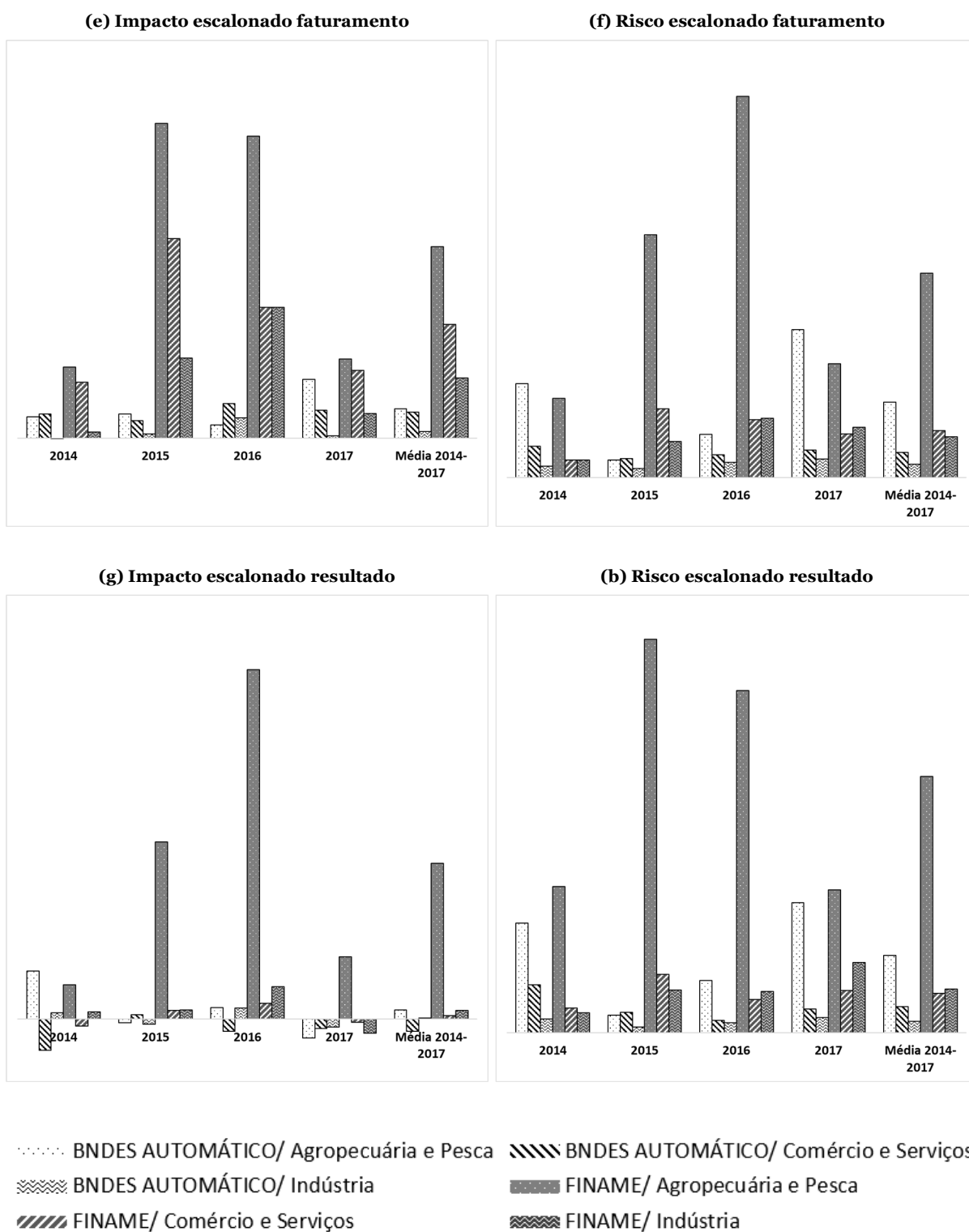


Figura 24

Estimativas consolidadas de impacto e risco dos créditos por produto e setor nas variáveis produtividade, emprego, faturamento e resultado, escalonadas pelo inverso do ticket médio das operações de crédito

Fonte: Elaboração própria.

4.3.3 Fronteiras eficientes

Seguindo a metodologia proposta, o algoritmo NSGA-II convergiu para quatro fronteiras eficientes, sendo uma para cada ano estudado. Cada fronteira eficiente contém 1.000 soluções para o problema de otimização, e cada solução é definida por 6 valores relativos ao número de financiamentos a serem concedidos para cada produto/setor estudado.

Para esta apresentação, os vetores de solução serão convertidos em percentuais consumidos do orçamento total anual (quantidade da solução x *ticket* médio/orçamento anual).

Uma primeira análise realizada da fronteira diz respeito à relação de dominância das soluções encontradas. Para cada solução, foi verificado se ela foi estritamente dominada por outra, isso é, se havia algum outro portfólio na fronteira que não é pior em nenhum objetivo e melhor em ao menos um objetivo. Tal verificação não encontrou nenhum ponto estritamente dominado na fronteira eficiente, indicando uma eficiência do algoritmo em encontrar soluções não dominadas.

Realizou-se, também, a mesma análise para a alocação efetiva adotada pelo BNDES em cada um dos anos (vide Tabela 15) em relação às soluções encontradas pelo algoritmo. A análise não apontou a existência de pontos estritamente dominados pela fronteira em relação à alocação efetiva no período de análise, de tal forma que a alocação efetiva também poderia ser uma solução possível para figurar na fronteira de eficiência. Contudo, ao se excluir os objetivos relacionados ao nível de certeza dos estimadores, seria possível encontrar alocações orçamentárias mais robustas em todos os anos, tendo em vista a busca dos objetivos de impacto socioeconômico almejados pela instituição. Os resultados estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 25

Análise da condição de dominância dos portfólios da fronteira eficiente e da alocação efetiva

Ano	Número de portfólios estritamente dominados na fronteira eficiente	Alocação efetiva foi estritamente dominada por algum portfólio da fronteira eficiente?	Alocação efetiva foi estritamente dominada por algum portfólio da fronteira eficiente, considerando somente o impacto?
2014	0	Não	Sim
2015	0	Não	Sim
2016	0	Não	Sim
2017	0	Não	Sim

Fonte: Elaboração própria.

Outra análise realizada foi a inspeção visual das soluções. Escolheu-se o ano de 2017 para ilustrar as análises realizadas, por ser o ano mais recente do estudo. Os mesmos tipos de análises foram realizados para os demais anos, resultando em conclusões similares às apresentadas na sequência.

As análises realizadas abrangem a análise visual da distribuição das soluções da fronteira eficiente no espaço decisório (Figura 25) e espaço de soluções (Figura 26). Também foi incluída, a título de comparação, a alocação efetiva adotada pelo BNDES no ano (conforme Tabela 15), padronizada em relação às funções objetivo da fronteira com base na Equação 67.

Começando pelo espaço decisório, a Figura 25 apresenta os 36 pares possíveis entre os objetivos. Os oito primeiros gráficos (a-h) mostram o nível de cobertura entre o máximo e o mínimo encontrados para cada um dos oito objetivos do problema de otimização. Como se pode observar, as soluções ocupam todo o espaço decisório contido na reta de 45° de cada uma das funções objetivo. Além disso, há poucos “espaços vazios” nos padrões geométricos formados nos demais pares. Tal fato corrobora a meta de diversidade de soluções almejada para composição da fronteira eficiente.

Outro tipo de análise interessante a ser realizada com auxílio da Figura 25 é sobre um nível médio correlacional entre os objetivos. A existência de uma relação positivamente inclinada é interessante do ponto de vista decisório, pois favorece que o alcance de um objetivo melhore o alcance do outro. Por outro lado, uma relação negativa sugere a existência de um *trade-off* entre os objetivos, de modo que a busca de um objetivo tenda a implicar o sacrifício de outro. Além disso, quanto mais (menos)

