UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

ANDREI DE LIMA E SILVA

OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO DE PRECIFICAÇÃO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA URBANOS

Recife, PE
2022

ANDREI DE LIMA E SILVA

OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO DE PRECIFICAÇÃO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA URBANOS

Tese apresentada ao Departamento de Economia do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Economia.
Área de concentração: Teoria Econômica.

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes.

Recife, PE
2022

Catalogação na Fonte
Bibliotecária Ângela de Fátima Correia Simões, CRB4-773

S586o Silva, Andrei de Lima e
Otimização multiobjetivo de precificação para sistemas de abastecimento de água urbanos / Andrei de Lima e Silva. - 2022.
183 folhas: il. 30 cm.

Orientadora: Prof.ª Dra. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes.
Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco, CCSA, 2022.
Inclui referências e apêndices.

1. tarifas. 2. Otimização econômica. 3. água. I. Moraes, Márcia Maria Guedes Alcoforado de (Orientador). II. Título.

336 CDD (22. ed.) UFPE (CSA 2022 – 066)

ANDREI DE LIMA E SILVA

OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO DE PRECIFICAÇÃO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA URBANOS

Tese apresentada ao Departamento de Economia do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Economia.
Área de concentração: Teoria Econômica.

APROVADA EM: 25/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

_____

Profa. Dra. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco – PIMES/ CCSA/ UFPE

_____

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra
Examinador Interno à Instituição/UFPE

_____

Profa. Dra. Maria de Lourdes Florêncio dos Santos
Examinadora Interna à Instituição/UFPE

_____

Profa. Dra. Simone Rosa da Silva
Examinadora Externa/ Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos-PE e UPE

_____

Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Silva
Examinador Externo/ UFRR

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família. Minha **mãe**, **Maria José**, pelos ensinamentos, incentivos e amor. Não há como retribuir tudo que recebi. Meu **irmão**, **Yuri**, a quem sou grato por me ajudar em diversas áreas da vida, que inclui estudo, pesquisa, trabalho e, sobretudo, afeto. Sempre será um exemplo para mim. Ao meu **pai**, **Ayron**, por ter me dado liberdade e confiança para fazer as minhas escolhas na vida. Aos meus irmãos, **Davi**, **Jade** e **Manu**, que são motivos de orgulho e alegria. À minha sobrinha **Ivy**, que chegou recentemente para alegrar a família e nos motiva a contribuirmos com nossas melhores versões para a geração futura. Aos meus **tios**, **primos**, **avós** e aos que se juntaram a nossa família.

À Professora Dra. **Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes**, por estar sempre disposta a ensinar com didática exemplar, por toda dedicação e compromisso com a ciência e por me mostrar caminhos para a elaboração desta Tese. Muito Obrigado.

Aos professores e funcionário do PIMES, por tanto aprendizado e suporte que me proporcionaram.

Ao Professor Dr. **João Vieira**, pelos valiosos comentários e sugestões em algumas etapas desta tese, pelo incentivo e disponibilidade.

Aos professores integrantes das Bancas de Qualificação e Defesa de Tese, por terem se dedicado a contribuir com a versão final desta Tese.

Aos meus amigos de turma durante o doutorado. **Reili**, por ter dado as primeiras dicas nas primeiras etapas do curso e estar sempre disponível para ajudar. **Reinan**, pelos ensinamentos e pelo convívio em vésperas de provas. **André**, **Bruna**, **Camila**, **Carol**, **Cleyton**, **Ewerton**, **Gilberto**, **Guilherme**, **Henrique**, **Jocelino**, **Joebson**, **Laís**, **Leandro**, **Lucas**, **Kleyton**, **Marcelo**, **Raissa**, **Rubens**, **Sávio** e outros, por compartilharem experiências, conhecimentos e momentos de descontração ao longo do curso.

À COMPESA, pela disponibilização de parte importante dos dados que utilizei.

À **Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco** e à **Universidade Federal de Roraima** pelo apoio financeiro.

RESUMO

Os desafios da universalização dos serviços de saneamento básico ao lado da necessidade de garantia de equilíbrio econômico-financeiro das companhias de produção e distribuição de águas, que possa viabilizar os investimentos para ampliação dos serviços são ainda maiores num contexto de escassez hídrica. O uso da precificação da água como ferramenta de gestão de demanda pode conciliar estes múltiplos objetivos, através do estabelecimento de tarifas por município, baseada em modelos que levem em conta múltiplos critérios. Este trabalho introduz um modelo de otimização multiobjetivo como apoio a tomada de decisão de precificação de água para os municípios do estado de Pernambuco. As duas funções objetivo representam dois critérios de otimização: uma explicita a receita menos os custos da companhia (função a ser maximizada) e a outra, a diferença entre o valor do pagamento da conta de água e a capacidade de pagamento dos consumidores (função a ser minimizada). Como restrições do problema de otimização, estabeleceram-se: 1) a quantidade demandada total de consumidores representativos não pode ultrapassar a disponibilidade hídrica total do ano em estudo e 2) os preços relacionam-se com as quantidades demandadas através de funções de demanda com elasticidades-preço constantes. As variáveis de decisão são os preços dados em blocos tarifários crescentes e as quantidades demandadas de consumidores representativos. O modelo é aplicado em abrangência municipal, em que a base de dados e o modelo são construídos a partir de consumidores representativos, com base no total do município dividido pela quantidade de consumidores, de acordo com cinco tipos (social, residencial, comercial, industrial e público), e por faixas de quantidades de consumo, no horizonte de um ano. O modelo geral é aplicado a partir de dois modelos específicos. O Modelo 1 é feito considerando a tarifa média e o Modelo 2 considera os blocos tarifários. Os resultados evidenciados no Modelo 1 revelam que a COMPESA atua num ponto Pareto dominado próximo da Fronteira privilegiando a capacidade de pagamento (função objetivo 1 – FO1) em detrimento ao desempenho financeiro (função objetivo 2 – FO2), e que é possível alterar significativamente a FO2 com pequena alteração na FO1 no ponto em que a COMPESA atua. À medida que vamos nos deslocando do Ponto de atuação da COMPESA ao Centro da Fronteira, é necessário cada vez mais abrir mão da FO1 para se obter mais FO2. Os resultados do Modelo 2 revelam que a estratégia de preços para se obter um ganho na Função Objetivo Financeira (F02) com perda na Função Objetivo Social (FO1) está associada a um aumento de preços seguido de redução no volume faturado ótimo.

Palavras-chave: Tarifa; Otimização Multiobjetivo; Água.

ABSTRACT

The challenges of universal basic sanitation services, along with the need to guarantee economic and financial balance for water production and distribution companies, which can make investments for expanding services feasible, are even larger in a context of water scarcity. The use of water pricing as a demand management tool can reconcile these multiple objectives, through the establishment of tariffs by municipality, based on models that consider more than one criteria. This work introduces a multiobjective optimization model to support the decision making of water pricing for municipalities in the state of Pernambuco. The two objective functions represent two optimization criteria: one expresses the company's revenue subtracted the costs (function to be maximized) and the other, the difference between the payment amount of the water bill and the consumers' ability to pay (function a minimized). How restriction to the optimization problem, it was established: 1) the total demanded quantity of representative consumers cannot exceed the total water availability of the year under study and 2) the prices are related to the demanded quantities through functions of demand with constant price elasticities. The decision variables are the prices given in increasing tariff blocks and the quantities demanded from representative consumers. The model is distributed in a municipal scope, in which the database and the model are built from representative consumers, based on the total of the municipality divided by the number of consumers, according to five types (social, residential, commercial, industrial and public), and by ranges of consumption quantities, in the horizon of one year. The general model is applied from two specific models. Model 1 is made considering the average tariff and Model 2 considers the tariff blocks. The results shown in Model 1 reveal that COMPESA operates in a Pareto dominated point close to the Border, favoring payment capacity (objective function 1 - FO1) over financial performance (objective function 2 - FO2), and that it is possible to significantly change the FO2 with small change in FO1 at the point where COMPESA acts. As we move from COMPESA's Point of Action to the Center of the Border, it is increasingly necessary to give up FO1 in order to obtain more FO2. The results of the Model 2 showed that a pricing strategy to obtain a gain in the Financial Objective Function (F02) with a loss in the Social Objective Function (FO1) is associated with increase in prices attended by a reduction in the optimal volume of water billed.