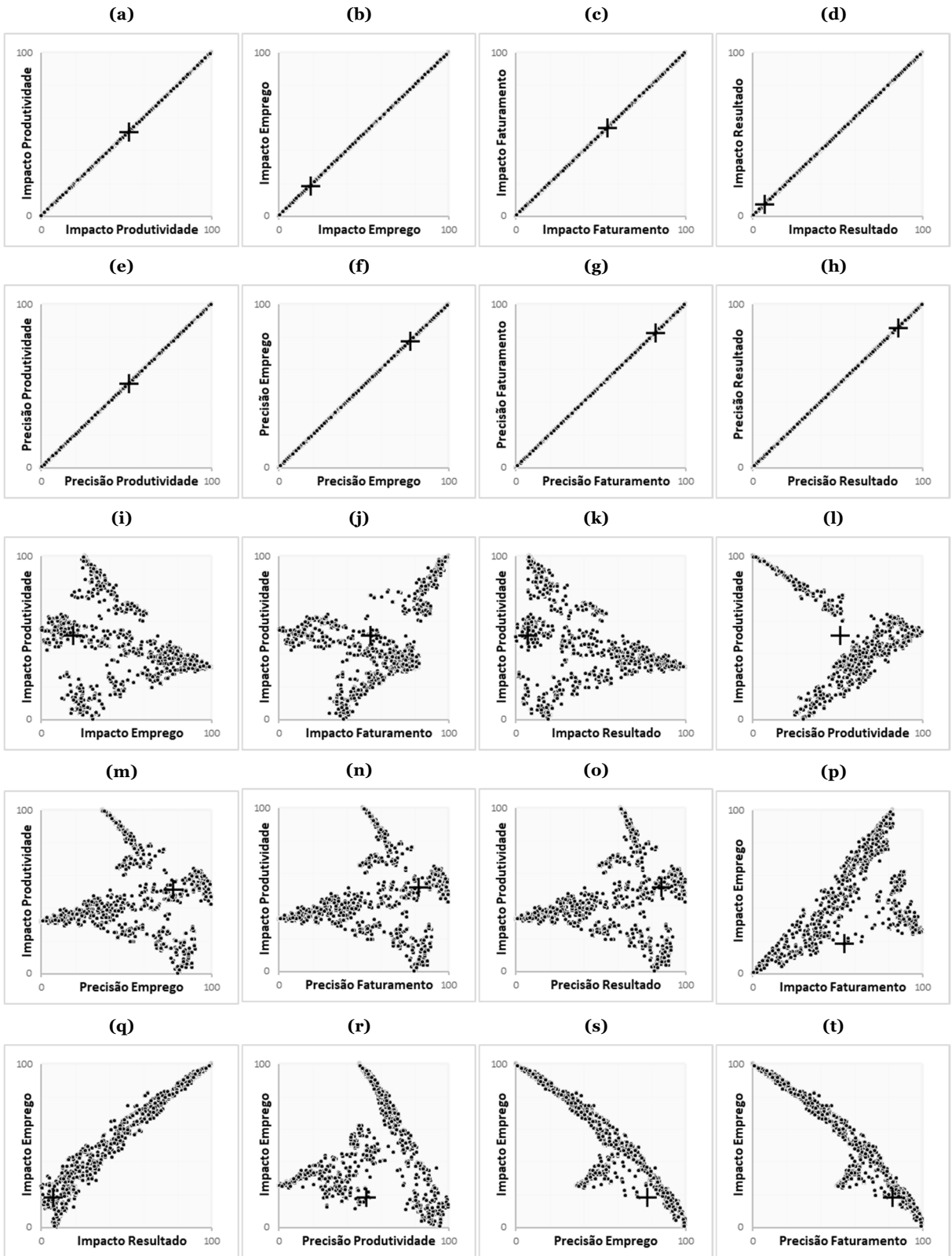
estreita for a relação, maior (menor) será o grau de certeza do nível correlacional. Por fim, cabe lembrar que as soluções mais acima e mais à direita são as dominantes quando o decisor se atém somente a maximizar um determinado par de objetivos.

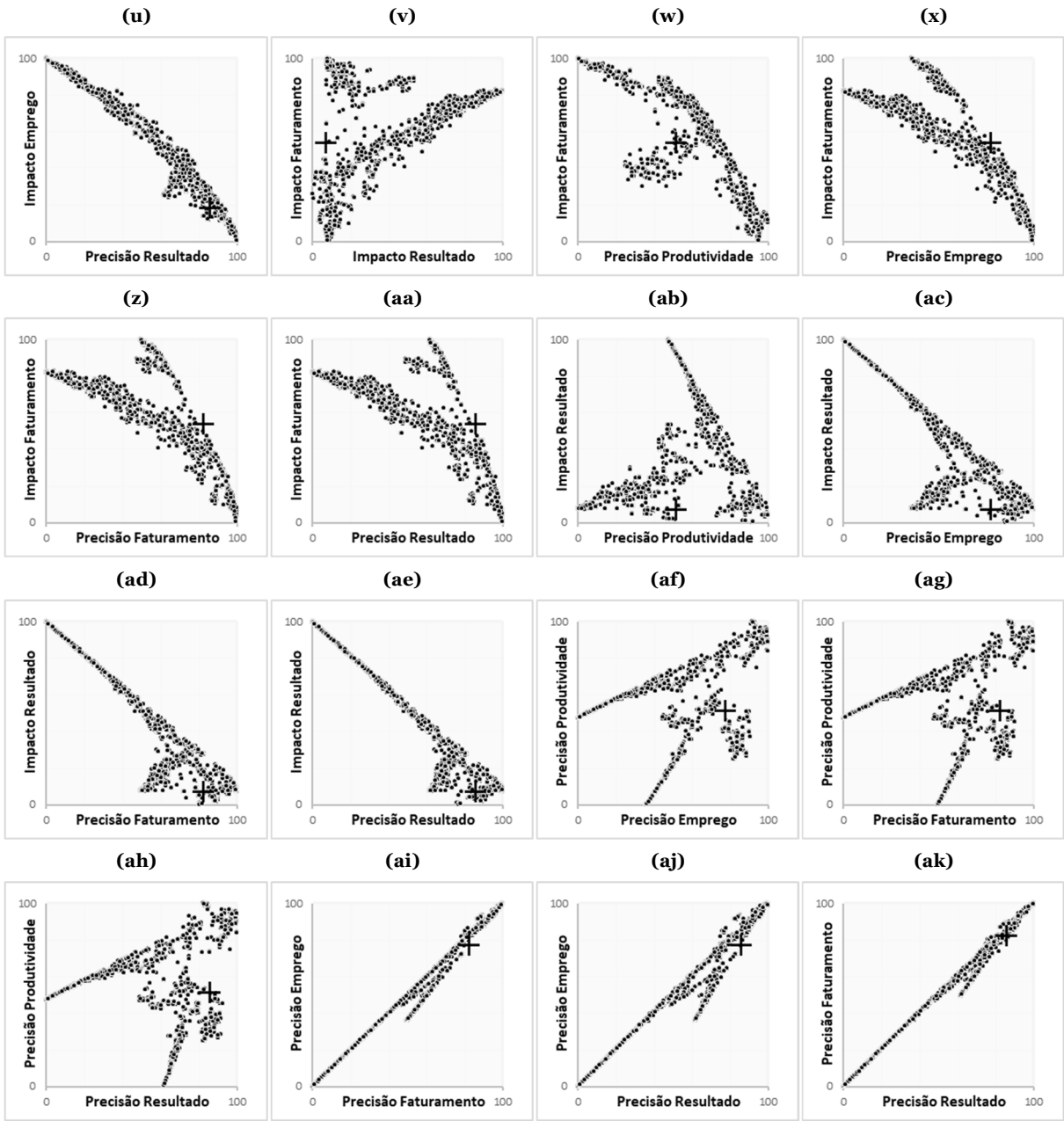
Para exemplificar, observa-se uma relação positiva e estreita entre a busca de impacto no emprego e impacto no resultado (Figura 25-q), enquanto há uma relação um pouco negativa e com grande amplitude entre o impacto no emprego e na produtividade (Figura 25-i).

A relação entre o nível de impacto e o nível de precisão para um mesmo objetivo é geralmente acompanhada de um *trade-off* (figuras 25-s, 25-z e 25-ae), exceto pela dimensão produtividade (Figuras 25-l). Nesse último caso, aparentemente, o algoritmo segue dois caminhos distintos na construção da fronteira eficiente, que implica, em um tipo de abordagem, a relação negativa entre o impacto na produtividade e no nível de precisão associado e, em outro tipo, uma relação positiva entre esses dois fatores.

Já a relação entre os níveis de precisão dos fatores forma uma relação parabólica e positivamente inclinada (figuras 25-af, 25-ag, 25-ah, 25-ai e 25-ak), contudo, nas três últimas ocorrências, a relação é mais estreita.

O impacto e o nível de precisão esperados pela alocação real do ano de 2017 estiveram contidos dentro da região da fronteira eficiente, com exceção de um pequeno desvio na comparação impacto produtividade x precisão produtividade (Figura 25-l), situação na qual o portfólio da alocação efetiva ficou ligeiramente distante da fronteira de eficiência. Nota-se, ainda, que a carteira adotada pelo BNDES privilegia mais o impacto nas dimensões produtividade e faturamento (figuras 25-a e 25-c) do que nas dimensões emprego e resultado (figuras 25-b e 25-d). Cabe comentar que a dimensão emprego foi a que apresentou (juntamente com a dimensão faturamento) as estimações de impacto mais positivas e estatisticamente significativas, conforme discutido na subseção anterior, o que abre um possível espaço para o redirecionamento dos produtos da instituição de forma a melhorar o impacto de sua atuação nessa variável.





• Otimização (NSGA-II) + Alocação Efetiva

Figura 25

Fronteira eficiente estimada para o ano de 2017 para todos os pares dos oito objetivos na função de otimização

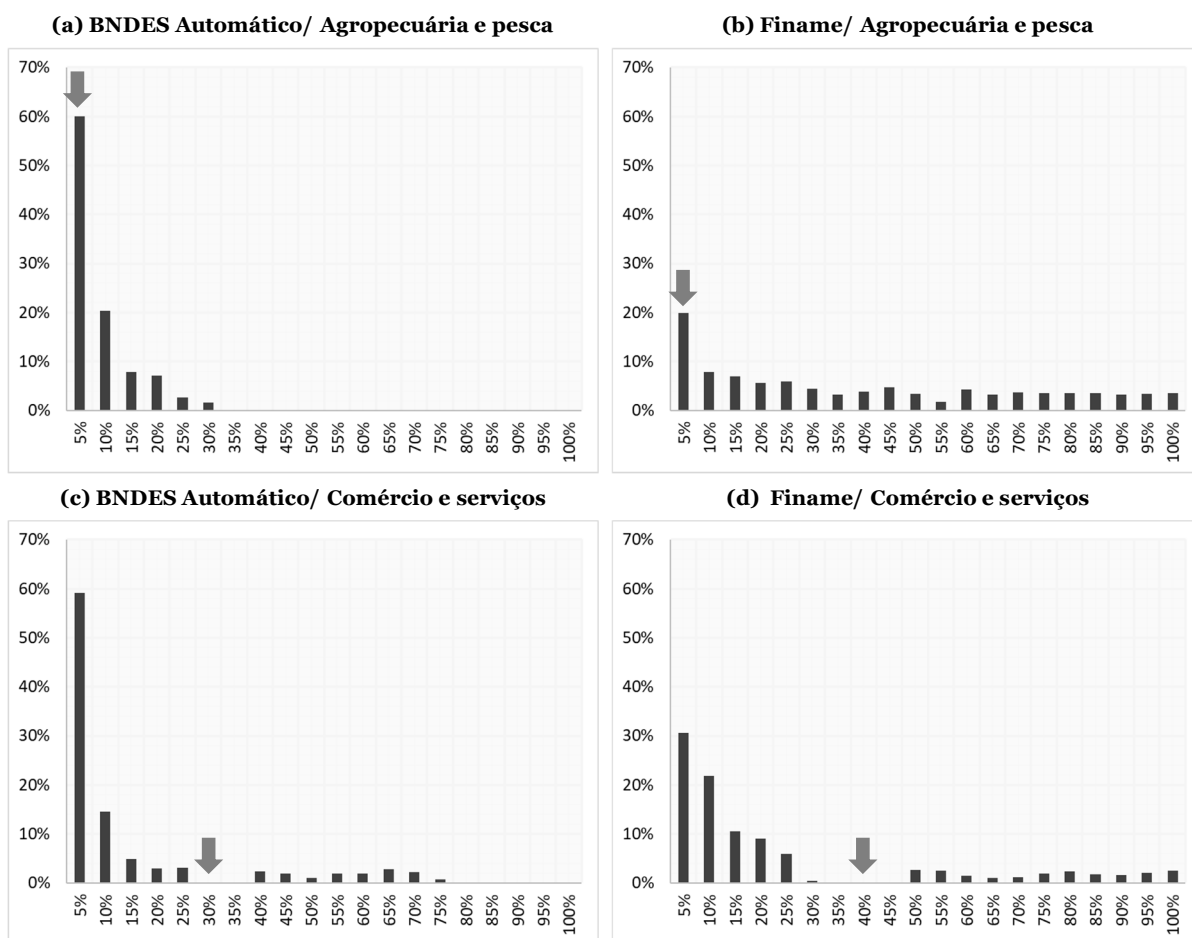
Fonte: Elaboração própria.

A análise da fronteira eficiente no espaço de soluções está evidenciada na Figura 26, que apresenta um histograma do percentual alocativo dos 1.000 pontos da fronteira eficiente em relação a cada um dos produtos/setores analisados. Como é possível perceber, a maior parte das soluções contém baixos percentuais de alocação nos

produtos/setores e apresenta um padrão decrescente em relação ao aumento alocativo.

Esse tipo de padrão é esperado, tendo em vista que a restrição orçamentária (máximo 100% alocado) implica que o aumento em um determinado produto/setor deve ser acompanhado de uma redução média nos outros cinco. Por outro lado, o padrão de decaimento mostra regiões mais ou menos atrativas de alocação. Por exemplo, uma alocação superior a 35% para o produto BNDES Automático no setor de agropecuária e pesca (Figura 26-a) é pouco eficiente para quaisquer que sejam os objetivos almejados. De maneira oposta, uma boa cobertura no espaço de soluções significa que o produto/setor, como o Finame/Agropecuária e pesca (Figura 26-b), tende a ser eficiente para uma boa gama de preferências nas funções objetivo.

Com relação à alocação efetiva, observa-se que o percentual alocado no setor de comércio e serviços em ambos os produtos (figuras 26-c e 26-d) está localizado em uma região não abrangida pela fronteira eficiente, o que pode estar relacionado a uma falha de cobertura da fronteira ou a uma região verdadeiramente de baixa eficiência alocativa.



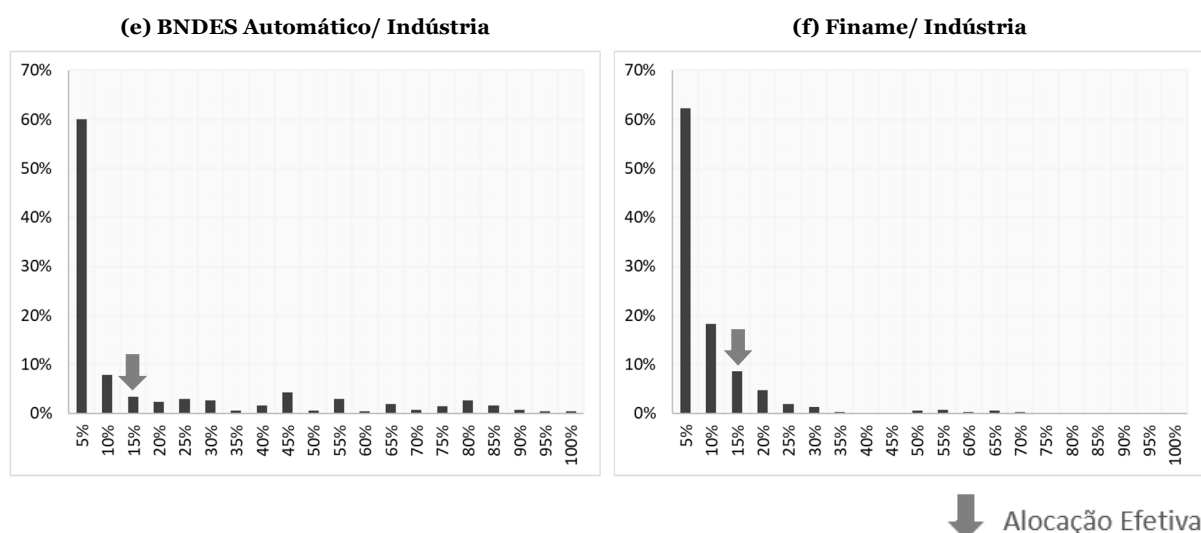


Figura 26

Distribuição do valor orçamentário alocado por produto/setor dos 1.000 pontos da fronteira eficiente do ano de 2017

Fonte: Elaboração própria.

É desejável, do ponto de vista do planejamento, que as alocações sejam constantes intertemporalmente para uma dada preferência do decisor. Tal fato irá acontecer caso as importâncias relativas dos parâmetros sejam constantes ao longo do tempo (por exemplo, quando o impacto escalonado aumenta de um ano para o outro de maneira proporcional em todas as dimensões dos objetivos). Uma exceção é quando as alocações são boas substitutas entre si, fazendo com que trocas entre as alocações resultem em efeito agregado similar entre os objetivos.

Dado o tamanho do espaço de soluções e da possibilidade de preferências decisórias, é inviável analisar todas as possibilidades. Entretanto, para fins ilustrativos, a Figura 27 apresenta a evolução temporal da melhor alocação quando a preferência é circunscrita à otimização de um único objetivo.

Assim, nesse caso específico, observa-se uma relativa constância nas alocações ao longo do tempo, sendo as dimensões de impacto esperado (figuras 27-a, 27-c, 27-e e 27-g) dominadas pelas alocações com o produto Finame para o setor de agropecuária e pesca, seguida por alocações de ambos os produtos no setor de comércio e serviços. Já para quando a preferência se dá pela precisão do impacto (figuras 27-b, 27-d, 27-f e 27-h), a alocação valoriza o produto BNDDES Automático para o setor industrial.