Keywords: Tariff; Multi-Objective Optimization; Water.

Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa com Regiões de Desenvolvimento do estado de Pernambuco 28
Figura 2 - Mapa das Unidades de Planejamento propostas para a atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco e Regiões de Desenvolvimento superpostas 30
Figura 3 – Fronteira de Pareto para problema multiobjetivo da tarifa média e ponto de atuação real da COMPESA 74
Figura 4 – Pontos ótimos A e B do modelo multiobjetivo com tarifas médias e ponto de atuação real da COMPESA 75
Figura 5 – Fronteira de Pareto para problema multiobjetivo com blocos tarifários 91
Figura 6 – Pontos ótimos C e D do modelo multiobjetivo com blocos tarifários 92

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Estrutura Tarifária da COMPESA 22
Tabela 2 - Distribuição da população e da produção do estado de Pernambuco por Região de Desenvolvimento (RD) 29
Tabela 3 – Resumo dos parâmetros usados no modelo e fonte dos dados utilizados..... 61
Tabela 4 – Divisão dos municípios por Regiões de Desenvolvimento com o código do GAMS 63
Tabela 5 – Valores das funções-objetivo obtidos com valores praticados pela COMPESA em 2010 67
Tabela 6 – Contribuições na Receita Direta de Água e no custo total do serviço da COMPESA em 2010 68
Tabela 7 – Capacidade de pagamento e pagamento de um consumidor representativo da COMPESA 69
Tabela 8 - Volume faturado em metros cúbicos e como percentual do total da COMPESA... 70
Tabela 9 – Tarifa Média e Despesa Total dos Serviços por metro cúbico faturado da COMPESA 71
Tabela 10 – Valores das Funções Objetivos Social (-FO1) e Financeira (FO2) por RDs..... 72
Tabela 11 – Valores das funções-objetivo obtidos com valores ótimos dos pontos A, B e COMPESA 76
Tabela 12 – Diferença entre os pontos B e A da Receita Direta de Água e do custo total do serviço 77
Tabela 13 – Diferença (B-A) de pagamento para consumidores representativos 78
Tabela 14 – Diferença (B-A) de volume faturado em metros cúbicos 79
Tabela 15 – Diferença (B-A) de Preço Ótimo Médio e Custo Ótimo por Metro Cúbico Faturado da COMPESA 80
Tabela 16 – Diferença (B-A) e (A-COMPESA) da Função Objetivo Social (FO1) e da Função Objetivo Financeira (FO2) em R$ por Região de Desenvolvimento 82
Tabela 17 – Crescimento dos preços ótimos e do Custo ótimo no Ponto A em relação ao ponto de atuação da COMPESA 84
Tabela 18 - Crescimento da Receita Direta de Água e do Custo no Ponto A em relação ao ponto de atuação da COMPESA 85
Tabela 19 - Crescimento de Volume Faturado no Ponto A em relação ao ponto de atuação da COMPESA 86
Tabela 20 - Crescimento dos preços ótimos e do Custo ótimo no Ponto B em relação ao ponto de atuação da COMPESA 87
Tabela 21 – Crescimento da Receita Direta de Água ótima e do Custo ótimo no Ponto A em relação ao ponto de atuação da COMPESA 88
Tabela 22 - Crescimento (%) de Volume Faturado no Ponto B em relação ao ponto de atuação da COMPESA 89
Tabela 23 – Valores das funções-objetivo obtidos com valores ótimos dos pontos C e D. 93
Tabela 24 – Número de Municípios com consumo superior ao primeiro bloco tarifário 94

Tabela 25 – Preços de primeiro e segundo bloco tarifário no Ponto C para os municípios em que o consumo superou o primeiro bloco tarifário (em R$/m³ e % de variação) 96
Tabela 26 – Preços médios ótimos por metro cúbico no Ponto C (em R$/m³) 99
Tabela 27 – Volume faturado ótimo em milhões de metros cúbicos no ponto C 100
Tabela 28 – Preços de primeiro e segundo bloco tarifário no Ponto D para os municípios em que o consumo superou o primeiro bloco tarifário 101
Tabela 29 – Variação (em %) de preços médios ótimos do ponto C para o ponto D..... 102
Tabela 30 – Variação (em %) de volume faturado ótimo do ponto C para o ponto D..... 103
Tabela 31 – Variação (em %) da Receita Direta de Água e do Custo Total do Serviço do ponto C para o ponto D 104

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima

ARPE – Agência de Regulação de Pernambuco

ARSAE-MG – Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais

BNH – Banco Nacional de Habitação

CESB – Companhia Estadual de Saneamento Básico

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento

DTSPM3F – Despesa Total dos Serviços por Metro Cúbico Faturado

FO – Função-objetivo

GAMS – *General Algebraic Modeling System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IVA – Imposto sobre o Valor Agregado

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PIB – Produto Interno Bruto

PISF – Projeto de Integração do rio São Francisco

PLANASA – Plano Nacional de Saneamento

PPA – Plano Plurianual

PPU – Preços Públicos Unitários

RD – Região de desenvolvimento

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TMAE – Tarifa Média de Águas e Esgotos

VAB – Valor Adicionado Bruto

WACC – *Weighted Average Cost of Capital*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

1.1 OBJETIVOS 23

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E JUSTIFICATIVA 25

2.1 A GESTÃO DA DEMANDA E OS INSTRUMENTOS ECONÔMICOS 25
2.2 ESTUDO DE CASO 28
2.3 A TARIFAÇÃO DE ÁGUA TRATADA 33
2.4 SISTEMA DE TARIFAS POR BLOCOS 36
2.5 MÚLTIPLOS OBJETIVOS EM RECURSOS HÍDRICOS 38
2.6 CRITÉRIOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS TARIFÁRIAS NO SANEAMENTO 43
2.7 A CURVA DE DEMANDA POR ÁGUA TRATADA 46
2.8 OTIMIZAÇÃO 47

3 METODOLOGIA 50

3.1 OTIMIZAÇÃO COM MÚLTIPLOS OBJETIVOS 50
3.2 O MODELO DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO E A PLATAFORMA DE MODELAGEM GAMS 51
3.2.1 O modelo multiobjetivo para a identificação da tarifa ótima de água com blocos tarifários 51
3.2.1.1 Conjuntos, variáveis endógenas e variáveis exógenas (parâmetros) 51
3.2.1.2 Funções objetivo 54
3.2.1.3 Restrições do modelo 56
3.2.1.4 Notas adicionais do Modelo 1 (com tarifa média) 57
3.2.1.5 Notas adicionais do Modelo 2 (com bloco tarifário) 58
3.2.1.6 Problema de otimização não linear e solução 59
3.2.1.7 Base de dados 60
3.3 ASPECTOS CONCEITUAIS 62