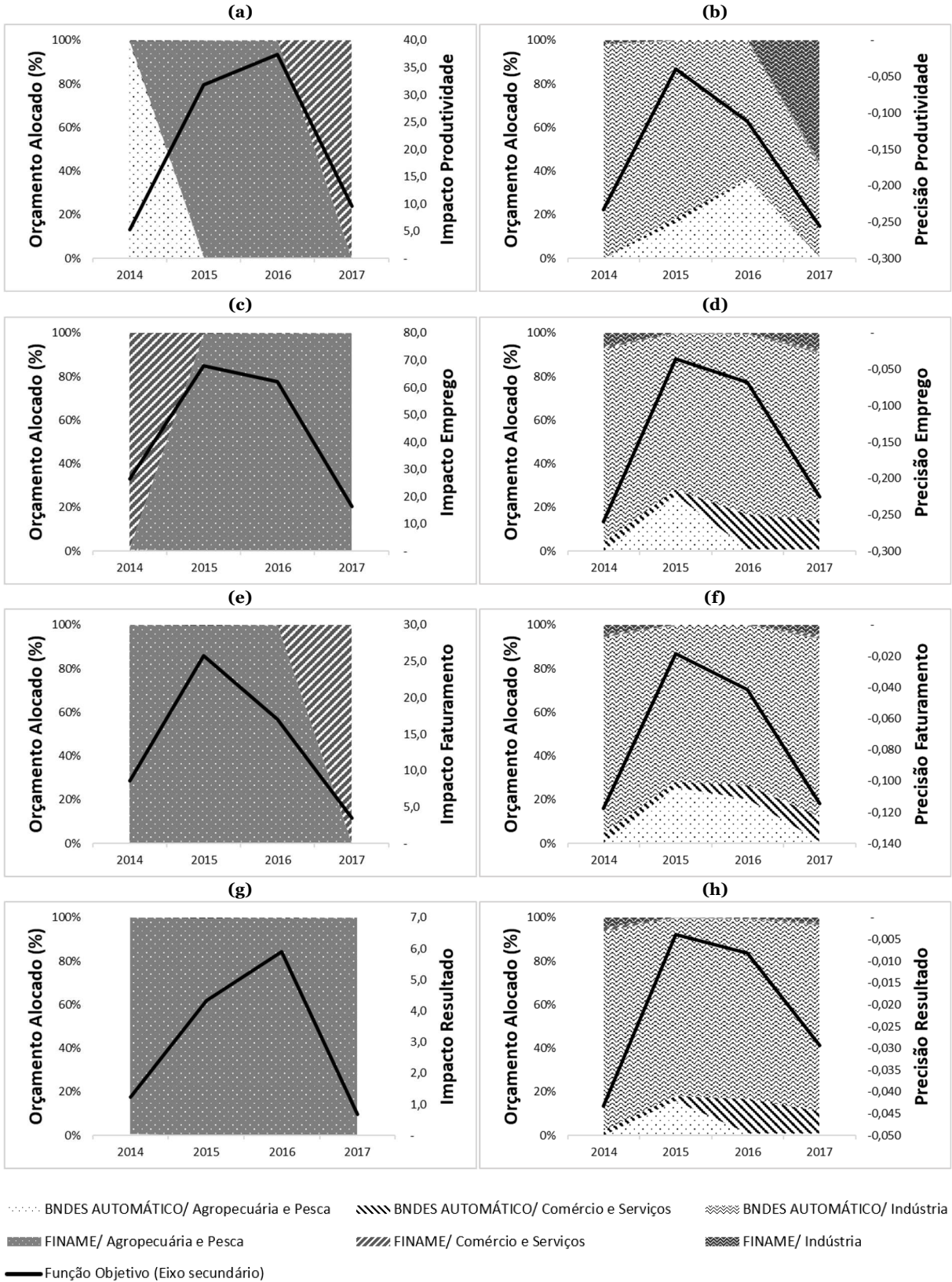


Figura 27

Evolução temporal da melhor alocação considerando apenas uma única função objetivo isoladamente

Nota: Resultado e faturamento medidos em R\$ milhões, produtividade em R\$ mil/empregado e emprego

em quantidade unitária de trabalhadores. Fonte: Elaboração própria.

Outras preferências decisórias podem ser elucidadas com o uso da técnica dos pseudopesos, apresentada na Equação 31. Para fins ilustrativos, foram selecionados três conjuntos de pseudopesos para os objetivos, conforme Tabela 26. O primeiro grupo de pesos relaciona-se a um decisor que valoriza igualmente todos os oito objetivos (padronizados pela Equação 67) e tende a ter uma distribuição balanceada entre eles. Os dois últimos pseudopesos valorizam mais o impacto em relação à precisão, porém o segundo dá maior importância relativa à dimensão emprego, enquanto o terceiro valoriza a dimensão produtividade.

Tabela 26

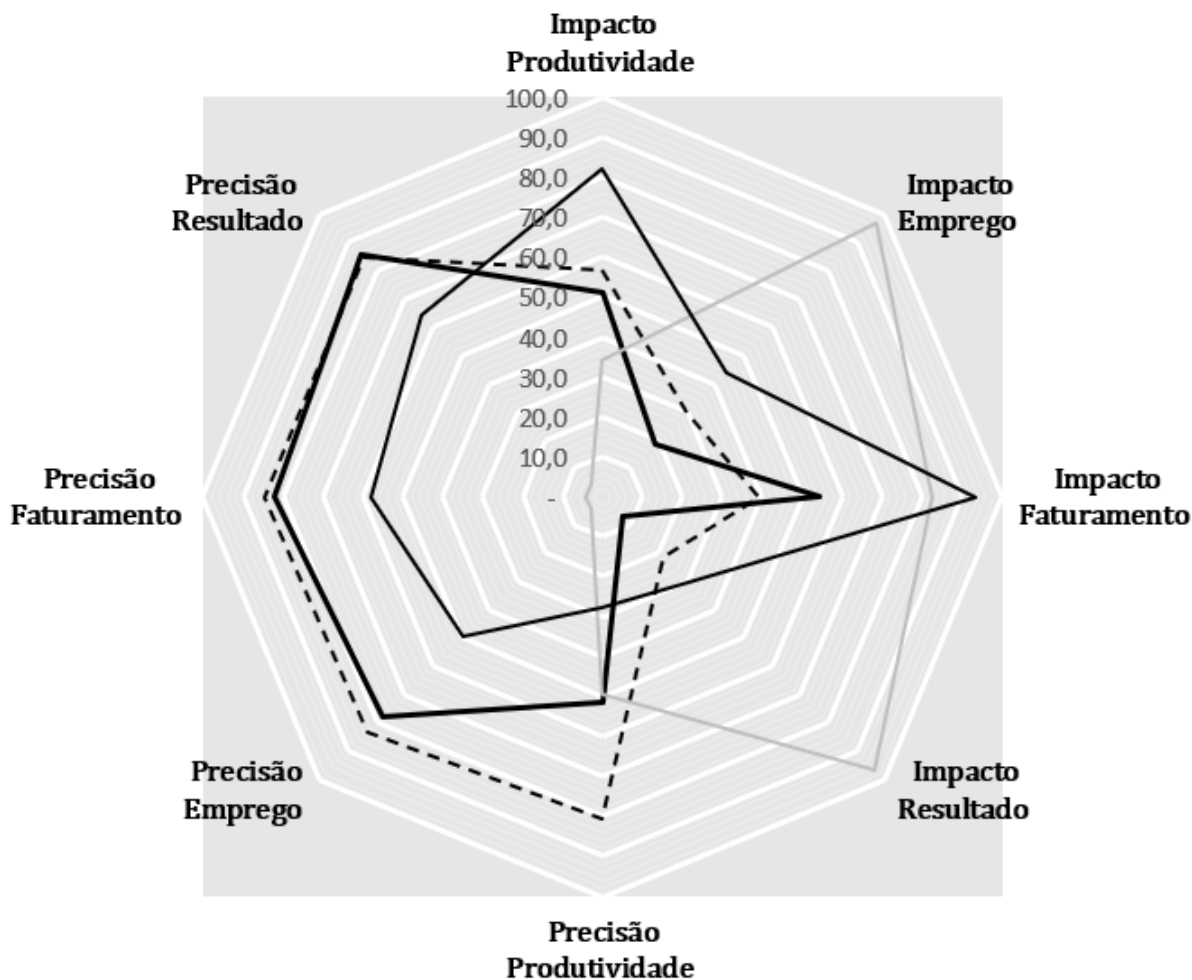
Pseudopesos utilizados para representação da preferência decisória do tomador de decisão

	Dimensões da função objetivo							
	Impacto				Precisão			
	Produti- vidade	Emprego	Fatura- mento	Resultado	Produti- vidade	Emprego	Fatura- mento	Resultado
Pseudopesos 1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pseudopesos 2	2	4	2	2	1	1	1	1
Pseudopesos 3	4	2	2	2	1	1	1	1

Fonte: Elaboração própria.

A aplicação dos pseudopesos com os dados do ano de 2017 resulta na escolha de três portfólios da fronteira de eficiência, conforme figuras 28 e 29. A título de comparação, também foi incluída a alocação efetiva do BNDES para o ano.

A análise da Figura 28 mostra que os efeitos da atuação do BNDES com a alocação efetiva foram muito próximos de um perfil decisório que valoriza igualmente os objetivos (pseudopesos 1). Apesar da similaridade no nível da função objetivo, os percentuais alocados são um pouco diferentes (Figura 29), sendo que a alocação efetiva destinou o maior percentual do orçamento para o produto Finame para o setor de comércio e serviços, enquanto a alocação do pseudopeso 1 destinou a maior fração para o produto BNDES Automático para o setor industrial.



Realizado
 Pseudopesos 1
 Pseudopesos 2
 Pseudopesos 3

Figura 28

Funções objetivo escalonadas para a alocação efetiva do ano de 2017, e três alocações da fronteira eficiente selecionadas pelo método dos pseudopesos

Fonte: Elaboração própria.

Para o alcance das preferências listadas pelos pseudopesos 2 e 3, deveria haver uma mudança alocativa que privilegiasse o produto Finame para o setor de agropecuária e pesca, segundo os pseudopesos 2, e aumento da participação do produto Finame para o setor de comércio e serviços, segundo os pseudopesos 3.