4 RESULTADOS 66

4.1 RESULTADOS DAS FUNÇÕES-OBJETIVO CALCULADAS UTILIZANDO PREÇOS E TARIFAS MÉDIAS OBSERVADAS DA COMPESA NO ANO DE 2010 66
4.2 RESULTADOS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO USANDO TARIFAS MÉDIAS POR MUNICÍPIO COMO VARIÁVEL DE DECISÃO 72
4.2.1 Variação do ponto A (ótimo) em relação ao ponto de atuação da COMPESA (verificado) 83
4.2.2 Variação do ponto B (ótimo) em relação ao ponto de atuação da COMPESA (verificado) 86
4.3 MODELO MULTIOBJETIVO COM BLOCOS TARIFÁRIOS 90
4.3.1 Preços e consumo no ponto ótimo C 94
4.3.2 Preços e consumo no ponto ótimo D e o *trade-off* entre o ponto C e o ponto D 100

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 105

6 REFERÊNCIAS 109

APÊNDICE A (PARTE 1): PARÂMETROS USADOS NOS MODELOS MULTIOBJETIVO 118

APÊNDICE A (PARTE 2): PARÂMETROS USADOS NOS MODELOS MULTIOBJETIVO 124

APÊNDICE B (PARTE 1): VARIÁVEIS DE DECISÃO DO MODELO MULTIOBJETIVO (PONTO A) 130

APÊNDICE B (PARTE 2): VARIÁVEIS DE DECISÃO DO MODELO MULTIOBJETIVO (PONTO A) 137

APÊNDICE C (PARTE 1): VARIÁVEIS DE DECISÃO DO MODELO MULTIOBJETIVO (PONTO B) 144

APÊNDICE C (PARTE 2): VARIÁVEIS DE DECISÃO DO MODELO MULTIOBJETIVO (PONTO B) 151

APÊNDICE D (PARTE 1): VARIÁVEIS DE DECISÃO DO MODELO MULTIOBJETIVO (PONTO C) 158

APÊNDICE D (PARTE 2): VARIÁVEIS DE DECISÃO DO MODELO MULTIOBJETIVO (PONTO C) 165

APÊNDICE E (PARTE 1): VARIÁVEIS DE DECISÃO DO MODELO MULTIOBJETIVO (PONTO D) 171

APÊNDICE E (PARTE 2): VARIÁVEIS DE DECISÃO DO MODELO MULTIOBJETIVO (PONTO D) 178

1 INTRODUÇÃO

O uso da água para fins urbanos, domésticos e industriais é tipicamente sobrepujado pelo uso agrícola, especialmente em ambientes áridos e semiáridos. À medida que o número de retiradas para fins agrícolas cresce, levam a alterações do fluxo natural dos rios e, simultaneamente, exaurem e poluem os mananciais e aquíferos. Ao mesmo tempo, com a expansão das cidades e de suas economias, os usos urbanos também passam a demandar maiores disponibilidades e afetar a quantidade e a qualidade, impactando a qualidade ambiental e todos os demais usos econômicos, incluindo os agrícolas existentes e potenciais (MAYER, 2019).

Em 2020, o índice de atendimento urbano de águas brasileiro foi de 93,4%, enquanto o índice de atendimento de coleta de esgotamento sanitário foi de 63,2%, deste esgoto coletado, 79,8% foram tratados.[1] A necessidade de investimento para universalização dos serviços de esgotamento sanitário foi estimada em R$ 149,5 bilhões pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) em documento elaborado pela agência intitulado “Atlas Esgotos”. Deste montante, R$ 102 bilhões foram estimados como necessários para coleta e R$ 48 bilhões para tratamento do esgoto (ANA, 2017). Para garantir segurança hídrica nas sedes urbanas, é necessário um investimento de R$ 109,4 bilhões, sendo R$ 62,4 relacionados à produção e R$ 47 bilhões à distribuição de água (ANA, 2021).

O novo marco regulatório de saneamento básico do Brasil, aprovado recentemente (Lei 14.026/2020), contempla os serviços de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana, manejo dos resíduos sólidos e de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. O marco atribuiu metas desafiadoras para o setor, dentre elas: atendimento de 99% da população com água potável e 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até 2033. A depender da titularidade, as metas serão por município ou regionalizadas (para um conjunto de municípios). A Lei Complementar 455/2021 instituiu duas Microrregiões de Água e Esgoto e respectivas estruturas de governança em Pernambuco.[2] No caso da prestação do

[1] SNIS (2021), ano base 2020. Códigos e nomes dos indicadores: IN023 (Índice de atendimento urbano de água), IN024 (Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água) e IN016 (Índice de tratamento de esgoto).

[2] Integram a **Microrregião do Sertão**, o Estado de Pernambuco e os Municípios de Afrânio, Araripina, Bodocó, Cabrobó, Cedro, Dormentes, Exu, Granito, Ipubi, Lagoa Grande, Moreilândia, Orocó, Ouricuri, Parnamirim,

serviço regionalizada, a meta pode ser estendida até 2040, observando a viabilidade econômico-financeira e a modicidade tarifária.

Para Pernambuco, em 2020, os índices sinalizam um desafio ainda maior imposto pelas metas do novo marco regulatório: no estado o percentual de atendimento urbano de água é de 92,6%, o de coleta de esgoto (32,8%), sendo tratado 72,3% desse esgoto coletado.[3] As estimativas da ANA indicam a necessidade de investimentos da ordem de R$ 6,1 bilhões para coleta e R$ 3,8 bilhões para tratamento para se atingir a universalização dos serviços de esgotamento sanitário no estado em 2035. Deste valor, 97,4% referem-se aos municípios atendidos pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) (ANA, 2017).

A escassez de água em Pernambuco agrava a situação e deixa ainda maior o desafio. O valor de consumo médio per capita de água é o segundo menor entre os estados do Brasil em 2020 (103,5 litros por habitante ao dia), enquanto a média no mesmo ano, respectivamente, do Brasil e da região Nordeste foi de e 152,1 e 120,3. O estado com menor consumo médio foi a Paraíba com 102,4; e o maior foi o Mato Grosso, com 179,5.[4]

Além disso, vale ressaltar a ineficiência no setor de abastecimento de água no estado. O índice de perdas na distribuição no Brasil é de 40,1% e em Pernambuco, é de 49,9%, maior até

Petrolina, Salgueiro, Santa Cruz, Santa Filomena, Santa Maria da Boa Vista, São José do Belmonte, Serrita, Terra Nova, Trindade, Verdejante.
Integram a **Microrregião da RMR-Pajeú**, o Estado de Pernambuco e os Municípios de Abreu e Lima, Afogados da Ingazeira, Agrestina, Água Preta, Águas Belas, Alagoinha, Aliança, Altinho, Amaraji, Angelim, Araçoiaba, Arcoverde, Barra de Guabiraba, Barreiros, Belém de Maria, Belém de São Francisco, Belo Jardim, Betânia, Bezerros, Bom Conselho, Bom Jardim, Bonito, Brejão, Brejinho, Brejo da Madre de Deus, Buenos Aires, Buíque, Cabo de Santo Agostinho, Cachoeirinha, Caetés, Calçado, Calumbi, Camaragibe, Camocim de São Félix, Camutanga, Canhotinho, Capoeiras, Carnaíba, Carnaubeira da Penha, Carpina, Caruaru, Casinhas, Catende, Chã de Alegria, Chã Grande, Condado, Correntes, Cortês, Cumaru, Cupira, Custódia, Escada, Feira Nova, Fernando de Noronha, Ferreiros, Flores, Floresta, Frei Miguelinho, Gameleira, Garanhuns, Glória do Goitá, Goiana, Gravatá, Iati, Ibimirim, Ibirajuba, Igarassu, Iguaracy, Inajá, Ingazeira, Ipojuca, Itacuruba, Itaíba, Itamaracá, Itambé, Itapetim, Itapissuma, Itaquitinga, Jaboatão dos Guararapes, Jaqueira, Jataúba, Jatobá, João Alfredo, Joaquim Nabuco, Jucati, Jupi, Jurema, Lagoa de Itaenga, Lagoa do Carro, Lagoa do Ouro, Lagoa dos Gatos, Lajedo, Limoeiro, Macaparana, Machados, Manari, Maraial, Mirandiba, Moreno, Nazaré da Mata, Olinda, Orobó, Palmares, Palmeirina, Panelas, Paranatama, Passira, Paudalho, Paulista, Pedra, Pesqueira, Petrolândia, Poção, Pombos, Primavera, Quipapá, Quixaba, Recife, Riacho das Almas, Ribeirão, Rio Formoso, Sairé, Salgadinho, Saloá, Sanharó, Santa Cruz da Baixa Verde, Santa Cruz do Capibaribe, Santa Maria do Cambucá, Santa Terezinha, São Benedito do Sul, São Bento do Una, São Caitano, São João, São Joaquim do Monte, São José da Coroa Grande, São José do Egito, São Lourenço da Mata, São Vicente Ferrer, Serra Talhada, Sertânia, Sirinhaém, Solidão, Surubim, Tabira, Tacaimbó, Tacaratu, Tamandaré, Taquaritinga do Norte, Terezinha, Timbaúba, Toritama, Tracunhaém, Triunfo, Tupanatinga, Tuparetama, Venturosa, Vertente do Lério, Vertentes, Vicência, Vitória de Santo Antão, Xexéu.

[3] SNIS (2021), ano base 2020. Códigos e nomes dos indicadores: IN023 (Índice de atendimento urbano de água), IN024 (Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água) e IN016 (Índice de tratamento de esgoto).

[4] SNIS (2021), ano base 2020. Código e nome do indicador: IN022 (Consumo médio per capita de água).

que o insatisfatório índice da região Nordeste, que é 46,3%.[5] Outro indicador importante a ser comparado é a tarifa média de água e esgotos (em reais por metro cúbico) praticada em Pernambuco, de 3,84 R$/$m^3$. No Brasil, a tarifa média de água e esgoto é 3,98 R$/$m^3$.[6]

Em síntese, em relação ao Brasil, Pernambuco apresenta um dos menores consumo per capita entre os estados, ao mesmo tempo que apresenta valores requeridos de investimento em coleta e tratamento de esgotamento sanitário entre os mais elevados do país. As tarifas médias praticadas no estado são menores do que a média nacional, além de apresentarem maiores índices de perdas na distribuição de água quando comparados com a média nacional e nordestina. Estes são grandes desafios da gestão de águas urbanas no estado, que refletem diretamente na questão da universalização dos serviços de saneamento ambiental, bem como na questão social, dada a pouca capacidade de pagamento esperada dos usuários representativos nos municípios estudados. Estes fatores indicam que a gestão e regulação da água tratada no estado é complexa e deve se tornar ainda mais, necessitando cada vez mais de ferramentas analíticas e modelagens que possam apoiar o desenho dos instrumentos de gestão, em especial, os econômicos.

Estes instrumentos também necessitam ser desenhados e avaliados para apoiar a gestão da água bruta, que além de ser o principal insumo para a produção de água tratada, que abastece as populações e as atividades econômicas nos centros urbanos, é insumo para diversas atividades econômicas que a extraem diretamente do meio-ambiente. No Brasil, a lei 9.433/ 97 assegura prioridade para o abastecimento público, em casos de escassez, em relação aos demais setores econômicos que utilizam água bruta como insumo de produção. No entanto, ao garantir a prioridade ao abastecimento das populações alguns setores econômicos urbanos também são priorizados, mesmo muitas vezes, sendo menos eficientes que setores econômicos abastecidos diretamente com a água bruta. Uma alocação entre setores econômicos, que leve em conta a eficiência e ao mesmo tempo assegure o atendimento das famílias, é obtido através de uma gestão adequada de ambas: água bruta e da água tratada, já que a primeira é fator de produção desta última.

A gestão de demanda é uma abordagem complementar aos investimentos em infraestrutura hídrica, conhecida como gestão da oferta, que foca no desenho e avaliação de

[5] SNIS (2021), ano base 2020. Código e nome do indicador IN049 (Índice de perdas na distribuição).
[6] SNIS (2021), ano base 2020. Códigos e nomes dos indicadores IN004 (Tarifa média de água e esgoto).

instrumentos de gestão, em especial os econômicos, que promovam a flexibilidade e adaptabilidade necessárias diante do crescente stress e incerteza na disponibilidade hídrica e da necessidade de transferências crescentes de água entre bacias. Um aspecto importante é que sendo o setor de água tratada um dos usos da água bruta, a quem, em geral, se dá prioridade, as políticas de alocação precisam incentivar não só o setor de água bruta, mas o setor de água tratada também, na direção da eficiência econômica. Isto deve levar a redução de perdas e garantia do atendimento, bem como potencializar o desenvolvimento econômico mesmo em situações de escassez.

A ideia é que não só as instituições associadas à gestão de água bruta, mas também os agentes responsáveis pela produção e distribuição da água tratada possam também usar os instrumentos de gestão, em especial os econômicos, de forma a induzirem o uso eficiente e racional, pois os mesmos são admitidos em ambos os marcos regulatórios. A tarifação como instrumento de gestão de demanda de água tratada é muito importante, e vai requerer modelagem e avaliação dos impactos de diferentes estratégias de alocação visando a indução de um comportamento consciente dos usuários, proteção social e aspectos de sustentabilidade econômico-financeira, além da ambiental.

Neste contexto, o presente trabalho se propõe a desenvolver um modelo multiobjetivo, que identifique preços de tarifas ótimas em relação a dois objetivos potencialmente conflitantes: o de atender a capacidade de pagamento dos usuários e ao mesmo tempo e o de viabilizar o equilíbrio econômico-financeiro da empresa estadual, pretendendo contribuir assim na tomada de decisão das entidades reguladoras e das empresas estaduais que ofertam os serviços urbanos de abastecimento de água potável.

A questão da eficiência econômica ainda não vai ser considerada neste trabalho como um outro objetivo, mas pretende ser inserida bem como outros critérios, uma vez que a plataforma multiobjetivo tenha sido construída, seja testada e disponibilizada.

Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos é o sexto dos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) (UNITED NATIONS, 2017). A meta brasileira é alcançar o acesso universal e equitativo de água potável e segura até 2030 (UNITED NATIONS, 2017).

O ODS 6 é essencial para toda a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (UHLENBROOK, 2018). Existem interligações do ODS 6 com outros ODS, por exemplo,

quando se dá especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade, o ODS 6 se conecta ao ODS 5, que trata da igualdade de gênero. Os problemas de acesso, qualidade e quantidade da água afetam mais fortemente as parcelas da sociedade em situação de vulnerabilidade (ANA *et al.*, 2018). Com seu caráter transversal, a questão da água tratada pelo ODS6 é elemento central de temas relacionados com diversos outros ODS, a saber: o ODS2 (fome zero e agricultura sustentável), o ODS3 (saúde e bem-estar), o ODS7 (energia limpa e acessível), o ODS13 (ação contra a mudança global) e o ODS 14 (vida na água), entre outros (ANA, 2019).

Existem evidências empíricas de que a provisão de serviços de água encanada e esgotamento sanitário podem reduzir substancialmente a mortalidade infantil (ZWANE e KREMER, 2007). Com dados do Brasil, Gamper-Rabindran, Khan e Timmins (2010) analisaram o impacto da água encanada na taxa de mortalidade infantil e obtiveram os seguintes resultados: (1) o acesso a água encanada pode causar uma redução significativa na mortalidade infantil; e (2) o impacto de novas conexões será maior caso os recursos sejam direcionados para as comunidades mais desfavorecidas. Parte significativa da mortalidade infantil (10 milhões de crianças mortas por ano no mundo, sendo 127 mil no Brasil, em 2000) foi associada à diarreia, provocada pela ingestão de água contaminada, disponibilidade inadequada de água para higiene e falta de acesso ao saneamento (BLACK; MORRIS; BRYCE, 2003; KOSEK, *et al*., 2003).