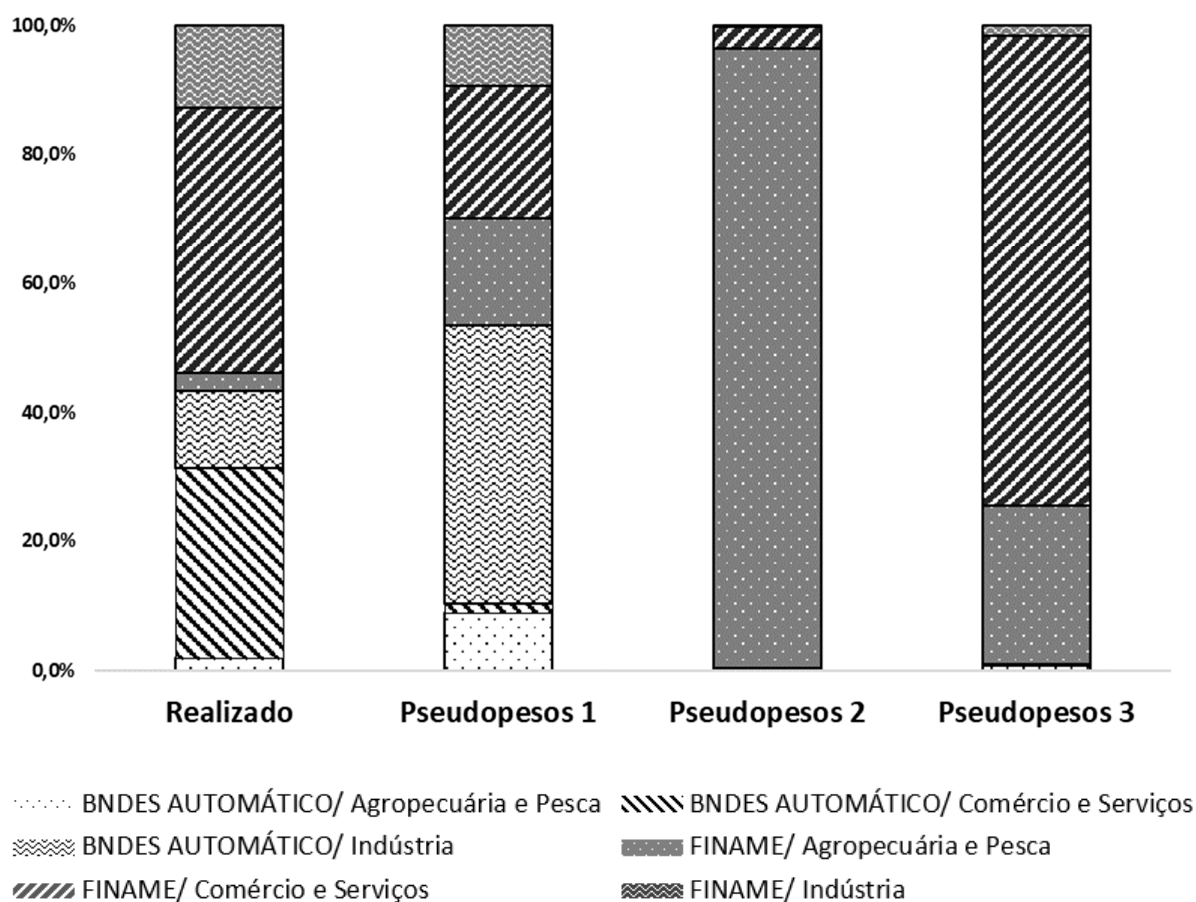


Figura 29

Distribuição orçamentária para a alocação efetiva do ano de 2017, e três alocações da fronteira eficiente selecionadas pelo método dos pseudopesos

Fonte: Elaboração própria.

Do ponto de vista prático, o direcionamento dos pesos da alocação orçamentária pode ser feito por ações como a reprecificação do *spread* cobrado entre os produtos e a criação de restrições orçamentárias para itens financiados específicos ou campanhas publicitárias para fomento de um produto a um determinado público-alvo.

Capítulo 5 Conclusão

Este trabalho investigou a utilização de um protocolo para a seleção de portfólios de impacto. Tal protocolo exige que o investidor realize uma pesquisa prévia para coleta de evidências acerca das estimativas de impacto dos investimentos; promova uma reavaliação das estimativas de acordo com a qualidade das fontes de informação disponíveis e com a adequação do contexto em que as pesquisas prévias foram realizadas; consolide as estimativas de impacto de forma sistemática; elimine de sua análise os portfólios dominados; e decida por aquele portfólio, pertencente à fronteira eficiente, que atenda às suas preferências de objetivos financeiros e socioambientais.

Em especial, a metodologia discutida inova ao estender o ganho de diversificação, já contemplado na gestão tradicional de carteiras, para os objetivos socioambientais. Tal fato permite aos investidores construir carteiras mais eficientes por meio de alocações em vários programas que visam ao mesmo objetivo, mas que guardam pouca relação entre os canais de transmissão, a intervenção e o efeito perseguido na variável de interesse.

A implementação do método foi ilustrada, em um primeiro momento, a partir do desenvolvimento de um exemplo numérico, no qual se estudou a perspectiva de um investidor que pretende alocar seus recursos em dois programas creditícios com vistas a buscar, além de um retorno financeiro, o aumento da renda média das famílias tomadoras dos recursos. No caso em questão, foi derivada a fronteira eficiente de aplicação e foram explicitados os *trade-offs* existentes em cada uma das alocações possíveis.

Um segundo estudo de caso hipotético analisado foi a aplicação de um modelo do tipo média-variância de dois estágios. Considera-se que tal expansão da modelagem é importante para acrescentar a dimensão temporal da alocação, na qual se considera a possibilidade de ganhos de experiência nos projetos para redução de riscos e o uso de aplicações financeiras para potencializar o orçamento de projetos socioambientais em um momento futuro.

Acerca dos dois estudos mencionados, observou-se uma coerência entre os resultados intuitivamente esperados e os encontrados nos modelos, fazendo com que seja promissora a aplicação da metodologia empregada para um número maior de projetos e períodos, situação na qual, por seus benefícios, a modelagem matemática é ainda mais recomendada.

O estudo também analisou a aplicação do modelo proposto em um caso real, a saber, na seleção alocativa para as operações indiretas do BNDES em seus dois principais produtos, segundo os setores da economia. Tal estudo ensejou também na aferição do impacto dos financiamentos do BNDES nas firmas apoiadas nas variáveis produtividade, emprego, faturamento e resultado, concluindo-se que há grande suporte empírico para geração de impacto positivo nas dimensões emprego e faturamento. Confrontando-se as alocações efetivas do BNDES no período da amostra, concluiu-se que as alocações são Pareto eficientes em relação aos objetivos estudados. Contudo, a metodologia elucidou acerca de caminhos possíveis para a melhoria da eficiência alocativa, a depender da modelagem adotada para representação das preferências dos tomadores de decisão.

Não obstante o sucesso e a relativa simplicidade alcançados com a modelagem desenvolvida, cabe, ainda, investigar a reparametrização do modelo conforme o paradigma da otimização estocástica, abordagem mais recomendada para lidar com variáveis de recurso, na qual há uma revisão da estratégia após a realização das variáveis aleatórias.

Outras possíveis contribuições empíricas decorreriam da aplicação da metodologia proposta em outros bancos de desenvolvimento e demais instituições de investimentos de impacto que enfrentam situações similares às descritas nos três estudos de casos apresentados neste trabalho.

Finalmente, cabe ressaltar que a adoção de um protocolo que valoriza, em essência, o conhecimento científico para a tomada de decisão é uma grande vantagem em relação ao método de tentativa e erro, geralmente adotado pelos atores que buscam promover ganhos socioambientais com as suas ações.

Referências Bibliográficas

- Achleitner, A.-K., Heinecke, A., Noble, A., Schöning, M., & Spiess-Knafl, W. (2012). Social Investment Manual: An Introduction for Social Entrepreneurs. *SSRN Electronic Journal* (May 2011). <https://doi.org/10.2139/ssrn.1884338>
- Adler, T., & Kritzman, M. (2008). The Cost of Socially Responsible Investing. *Journal of Portfolio Management*, 35(1), 52–56. <https://doi.org/10.3905/JPM.2008.35.1.52>
- Agrawal, A., & Hockerts, K. (2019). Impact investing: review and research agenda. *Journal of Small Business and Entrepreneurship*, 0(0), 1–29. <https://doi.org/10.1080/08276331.2018.1551457>
- Aires, R. F. de F., & Ferreira, L. (2018). The rank reversal problem in multi-criteria decision making: A literature review. *Pesquisa Operacional*, 38(2), 331–362. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2018.038.02.0331>
- Aitken, M., Bogie, A. C., Electrís, C., Hoque, F., Lang, K., & Silverstein, J. (2018). *Report on US Sustainable, Responsible and Impact Investing Trends 2018*. Washington, DC. www.ussif.org
- Almeida, H. T. V. de, & Braga, J. P. C. de H. (2017). *Explicitando as contribuições para o desenvolvimento no BNDES: a Tese de Impacto de Investimento em Projetos (Tiip) como método de avaliação ex ante* (Textos para discussão, 116). BNDES. https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/13554/1/TD116_TIIP_Final_P_BD.pdf
- Amel-Zadeh, A., & Serafeim, G. (2018). Why and how investors use ESG information: Evidence from a global survey. *Financial Analysts Journal*, 74(3), 87–103. <https://doi.org/10.2469/faj.v74.n3.2>
- Angrist, J. D., & Pischke, J. S. (2010). The credibility revolution in empirical economics: How better research design is taking the con out of econometrics. *Journal of Economic Perspectives*, 24(2), 3–30. <https://doi.org/10.1257/jep.24.2.3>