O modelo do setor de abastecimento público brasileiro foi durante muitos anos uma herança do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), do período de 1970 a 1992 (BARBOSA; LIMA; BRUSCA, 2016). O PLANASA estabeleceu um modelo de gestão centralizada no Banco Nacional de Habitação (BNH) em termos de execução de política urbana de abastecimento de água e esgoto, tendo como principais diretrizes a progressão na cobertura dos serviços, instituir uma política tarifária para o setor e agrupar a prestação dos serviços em Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs); o número de pessoas atendidas entre o período 1970-1980 progrediu de 11,9 milhões para 49,6 milhões nos serviços de água, e de 6,1 milhões para 17,4 milhões em coleta de esgoto (FARIA; FARIA, 2004; PAGNOCCHESCHI, 2000).

No que diz respeito à política tarifária estabelecida no PLANASA, destacam-se os principais objetivos: promover autossustentação das CESBs; adequação dos níveis tarifários à capacidade de pagamento da população; equilíbrio entre receita e custo dos serviços; e remuneração anual de 12% sobre o investimento reconhecido (PEDROSA, 2001).

O decreto 82.587/78 regulamentou a Lei 6.528/78, que estabeleceu as normas tarifárias do setor hídrico até 1991, quando foi revogado, deixando as Companhias de Saneamento brasileiras descobertas. Algumas empresas, a exemplo da COMPESA, revisaram seus regulamentos de serviços e se basearam fortemente no texto do decreto 82.587/78 (ver o capítulo IV do decreto para questões tarifárias)

O PLANASA foi a principal ação de política pública de saneamento no período durante a sua vigência, assim como não houve uma outra política tão marcante nos anos seguintes. Com a Lei 11.445/2007, que estabeleceu as diretrizes nacionais do saneamento básico, regulamentada pelo decreto nº 7.217/2010, o setor formou novamente um marco regulatório, tendo como princípios fundamentais a busca pela universalização do serviço e pela eficiência.

O marco regulatório atual, aprovado recentemente na Câmara e Senado sob a Lei 14.026/2020, estabeleceu novas modificações em relação a esse marco regulatório anteriormente vigente no Brasil dado pela Lei 11.445/2007, através dos seguintes pontos: i)intensificação da busca por universalização e eficiência, através do estabelecimento de metas mais ousadas (alcance da universalização dos serviços de saneamento até 2033, e garantia de que 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% ao tratamento e à coleta de esgoto); ii) oferta de maiores possibilidade de participação ao setor privado nos serviços de água e esgoto (exigência de licitações que permitem empresas privadas competirem em igualdade de condições com as estatais, o que representa uma expressiva mudança, tendo em vista que até então as empresas estatais eram contratadas sem licitação para prestar serviços de saneamento básico); iii) instituição da ANA como órgão central e coordenador da regulação de saneamento no Brasil;[7] iv) possibilidade de municípios atuarem em blocos. A atuação em microrregiões divididas em blocos possibilita que municípios menores possam se unir em blocos para garantir a viabilidade econômico-financeira na oferta dos serviços de municípios deficitários, permitindo o subsídio cruzado entre municípios dentro do bloco.

A COMPESA foi fundada em 1971, atendendo a necessidade de se contar com um órgão único gestor no estado, a fim de assegurar o cumprimento do PLANASA (COMPESA, 2021).

Desde então, a companhia é responsável pelo fornecimento de água tratada e coleta de esgotos no estado, com atuação em 172 dos 185 municípios pernambucanos (COMPESA,

[7] Anteriormente, eram as agências reguladoras estaduais ou municipais que agiam sem coordenação e mais sujeitas a ingerência dos governos estaduais e municipais.

2021). A taxa de atendimento de água tratada no estado é de 81,68% para o total da população e 92,59% para a população urbana. A questão da coleta e tratamento de esgoto é mais crítica, a taxa de atendimento da coleta é 32,81%, sendo que do esgoto coletado, 72,32% são tratados (SNIS, 2021).

A questão da regulação dos preços da água tratada no estado é atribuição da Agência de Regulação de Pernambuco (ARPE). A agência é responsável por fixar, reajustar, revisar e homologar as tarifas de fornecimento de água e coleta de esgotos, conforme decreto estadual 40.256/2014. Além dos setores de abastecimento de água e esgotamento sanitário, a ARPE também atua também em outros setores regulados no estado (energia elétrica, transportes, loterias, gás natural e Organização da Sociedade Civil de Interesse Público).

As últimas metodologias tarifárias foram definidas pela ARPE em 2014 e 2018. Foi adotado um modelo híbrido de regulação econômico-financeira, voltado à recuperação dos custos, combinando a regulação por taxa de retorno[8], com o conceito de incentivo a eficiência da regulação *price cap*[9] (ARPE, 2014a, 2019). Optou-se por não reavaliar a estrutura tarifária na Revisão Tarifária de 2014, porém tornou-se explícita a necessidade de reconsiderar este item no futuro. A estrutura tarifária está relacionada com a estrutura dos blocos tarifários (e com os volumes faturados em cada bloco tarifário) e com a proporção de seus valores entre os tipos de consumidores. A ARPE definiu que "na fase inicial de aplicação da nova metodologia não será reformulada a atual estrutura de preços aplicada pelo prestador" (ARPE, 2014b, p. 6); e que "a reavaliação da atual estrutura tarifária representa uma necessidade que deve ser trabalhada, no passo seguinte do processo de modernização da política tarifária do setor de saneamento em Pernambuco" (ARPE, 2014b, p. 6). A última revisão tarifária (ARPE, 2018) também não contemplou alteração na estrutura tarifária, houve apenas um reposicionamento tarifário que considerou a cobertura dos custos operacionais, o retorno do capital sobre os investimentos

[8] Regulação por taxa de retorno (ou regulação por custo de serviço): "modelo em que as tarifas são definidas com base nos custos operacionais que estão sendo realizados pela Prestadora, adicionados de uma taxa de retorno, em geral fixada em regulamento, a ser aplicada sobre a base de ativos registrada na contabilidade." (ARPE, 2018, p. 3).

[9] Regulação por *price-cap* (ou preço-teto): "Modelo em que as tarifas são definidas com base em custos considerados ideais para a concessionária, projetados por técnicas de "empresa de referência" ou "benchmark", e a remuneração dos investimentos busca o máximo de precisão para a taxa de retorno (ativos atualizados e WACC)." (ARPE, 2018, p. 3). Sendo que WACC representa o Weighted Average Cost of Capital (ou custo médio ponderado do capital).

realizados e um "fator K", que foi definido a partir de metas regulatórias de incentivo à melhoria dos serviços.[10]

Para a produção e posterior distribuição da água tratada, utiliza-se água bruta com um dos principais insumos. O estado de Pernambuco, através da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), contratou uma empresa de consultoria para elaboração de estudo de mecanismos de cobrança pelo uso da água bruta em todo o estado, para subsidiar os decisores em relação aos preços a serem cobrados pelo uso da água. Trata-se de cobrança de água bruta, que por ser insumo pode impactar o setor de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Por enquanto, o estudo representa uma tentativa de implantação da cobrança no estado de Pernambuco, mas ainda depende de trâmites diversos, como Lei específica para implementação da cobrança, Decreto que regulamente a Lei, Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos que aprove a metodologia e valores, além da proposição de valores de parâmetros para o cálculo da cobrança pelos Comitês de Bacia Hidrográfica (APAC, 2018).

Este estudo, sugeriu um conjunto de três Preços Públicos Unitários (PPU) de referência: para: (i) captação superficial, num valor de R$ 0,036/m^3 outorgado[11]; (ii) captação de águas subterrâneas, num valor de R$ 0,050 /m^3 outorgado[12]; e (iii) vazão de diluição, num valor de R$ 0,0012/m^3 de vazão calculada de diluição[13]. A partir destes PPU de referência, verificou-se um limite de impacto no uso setorial de água nos setores de serviços de abastecimento de água e serviços de esgotamento sanitário, de irrigação e industrial, sendo o setor de irrigação o com maior impacto, de modo que, por tentativa (o impacto da cobrança não deveria estar muito superior a 5% dos Custos Operacionais Totais de cultivo), obteve-se multiplicadores nos valores de 1,5 e 2 aos PPU de referência (APAC, 2018).

Para o setor de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgotamento sanitário, o estudo em tela, apresenta informações resumidas do impacto da cobrança de água bruta nas tarifas médias de água e esgoto para o conjunto de todos os municípios de Pernambuco (que inclui os municípios atendidos pela COMPESA, assim como os municípios atendidos por serviços autônomos de águas e esgotos) e para alguns municípios específicos, considerando que

[10] O índice de reposicionamento tarifário foi calculado a partir de uma média ponderada do IPCA e do IGP-M do período (somado ou subtraído o fator K, que foi zero em 2014 e -0,005 em 2018).
[11] Captação de águas superficiais como sendo aquela aplicado na Bacia do Rio Doce.
[12] O valor da PPU para captação de águas subterrâneas superior ao do PPU da captação de águas superficiais sendo justificado pelos posicionamentos ao longo de consultas públicas e expectativas APAC e da Câmera Técnica de Águas Subterrâneas do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, no sentido de proteger das águas subterrâneas.
[13] Para a vazão de diluição, foi usado o valor aprovado para a Bacia do rio São Francisco.

será permitido às prestadoras de serviços repassar os PPU da captação de água bruta para os seus consumidores finais. Em termos de comprometimento da cobrança de água bruta em relação às tarifas médias de água e esgoto (TMAE), que é determinado pela razão cobrança por m^3/TMAE por m^3, obteve-se que, o impacto médio nas tarifas dos municípios seria de 3,95% caso fosse implantado o PPU de referência e 7,90% multiplicando o PPU de referência por 2 (APAC, 2018).

Seguindo a estrutura tarifária vigente, a COMPESA divide os consumidores em categorias cobrando preços diferenciados: comercial, industrial, Público (Administração Pública), residencial e residencial social. Nesta última, concede-se uma tarifa social com desconto de 80% para a tarifa de água em relação ao valor regular e isenção na tarifa de esgoto. Para se enquadrarem em tal categoria, os usuários devem possuir os seguintes requisitos: "apresentar média de consumo de água de até 10m^3 e de energia elétrica de até 80kWh; possuir renda no valor de até 1 (um) salário mínimo vigente; residir em imóvel compatível com a renda familiar" (COMPESA, 2017, p. 1).

Historicamente, as revisões tarifárias têm sido feitas a cada quatro anos em Pernambuco e têm alterado de forma quase linear as tarifas quando considerados os valores que são cobrados em cada uma das categorias e nas faixas de consumo, conforme pode ser visto na Tabela 1 nos anos de 2010 e 2019. Observa-se que não houve alterações em quantidades delimitando as faixas de consumo (ou blocos tarifários) assim como nas categorias de consumidores.

Por considerarem múltiplos objetivos estruturas tarifárias são muito complexas. Questões como: eficiência alocativa ou econômica; o custo-efetividade do abastecimento e distribuição das companhias de abastecimento; a universalização dos serviços e o respeito à capacidade de pagamento dos usuários precisam ser consideradas (MARTINS *et al.*, 2010).

Modelos de decisão multiobjetivo, tem a capacidade de combinar múltiplos objetivos. Usa o conceito de solução(ões) dominantes e dominada(s) para categorizar diferentes opções de estruturas tarifárias. Uma determinada solução (isto é, uma determinada estrutura de preços) pertence ao conjunto de soluções dominantes do problema se não for possível melhorar um dos objetivos sem piorar o valor de, pelo menos, um outro objetivo. Graficamente, o conjunto de soluções dominantes é representado através uma curva (dois objetivos) ou fronteira de Pareto.

Tabela 1 – Estrutura Tarifária da COMPESA

Água – Consumidores Residenciais Medidos			
Consumo (litros)	Valor (R$) em 2010	Valor (R$) em 2019	Variação %
Tarifa Social – até 10.000 litros/mês	5,25	9,22	76
Tarifa Normal – até 10.000 litros/mês	24,52	44,08	80
10.001 a 20.000 litros	2,81 por 1.000 l	5,05 por 1.000 l	80
20.001 a 30.000 litros	3,35 por 1.000 l	6,01 por 1.000 l	80
30.001 a 50.000 litros	4,60 por 1.000 l	8,27 por 1.000 l	80
50.001 a 90.000 litros	5,46 por 1.000 l	9,80 por 1.000 l	80
+ de 90.000 litros	10,48 por 1.000 l	18,83 por 1.000 l	80
Água – Consumidores não Residenciais Medidos			
Tarifa Comercial – até 10.000 litros/mês	36,07	64,84	80
Tarifa Comercial – acima de 10.000 litros/mês	7,15 por 1.000 l	12,85 por 1.000 l	80
Tarifa Industrial – até 10.000 litros/mês	45,20	81,25	80
Tarifa Industrial – acima de 10.000 litros/mês	9,58 por 1.000 l	17,22 por 1.000 l	80
Tarifa Pública – até 10.000 litros/mês	34,86	62,67	80
Tarifa Pública – acima de 10.000 litros/mês	5,29 por 1.000 l	9,50 por 1.000 l	80
Água – Consumidores não Medidos			
Tarifa Social	5,25	9,22	76
Tarifa Normal	24,52	44,08	80
Tarifa Comercial	36,07	64,84	80
Tarifa Industrial	45,20	81,25	80
Tarifa Pública	34,86	62,67	80

Fonte: adaptado da COMPESA.

Uma fronteira de Pareto corresponde a uma situação de compromisso (ou *trade-offs*) entre diferentes objetivos, ou seja, pode-se avaliar a troca (perda em um e ganho em outro) que existe entre os objetivos, ao se deslocar de um ponto a outro da curva. A visualização explícita desses *trade-offs* permite aos *stakeholders* verificar os impactos de diferentes estruturas de preços em cada um dos objetivos formulados. Sendo assim, os modelos multiobjetivo podem constituir-se e ser utilizados como importante instrumento de apoio a decisão sobre a política de preços aplicável sobre sistemas de saneamento ambiental de águas e esgotos.

A identificação de uma estrutura tarifária (isto é, definição de preços por faixas de consumo e por tipos de consumidores) para a água tratada que considere a saúde financeira das companhias de forma a preservar a sua capacidade de investimento e o respeito à capacidade de pagamento, baseada na renda dos usuários, é o problema que escolhemos resolver nesta tese. Outros objetivos como o do incentivo à eficiência no uso, são ainda mais complexos e podem ser incorporados na continuidade da pesquisa. Valores cobrados, identificados a partir do ótimo

econômico, são incentivos ao uso eficiente, tanto de forma direta como indireta, na medida em que tais valores afetam preços de outros bens, que usam a água como fator de produção.