- Athey, S., & Imbens, G. (2017). The Econometrics of Randomized Experiments. In A. V. Banerjee & E. Duflo (Eds.), *Handbook of Field Experiments* (vol. 1, pp. 73–140). North-Holland/Elsevier.
- Ballester, E., Bravo, M., Pérez-Gladish, B., Arenas-Parra, M., & Plà-Santamaria, D. (2012). Socially Responsible Investment: A multicriteria approach to portfolio selection combining ethical and financial objectives. *European Journal of Operational Research*, *216*(2), 487–494.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.011>
- Banerjee, A., Banerji, R., Berry, J., Duflo, E., Kannan, H., Mukerji, S., Shotland, M., & Walton, M. (2017). From Proof of Concept to Scalable Policies: Challenges and Solutions, with an Application. *The Journal of Economic Perspectives*, *31*(4), 73–102. <https://doi.org/10.1257/jep.31.4.73>
- Banerjee, A., Chassang, S., & Snowberg, E. (2017). Decision Theoretic Approaches to Experiment Design and External Validity. In A. V. Banerjee & E. Duflo (Eds.), *Handbook of Field Experiments* (vol. 1, pp. 141–174). North-Holland/Elsevier.
- Banerjee, A. V., Duflo, E., & Kremer, M. (2020). The Influence of Randomized Controlled Trials on Development Economics. In K. Basu, D. Rosenblatt, & C. Sepulveda (Eds.), *The State of Economics, The State of the World* (p. 552). MIT Press.
- Banerjee, A. V., & Duflo, E. (2011). *Poor economics: a radical rethinking of the way to fight global poverty*. Public Affairs.
- Barboza, R. de M., Furtado, M., & Gabrielli, H. (2019). A atuação histórica do BNDES: o que os dados têm a nos dizer? *Brazilian Journal of Political Economy*, *39*(3), 544–560. <https://doi.org/10.1590/0101-35172019-2910>
- Bareinboim, E., & Pearl, J. (2016). Causal inference and the data-fusion problem. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(27), 7345–7352.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1510507113>
- Barros, R. P., Coutinho, D., & Soares, C. (2020). Políticas públicas com base em evidência: por que e para quê. In F. Giambiagi, S. Ferreira, A. M. Ambrózio (Eds.), *Reforma do Estado Brasileiro - Transformando a Atuação do Governo*. Atlas.
- Battilana, J., Lee, M., Walker, J., & Dorsey, C. (2012). In Search of the Hybrid Ideal. *Stanford Social Innovation Review*, *10*(3), 51–55.
<https://doi.org/10.48558/WF5M-8Q69>

- Bello, Z. (2005). Socially responsible investing and portfolio diversification. *Journal of Financial Research*, 28(1), 41–57. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6803.2005.00113.x>
- Bentham, J. (1789). *An Introduction to the Principles of Morals and Legislation*. Athlone Press.
- Bertrand, J. W. M., & Fransoo, J. C. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 241–264. <https://doi.org/10.1108/01443570210414338>
- Biancone, P. P., & Radwan, M. (2018). Social Finance and Unconventional Financing Alternatives: An Overview. *European Journal of Islamic Finance*, 0(10), 1–6. <https://doi.org/10.13135/2421-2172/2818>
- Bishop, M. (2013). Philanthrocapitalism: Solving Public Problems through Private Means. *Social Research*, 80(2), 473-490. <https://www.jstor.org/stable/24385612>
- Black, F., & Litterman, R. (1991). Asset Allocation: Combining Investor Views with Market Equilibrium. *The Journal of Fixed Income*, 1(2), 7–18. <https://doi.org/10.3905/jfi.1991.408013>
- BNDES. (2015). *Relatório de efetividade 2007-2014: A contribuição do BNDES para o desenvolvimento nacional*. <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/6523>
- BNDES. (2020). *Relatório de Efetividade do BNDES 2019*. <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/20141>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. John Wiley & Sons.
- Brasil. (2018a). *Avaliação de políticas públicas: Guia prático de análise ex ante* (Vol. 1). Ipea.
- Brasil. (2018b). *Avaliação de políticas públicas: Guia prático de análise ex post* (Vol. 2). Ipea.
- Brasil. (2019). Decreto nº 9.977, de 19 de agosto de 2019. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9977.htm

- Brodeur, A., Lé, M., Sangnier, M., & Zylberberg, Y. (2016). Star wars: The empirics strike back. *American Economic Journal: Applied Economics*, 8(1), 1–32. <https://doi.org/10.1257/app.20150044>
- Bugg-Levine, A., & Goldstein, J. (2009). Impact Investing: Harnessing Capital Markets to Solve Problems at Scale. *Community Development Investment Review*, 5(2), 30–41.
- Cairney, P. (2012). *Understanding public policy: Theories and issues*. Macmillan International Higher Education.
- Cameron, D. B., Mishra, A., & Brown, A. N. (2016). The growth of impact evaluation for international development: how much have we learned? *Journal of Development Effectiveness*, 8(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/19439342.2015.1034156>
- Castro, E., & Garnett, A. (2014). Building a Bridge Between Journal Articles and Research Data: The PKP-Dataverse Integration Project. *International Journal of Digital Curation*, 9(1), 176–184. <https://doi.org/10.2218/ijdc.v9i1.311>
- Chenery, H. B., & Syrquin, M. (1975). *Patterns of Development* (Vol. 70). Oxford University Press.
- Christensen, G., & Miguel, E. (2018). Transparency, reproducibility, and the credibility of economics research. *Journal of Economic Literature*, 56(3), 920–980. <https://doi.org/10.1257/jel.20171350>
- Christensen, G., & Miguel, E. (2018). Transparency, reproducibility, and the credibility of economics research. *Journal of Economic Literature*, 56(3), 920–980. <https://doi.org/10.1257/jel.20171350>
- Cohon, J. L. (1978). *Multiobjective Programming and Planning*. Academic Press.
- Collette, Y., & Siarry, P. (2003). *Multiobjective optimization: principles and case studies*. Springer-Verlag.
- Daggers, J., & Nicholls, A. (2016). Academic Research into Social Investment and Impact Investing: The Status Quo and Future Research. In O. M. Lehner (Ed.), *Routledge Handbook of Social and Sustainable* (pp. 68-82). Routledge.
- Daskalakis, C., Karp, R. M., Mossel, E., Riesenfeld, S. J., & Verbin, E. (2011). Sorting and selection in posets. *SIAM J Comput*, 40(3), 597–622. <http://dx.doi.org/10.1137/070697720>
- Davidson, A., & Rocha, R. (2018). *The Impact Investing Landscape in Brazil*. Aspen

- Network of Development Entrepreneurs; LAVCA.
<https://www.andeglobal.org/wp-content/uploads/2021/02/LatAm-Impact-Investing-2016-2017-Brazil-EN.pdf>
- Deaton, A., & Cartwright, N. (2018). Understanding and misunderstanding randomized controlled trials. *Social Science & Medicine*, *210*, 2–21.
<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.12.005>
- Deb, K., & Beyer, H. G. (2001). Self-adaptive genetic algorithms with simulated binary crossover. *Evolutionary Computation*, *9*(2), 197–221.
<https://doi.org/10.1162/106365601750190406>
- Deb, K. (2001). *Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms*. John Wiley & Sons (Vol. 16). Chichester.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, *6*(2), 182–197. <https://doi.org/10.1109/4235.996017>
- DeGroot, M. H. (1988). A Bayesian view of assessing uncertainty and comparing expert opinion. *Journal of Statistical Planning and Inference*, *20*(3), 295–306.
- Dupačová, J. (2002). Applications of stochastic programming: Achievements and questions. *European Journal of Operational Research*, *140*(2), 281–290.
[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00070-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00070-X)
- Edwards, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological Bulletin*, *51*(4), 380–417.
- Elton, E. J., & Gruber, M. J. (1997). Modern portfolio theory, 1950 to date. *Journal of Banking and Finance*, *21*(11–12), 1743–1759. [https://doi.org/10.1016/S0378-4266\(97\)00048-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4266(97)00048-4)
- Engau, A. (2009). Tradeoff-based decomposition and decision-making in multiobjective programming. *European Journal of Operational Research*, *199*(3), 883–891. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.061>
- Esping-Andersen, G. (1991). As três economias políticas do welfare state. *Lua Nova: Revista de Cultura e Política*, (24), 85–116.
- Fabozzi, F. J., Ma, K. C., & Oliphant, B. J. (2008). Sin Stock Returns. *The Journal of Portfolio Management*, *35*(1), 82–94.
<https://doi.org/10.3905/jpm.2008.35.1.82>
- Ferraz, J. C., & Coutinho, L. (2019). Investment policies, development finance and

- economic transformation: Lessons from BNDES. *Structural Change and Economic Dynamics*, 48, 86–102. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2017.11.008>
- Fisher, R. A. (1925). *Statistical Methods for Research Workers*. Genesis Publishing Pvt Ltd.
- Fliege, J., & Werner, R. (2014). Robust multiobjective optimization & applications in portfolio optimization. *European Journal of Operational Research*, 234(2), 422–433. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.028>
- Friede, G. (2019). Why don't we see more action? A metasynthesis of the investor impediments to integrate environmental, social, and governance factors. *Business Strategy and the Environment*, 28(6), 1260–1282. <https://doi.org/10.1002/bse.2346>
- Friede, G., Busch, T., & Bassen, A. (2015). ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 5(4), 210–233. <https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917>
- Friedman, M. (1970). The social responsibility of business is to increase its profits. *New York Times Magazine*, 13 (32-33), 122–126.
- Fukuda, E. H., & Graña Drummond, L. M. (2011). On the convergence of the projected gradient method for vector optimization. *Optimization*, 60(8–9), 1009–1021. <https://doi.org/10.1080/02331934.2010.522710>
- Fukuda, E. H., & Graña Drummond, L. M. (2014). A survey on multiobjective descent methods. *Pesquisa Operacional*, 34(3), 585–619. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2014.034.03.0585>
- Gertler, P. J., Martinez, S., Premand, P., Rawlings, L. B., & Vermeersch, C. M. J. (2017). *Impact Evaluation in Practice*. The World Bank Publications.
- Glänzel, G., & Scheuerle, T. (2016). Social Impact Investing in Germany: Current Impediments from Investors' and Social Entrepreneurs' Perspectives. *Voluntas: International Journal of Voluntary and Nonprofit Organizations*, 27(4), 1638–1668. <https://doi.org/10.1007/s11266-015-9621-z>

- Glänzel, G., Schmitz, B., & Mildenerger, G. (2012). *Social finance investment instruments, markets and cultures in the EU*. A deliverable of the project: “The theoretical, empirical and policy foundations for building social innovation in Europe” (European Commission, 7th), TEPSIE.
- Glennerster, R., & Takavarasha, K. (2013). *Running Randomized Evaluations: A Practical Guide*. Princeton University Press.
- Global Impact Investing Network. (2013). *Perspectives on Progress: The Impact Investor Survey*. GIIN and Rockefeller.
<https://thegiin.org/assets/documents/Perspectives%20on%20Progress2.pdf>
- Global Impact Investing Network. (2019). *Core Characteristics of Impact Investing*.
<https://thegiin.org/characteristics>
- Goh, C.-K., & Tan, K. C. (2009). *Evolutionary Multi-objective Optimization in Uncertain Environments: Issues and Algorithms*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Graña Drummond, L. M., & Svaiter, B. F. (2005). A steepest descent method for vector optimization. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 175(2), 395–414. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2004.06.018>
- Grim, D. M., & Berkowitz, D. B. (2018). ESG, SRI, and impact investing: A primer for decision-making. *Vanguard Research*.
<https://www.vanguardinvestments.de/documents/institutional/esg-sri-impact-investing.pdf>
- Grimaldi, D., Pinto, A., Albuquerque, B., Buchbinder, F., Pereira, J. P., Ortiz, L., Tortorelli, M., & Martini, R. (2018). Uma solução automatizada para avaliações quantitativas de impacto: primeiros resultados do MARVIm. *BNDES. Textos Para Discussão n. 128*. <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15800>
- Gueron, J. (2017). The politics and practice of social experiments: seeds of a revolution. In V. A. Banerjee & E. Duflo (Eds.), *Handbook of Field Experiments* (vol. 1, pp. 27–70). North-Holland/Elsevier.
- Halbritter, G., & Dorfleitner, G. (2015). The wages of social responsibility - where are they? A critical review of ESG investing. *Review of Financial Economics*, 26, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.rfe.2015.03.004>
- Ham, C., & Hill, M. (1993). *O processo de elaboração de políticas no estado capitalista moderno* (2nd ed.). Harvester Wheatsheaf.

- Hangl, C. (2014). A Literature Review about the Landscape of Social Finance. *ACRN Journal of Finance and Risk Perspectives* 3, 3(4), 64–98. <http://www.acrn-journals.eu/resources/jofrp201404b.pdf>
- Harji, K., & Hebb, T. (2010). *Impact Investing for Social Finance*. ANSER Conference, 1–20. <https://carleton.ca/3ci/wp-content/uploads/Impact-Investing-for-Social-Finance-v1.pdf>
- Hebb, T. (2013). Impact investing and responsible investing: what does it mean? *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 3(2), 71–74. <https://doi.org/10.1080/20430795.2013.776255>
- Higgins, J., & Green, S. (2008). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. John Wiley & Sons.
- HM Treasury UK. (2018). *Government Response to Advisory Group Report on “Growing a Culture of Social Impact Investing in the UK”*. <https://golab.bsg.ox.ac.uk/knowledge-bank/resources/government-response-advisory-group-social-impact-investing/>
- Hoepner, A. G. F., Majoch, A. A. A., & Zhou, X. Y. (2019). Does an Asset Owner’s Institutional Setting Influence Its Decision to Sign the Principles for Responsible Investment? *Journal of Business Ethics*, 168, 389–414. <https://doi.org/10.1007/s10551-019-04191-y>
- Holland, P. W. (1986). Statistics and Causal Inference. *Journal of the American Statistical Association*, 81(396), 945–960. <https://doi.org/10.2307/2289064>
- Humphrey, J. E., & Tan, D. T. (2014). Does it Really Hurt to be Responsible? *Journal of Business Ethics*, 122(3), 375–386. <https://doi.org/10.1007/s10551-013-1741-z>
- Jackson, E. T. (2013a). Evaluating social impact bonds: questions, challenges, innovations, and possibilities in measuring outcomes in impact investing. *Community Development*, 44(5), 608–616. <https://doi.org/10.1080/15575330.2013.854258>
- Jackson, E. T. (2013b). Interrogating the theory of change: evaluating impact investing where it matters most. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 3(2), 95–110. <https://doi.org/10.1080/20430795.2013.776257>
- Junkus, J., & Berry, T. D. (2015). Socially responsible investing: a review of the critical issues. *Managerial Finance*, 41(11), 1176–1201. <https://doi.org/10.1108/MF-12-2014-0307>

- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decision Analysis with Multiple Conflicting Objectives, Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press.
- King, G. (2007). An introduction to the dataverse network as an infrastructure for data sharing. *Sociological Methods and Research*, 36(2), 173–199.
<https://doi.org/10.1177/0049124107306660>
- Kolm, P. N., Tütüncü, R., & Fabozzi, F. J. (2014). 60 Years of portfolio optimization: Practical challenges and current trends. *European Journal of Operational Research*, 234(2), 356–371. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.060>
- Koop, G. (2003). *Bayesian Econometrics*. John Wiley & Sons.
- Lehtonen, T. J. (2013). Philosophical issues in responsible investment: A care-ethical approach. *Social Responsibility Journal*, 9(4), 589–602.
<https://doi.org/10.1108/SRJ-08-2012-0087>
- Leoneti, A. B. (2016). Considerations regarding the choice of ranking multiple criteria decision making methods. *Pesquisa Operacional*, 36(2), 259–277.
<https://doi.org/10.1590/0101-7438.2016.036.02.0259>
- Lewis, W. A. (1954). Economic development with unlimited supplies of labour. *Manchester School*, 22, 139–191.
- Lima, T. M., & Carvalho, A. R. de. (2021). A atuação do BNDES na economia brasileira no período entrecrises (2009-2015). *Revista de Economia*, 42(79), 538–570. <https://doi.org/10.5380/re.v42i79.70911>
- Lopez-Ibanez, M., & Stutzle, T. (2012). The automatic design of multiobjective ant colony optimization algorithms. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 16(6), 861–875. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2011.2182651>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77–91.
- Marler, R. T., & Arora, J. S. (2010). The weighted sum method for multi-objective optimization: New insights. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 41(6), 853–862. <https://doi.org/10.1007/s00158-009-0460-7>
- McCoy, T. (2014, set.). *Why the brutal murder of several Ebola workers may hint at more violence to come*. The Washington Post.
<https://www.washingtonpost.com/news/morning-mix/wp/2014/09/19/why-the-brutal-murder-of-eight-ebola-workers-may-hint-at-more-violence-to-come/>