Ao mesmo tempo, é importante assegurar resultados contábeis positivos, que ainda sejam capazes de viabilizar novos investimentos para a universalização e ao mesmo tempo levem em conta a capacidade de pagamento dos usuários.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é apresentar solução ótima com dois objetivos (capacidade de pagamento e desempenho financeiro) e então numa plataforma multiobjetivo contrapô-los, de forma a obter uma fronteira de Pareto de estruturas tarifárias para água tratada nos municípios de Pernambuco atendidos pela COMPESA. Uma vez obtida a integração desses dois problemas mono-objetivos numa mesma plataforma, posteriormente poderão ser introduzidos novos objetivos. Assim, os dois objetivos que serão incluídos inicialmente no modelo desta tese são maximizar: (i) a capacidade de pagamento dos usuários; e (ii) o resultado financeiro da COMPESA.

A partir de tal modelo, esta tese visa contribuir com a tomada de decisão referente à precificação da água para o abastecimento humano na área estudada, e sob o marco regulatório estadual existente, especialmente em estudos e resoluções como ARPE (2014a, 2014b, 2018, 2019). Espera-se contribuir, também, com a literatura acadêmica ao subsidiar o problema da tarifação de água com a abordagem de otimização multiobjetivo.

Como resultado será desenvolvida uma plataforma de apoio a decisão, que disponibilizará as soluções dominantes de estruturas tarifárias para o abastecimento humano, considerando os dois objetivos citados: minimizar a diferença entre o valor pago por um usuário representativo pela água e a sua capacidade de pagamento em cada um dos municípios atendidos pela COMPESA; e maximizar o resultado financeiro da COMPESA, determinado pelas receitas diretas menos os custos do serviço. O problema de otimização deverá atender às restrições de disponibilidade hídrica, de blocos tarifários crescentes e de atendimento às curvas de demanda dos consumidores. Os objetivos específicos necessários para se atingir o objetivo geral, são dados abaixo:

- Apresentar solução ótima para a estrutura tarifária do ponto de vista da capacidade de pagamento das famílias de cada município de Pernambucos atendido pela COMPESA.
- Apresentar solução ótima para a estrutura tarifária com objetivo de maximizar o desempenho financeiro da COMPESA atendendo aos municípios de Pernambucos considerados sendo atendidos pela companhia.
- Integrar os dois problemas mono-objetivos anteriores numa modelagem multiobjetivo e obter uma fronteira de Pareto, para identificação de estruturas tarifárias dominantes e dominadas.

Com tais objetivos realizados, e a partir dos resultados obtidos, pretende-se subsidiar os tomadores de decisão com relação à definição de estruturas tarifárias que sejam suficientes para cobrir custos de operação, manutenção e investimentos e ao mesmo tempo respeitar na medida do possível a capacidade de pagamento das famílias nos diversos municípios, com diferentes rendas médias. Essas estruturas tarifárias deverão dar resultados diferentes para cada município ou grupo de municípios dentro das diferentes RDs, o que pode subsidiar esquemas de subsídios cruzados e compensações, a ser definidos pela Companhia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E JUSTIFICATIVA

2.1 A GESTÃO DA DEMANDA E OS INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

A gestão de demanda tem como instrumentos os mecanismos regulatórios e econômicos para indução ao uso dos recursos hídricos de forma racional, eficiente no sentido econômico e sustentável. Os mecanismos regulatórios (abordagens de comando-e-controle) tais como outorgas e padrões de emissão, no caso da água bruta, são os mais utilizados atualmente em escala global na gestão de Recursos Hídricos. No entanto, instrumentos econômicos, tais como cobrança e mercados de água bruta, já são permitidos na maior parte dos países e podem influenciar diretamente no comportamento dos usuários (CANDIDO *et al.*, 2022). Quando bem desenhados, podem fornecer incentivos para o uso racional dos recursos hídricos. Diferentemente dos mercados, que ainda não são previstos na legislação em muitas partes do globo, a cobrança é um instrumento mais abrangente, mas apesar disso em nível global ainda é considerada subutilizada (GRIFFIN, 2006), no sentido de conseguir efetivamente induzir o comportamento eficiente.

Experiências internacionais na cobrança de água bruta indicam que, na maioria dos países, a cobrança é utilizada com objetivo principal de recuperar os custos da gestão dos recursos hídricos, resultando em valores das taxas muito baixos, que não induzem comportamentos eficientes. No Brasil, a maioria dos sistemas de cobrança de água bruta adotada também se baseia em considerações financeiras, como a receita requerida para operação e manutenção do sistema (ALCOFORADO DE MORAES *et al.*, 2015). As taxas cobradas têm se mostrado insuficientes para cobrir os custos de investimentos e programas de gestão previstos (SANTOS, 2010; SOUSA; RIBEIRO; VIEIRA, 2010).

Os mercados de água bruta ainda não são permitidos no Brasil, mas há um Projeto de Lei (495/2017), em discussão, que pode introduzi-los como instrumento de gestão para induzir o uso múltiplo e uma alocação mais eficiente dos recursos hídricos. Tal instrumento deve complementar a Política Nacional de Recursos Hídricos no que se refere a utilização de instrumentos econômicos, além da cobrança, que vem, como mencionado, ainda sendo subutilizada no país (CANDIDO *et al.*, 2022). Em apresentação no Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, um dos diretores da ANA, em 28 de novembro de 2019, contabilizou apenas

55 bacias estaduais com cobrança, dentre as 223 com comitês estabelecidos e no caso das federais apenas 6 dentre as 10 (CORDEIRO NETTO, 2019). O Projeto de Lei 4546/2021 contempla a cessão onerosa de recursos hídricos, mais especificamente prevê regras para a concessão dos serviços em atividades de gerenciamento, de política tarifária, além de definir deveres do poder público e da regulação do setor, e os direitos e obrigações das empresas e usuários.

De acordo com Griffin (2006), não só no Brasil, mas no mundo todo, entre os instrumentos de gestão de demanda para um uso eficiente da água, considera-se que a precificação atinge pouco os seus objetivos. As dificuldades na determinação dos valores a cobrar, que realmente induzam benefícios econômicos e considerem múltiplos objetivos, frequentemente conflitantes, é apontada como uma das razões para esta baixa utilização e eficácia do instrumento. A aplicação da precificação de água não só para a água bruta, mas também para a água tratada, tem sido objeto de estudo por diversos pesquisadores e organizações. (PULIDO-VELAZQUEZ; ALVAREZ-MENDIOLA; ANDREU, 2013; LOPEZ-NICOLAS *et al.*, 2018).

No caso da água tratada e distribuída para o abastecimento público, a cobrança é duplamente importante. Por um lado, o preço da água bruta influi na eficiência desse setor, pois constitui-se em insumo para o produto final (água tratada), e a questão tarifária da água já tratada produzida para o consumidor final, por outro lado, relaciona-se com a eficiência no uso, acessibilidade econômica e universal aos usuários desse serviço tão fundamental à dignidade humana.

Os valores a se cobrar de forma a realmente induzir benefícios econômicos e reduzir custos bem como levar em conta implicações distributivas relacionadas ao aumento dos preços dos produtos que utilizam a água como insumo, tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores e organizações. (PULIDO-VELAZQUEZ; ALVAREZ-MENDIOLA; ANDREU, 2013; MACIAN-SORRIBES; PULIDO-VELAZQUEZ; TILMANT, 2015; LOPEZ-NICOLAS *et al.*, 2018) Os valores cobrados afetam as empresas responsáveis pela distribuição e abastecimento, que precisam cobrir os seus custos e são importantes instrumentos de alocação da água entre os setores econômicos, tanto de forma direta como indireta, na medida em que essas taxas afetam preços de outros bens que usam a água como fator de produção. O conhecimento do custo total (custos financeiros tais como os custos de operação e manutenção das companhias, instalação, retorno do capital; bem como os econômicos: custos de

oportunidade, preços-sombra e externalidades econômica e ambientais) é fundamental para a definição do preço da água. A mensuração do custo real do recurso é que deve dar sinais aos usuários, de forma a incentivá-los ao uso eficiente, ou seja, a alocação do recurso em usos mais valiosos (ROGERS; SILVA; BHATIA, 2002).