- Meager, R. (2019). Understanding the Average Impact of Microcredit Expansions: A Bayesian Hierarchical Analysis of Seven Randomized Experiments. *American Economic Journal: Applied Economics*, 11(1), 57–91.
<https://doi.org/10.1257/app.20170299>
- Mendell, M., & Barbosa, E. (2013). Impact investing: a preliminary analysis of emergent primary and secondary exchange platforms. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 3(2), 111–123. <https://doi.org/10.1080/20430795.2013.776258>
- Michelucci, F. V. (2017). Social Impact Investments: Does an Alternative to the Anglo-Saxon Paradigm Exist? *Voluntas*, 28(6), 2683–2706.
<https://doi.org/10.1007/s11266-016-9783-3>
- Mishan, E. J., & Quah, E. (2007). *Cost-Benefit Analysis* (5th ed.). Routledge.
- Moore, M. L., Westley, F. R., & Brodhead, T. (2012). Social Finance Intermediaries and Social Innovation. *Journal of Social Entrepreneurship*, 3(2), 184–205.
<https://doi.org/10.1080/19420676.2012.726020>
- Mudaliar, A., & Dithrich, H. (2019). *Sizing the Impact Investing Market*. Global Impact Investing Network. [https://thegiin.org/assets/Sizing the Impact Investing Market_webfile.pdf](https://thegiin.org/assets/Sizing%20the%20Impact%20Investing%20Market_webfile.pdf)
- Nicholls, A. (2010). The Legitimacy of Social Entrepreneurship: Reflexive Isomorphism in a Pre-Paradigmatic Field. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 34(4), 611–633. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-6520.2010.00397.x>
- Okun, A. M. (1975). *Equality and Efficiency*. Brookings Institution Press.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
- Pearl, J. (2009). *Causality: Models, reasoning and inference* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Pepin, J. (2005). Venture Capitalists and Entrepreneurs Become Venture Philanthropists. *International Journal of Nonprofit and Voluntary Sector Marketing*, 10(3), 165–173. <https://doi.org/10.1002/nvsm.10>
- Pinto, A., Albuquerque, B., Grimaldi, D., Buchbinder, F., Pereira, P., Ortiz, L., Tortorelli, M., & Martini, R. (2017). *Uma solução automatizada para avaliações quantitativas de impacto: primeiros resultados do MARVIm*. BNDES. <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/1b87f398-dd23-4ea3-91b8-3918b0c1889a/estudos-albuquerque-et->

alii.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mfcZnMQ

- Poirier, D. (1995). *Intermediate Statistics and Econometrics: A Comparative Approach*. The MIT Press.
- Porter, M. E., & Kramer, M. R. (1999). Philanthropy's new agenda: creating value. *Harvard Business Review*, 77(6), 121–130.
- Pritchett, L., & Sandefur, J. (2015). Learning from experiments when context matters. *American Economic Review*, 105(5), 471–475.
<https://doi.org/10.1257/aer.p20151016>
- Quinn, Q. C., & Munir, K. A. (2017). Hybrid Categories as Political Devices: The Case of Impact Investing in Frontier Markets. *Research in the Sociology of Organizations*, 51, 113–150. <https://doi.org/10.1108/S0733-558X20170000051002>
- Rajan, A. T., Koserwal, P., & Keerthana, S. (2014). The Global Epicenter of Impact Investing: An Analysis of Social Venture Investments in India. *The Journal of Private Equity*, 17(2), 37–50. <https://www.jstor.org/stable/43503794>
- Rangan, V. K., Appleby, S., Moon, L., & Schervish, P. G. (2011, nov.). The Promise of Impact Investing. *Harvard Business Review*, 1–21.
<http://www.filantropia.org.co/archivo/attachments/article/198/Impact%20Investing.pdf>
- Rath, J., & Schuyt, T. (2014). Entrepreneurial Philanthropy: An Exploratory Review. *The Journal of Wealth Management*, 17(3), 35–47.
<https://doi.org/10.3905/jwm.2014.17.3.035>
- Rawls, J. (1971). *A Theory of Justice*. Belknap Press of Harvard University Press.
- Reyes-Sierra, M., & Coello Coello, C. A. (2006). Multi-Objective Particle Swarm Optimizers: A Survey of the State-of-the-Art. *International Journal of Computational Intelligence Research*, 2(3), 287–308.
<https://doi.org/10.5019/j.ijcir.2006.68>
- Riedl, A., & Smeets, P. (2017). Why Do Investors Hold Socially Responsible Mutual Funds? *Journal of Finance*, 72(6), 2505–2550.
<https://doi.org/10.1111/jofi.12547>
- Rizzello, A., Migliazza, M. C., Care, R., & Trotta, A. (2016). Social Impact Investing: A model and Research Agenda. In O. M. Lehner (Ed.), *Routledge Handbook of Social and Sustainable Finance* (pp. 102-124). Routledge.

- Rizzi, F., Pellegrini, C., & Battaglia, M. (2018). The Structuring of Social Finance: Emerging Approaches for Supporting Environmentally and Socially Impactful Projects. *Journal of Cleaner Production*, (170), 805–817.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.167>
- Rostow, W. W. (1960). *The Stages of Economic Growth: A Non- Communist Manifesto*. Cambridge University Press.
- Roundy, P., Holzhauser, H., & Dai, Y. (2017). Finance or philanthropy? Exploring the motivations and criteria of impact investors. *Social Responsibility Journal*, 13(3), 491–512. <https://doi.org/10.1108/SRJ-08-2016-0135>
- Roundy, P. T. (2019). Regional differences in impact investment: A theory of impact investing ecosystems. *Social Responsibility Journal*, 16(4), 1–18.
<https://doi.org/10.1108/SRJ-11-2018-0302>
- Rubin, D. B. (1981). Estimation in Parallel Randomized Experiments. *Journal of Educational Statistics*, 6(4), 377–401.
- Rubin, D. B. (2005). Causal Inference Using Potential Outcomes: Design, Modeling. *Journal of the American Statistical Association*, 100(469), 322–331.
<https://doi.org/10.1198/016214504000001880>
- Salamon, L. M. (2002). *The tools of government: a guide to the new governance*. Oxford University Press.
- Saltuk, Y., & Idrissi, A. El. (2012). *A Portfolio Approach to Impact Investment: A Practical Guide to Building, Analyzing and Managing a Portfolio of Impact Investments*. JP Morgan - Global social finance research.
<https://thegiin.org/research/publication/a-portfolio-approach-to-impact-investment-a-practical-guide-to-building-analyz>
- Secchi, L. (2010). *Políticas públicas: conceitos, esquemas de análise, casos práticos*. Cengage Learning.
- Shafer, G. (1987). Probability Judgment in Artificial Intelligence and Expert Systems. *Statistical Science*, 2(1), 3–16.
- Shipley, B. (2016). *Cause and correlation in biology: a user's guide to path analysis, structural equations and causal inference with R*. Cambridge University Press.
- Singh, A. (1994). State intervention and 'market-friendly' approach to development: A critical analysis of the World Bank theses. In A. K. Dutt, K. S. Kim, & A. Singh (Eds.), *The States, Markets and Development* (pp. 38-61). Elgar.

- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70 (1): 65–94. doi:10.2307/1884513
- Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*, 39 (3): 312–320. doi:10.2307/1926047
- Suehrer, J. (2019). The Future of FDI: Achieving the Sustainable Development Goals 2030 through Impact Investment. *Global Policy*, 10(3), 413–415.
<https://doi.org/10.1111/1758-5899.12714>
- Tekula, R., & Shah, A. (2016). Impact Investing: Funding social innovation. In O. M. Lehner (Ed.), *Routledge Handbook of Social and Sustainable Finance* (pp. 125–136). Routledge.
- The Royal Swedish Academy of Sciences. (2019). *The Prize in Economic Sciences* [Press release]. <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2019/press-release/>
- The Royal Swedish Academy of Sciences. (2021). *The Prize in Economic Sciences* [Press release]. <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2021/press-release/>
- Todaro, M. P., & Smith, S. C. (2015). *Economic Development* (12th ed.). Pearson Education.
- Torres Filho, E. T., & Costa, F. N. da. (2012). BNDES e o financiamento do desenvolvimento. *Economia e Sociedade*, 21(spe), 975–1009.
<https://doi.org/10.1590/s0104-06182012000400011>
- United Nations. (2006). *Principles for Responsible Investment*.
<https://www.unpri.org/pri/about-the-pri>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Division for Sustainable Development Goals.
<https://doi.org/10.1163/157180910X12665776638740>
- Vita, J. B., & Santana, N. T. B. (2020). O BNDES e o conflito entre a transparência e sigilo bancário e empresarial. *Revista Brasileira de Filosofia Do Direito*, 6(1), 96–114. <http://dx.doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2526-012X/2020.v6i1.6514>
- Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.
- Weber, O. (2016). Introducing Impact Investing. In O. M. Lehner (Ed.), *Routledge*

- Handbook of Social and Sustainable Finance* (pp.85-101). Routledge.
- White, H. (2009). Theory-based impact evaluation: principles and practice. *Journal of Development Effectiveness*, 1(3), 271–284.
<https://doi.org/10.1080/19439340903114628>
- Widyawati, L. (2020). A systematic literature review of socially responsible investment and environmental social governance metrics. *Business Strategy and the Environment*, 29(2), 619–637. <https://doi.org/10.1002/bse.2393>
- Wood, D., & Hagerman, L. (2010). Mission investing and the philanthropic toolbox. *Policy and Society*, 29(3), 257–268.
<https://doi.org/10.1016/j.polsoc.2010.07.005>
- Wood, D., Thornley, B., & Grace, K. (2013). Institutional impact investing: practice and policy. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 3(2), 75–94.
<https://doi.org/10.1080/20430795.2013.776256>
- Zadeh, L. A. (1983). The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 199–227.
- Zwane, A. P., Zinman, J., Van Dusen, E., Pariente, W., Null, C., Miguel, E., ... Banerjee, A. (2011). Being surveyed can change later behavior and related parameter estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(5), 1821–1826. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000776108>