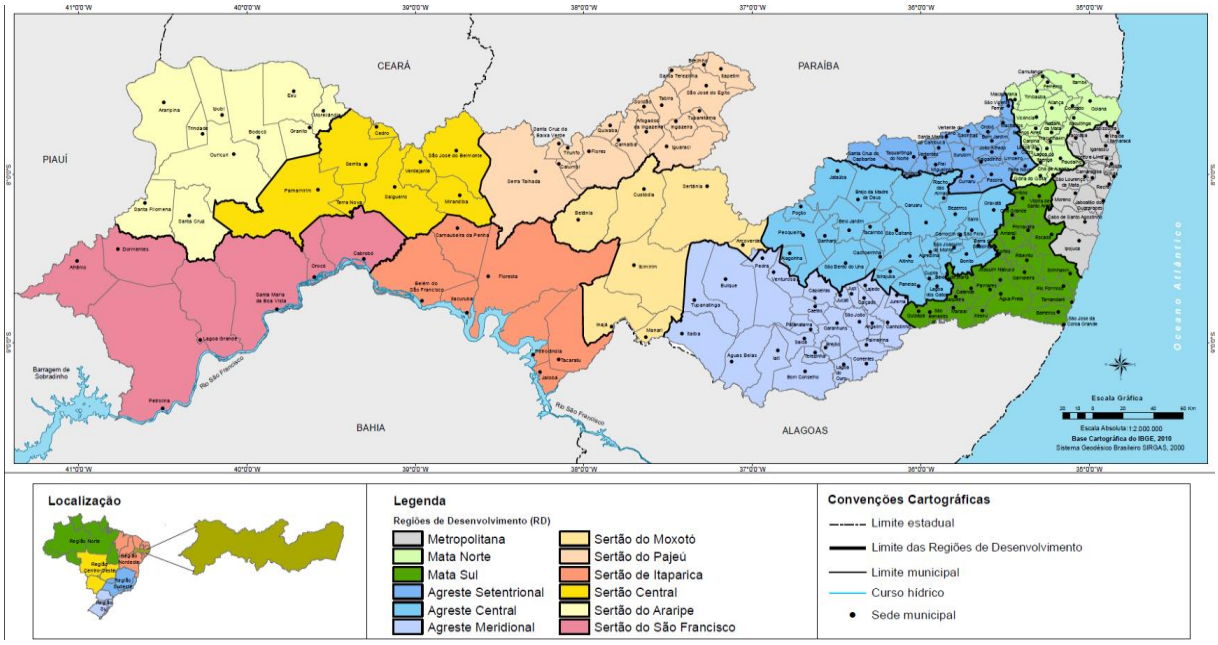
As revisões tarifárias de saneamento no Brasil têm permitido práticas com valores de tarifas que deixam muitas vezes as empresas estaduais de saneamento em situações deficitárias ou com baixa capacidade de efetuar investimentos. De maneira geral, segundo Araújo e Bertussi (2018), as entidades reguladoras têm apresentado dificuldades em identificar tarifas que assegurem o equilíbrio econômico-financeiro das empresas estaduais. Para Faria, Nogueira e Muller (2005), o modelo de regulação (inclusive econômica e tarifária), adotado no Brasil para os serviços de abastecimento urbano de água e esgotamento sanitário tem resultado em um equilíbrio de baixo nível, caracterizado principalmente por oportunismo do governo, preços estabelecidos menores que o custo de fornecimento, ausência de investimentos e baixa qualidade dos serviços (por exemplo, baixa cobertura no atendimento e irregularidade nos serviços). Neste sentido, segundo os autores, o equilíbrio econômico das empresas estaduais estaria sendo preterido em relação à modicidade tarifária (ARAÚJO; BERTUSSI, 2018). Esta última leva em conta a capacidade de pagamento dos usuários diante dos valores a se cobrar. Uma tarifa acima do que o indivíduo pode pagar pode excluir parte da população da utilização da rede de abastecimento de água. Por exemplo, a COMPESA concede tarifa social com desconto de até 80% para a tarifa de água e isenção da tarifa de esgoto, desde que o usuário possua os seguintes requisitos: “apresentar média de consumo de água de até 10m^3 e de energia elétrica de até 80kWh; possuir contracheque; benefício social ou benefício previdenciário, no valor de até 1 (um) salário mínimo vigente; ser proprietário de um único imóvel; residir em imóvel com padrão compatível com a renda familiar.” (COMPESA, 2017)

Ao mesmo tempo existe um déficit relevante na cobertura dos serviços na área urbana do estado de Pernambuco, reflexo da baixa capacidade de investimento resultante do equilíbrio econômico-financeiro de baixo nível. Na capital, Recife, o índice de atendimento urbano de água é de 89,45% (SNIS, 2021). Para Carvalho e Sampaio (2015), o déficit histórico brasileiro tem um impacto negativo direto sobre a qualidade de vida, com impactos nas áreas de saúde, meio ambiente, e economia. Para Faria, Nogueira e Muller (2005), o baixo nível dos serviços de saneamento é mais intensificado em municípios e estados com menores capacidades de pagamento.

2.2 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso será o estado de Pernambuco, que dispõe de 169 sistemas de abastecimento de água, sendo 156 de responsabilidade da COMPESA, conforme obtido por Santos (2020) em consulta direta à COMPESA. O abastecimento de água não será representado através de uma rede física, pois seria necessário ter informações detalhadas da distribuição física como: municípios atendidos por sistema produtor e de tratamento, capacidade dos sistemas, possibilidades de abastecimento dos municípios por mais de um sistema e interligação dos sistemas. Para o estado será considerado uma disponibilidade hídrica total única, com base nos dados da COMPESA de volume consumido no ano estudado, como se os sistemas produtores fossem todos perfeitamente interligados abastecendo os municípios atendidos pela COMPESA. Estes terão capacidades de pagamento diferenciados dependendo da renda média de cada município. Os resultados dos preços ótimos seriam assim obtidos por município atendido pela COMPESA.

Figura 1 – Mapa com Regiões de Desenvolvimento do estado de Pernambuco



Fonte: Agência CONDEPE/FIDEM - DERU/DSDI - "Pernambuco em Mapas", 2011. Lei Estadual 12.427/09/2003.

Conforme a Lei Estadual 12.427/2003, o estado de Pernambuco pode ser distribuído em 12 (doze) Regiões de Desenvolvimento (RD)[14]. O objetivo desta distribuição é promover a diminuição das disparidades no âmbito do estado, permitindo o desenvolvimento regional dentro do estado através de oportunidades locais a partir deste marco territorial (PERNAMBUCO, 2006). A Figura 1 consiste no mapa de Pernambuco com divisão por RD.

Conforme APAC (2013), Pernambuco apresenta 70% de sua área total com clima do tipo semiárido (sertões Pernambucanos e parte do Agreste), com índices pluviométricos anuais, oscilando entre 500 e 800 mm; as outras localidades apresentam climas sub-úmido no agreste e úmido na zona da mata e litoral, com índices pluviométricos acima de 1000 mm.

Tabela 2 - Distribuição da população e da produção do estado de Pernambuco por Região de Desenvolvimento (RD)

RD	População (hab.)	População (%)	PIB 2010 (mil reais)	PIB 2010 (%)	PIB per capita 2010	% VAB Agro-pecuária	% VAB Indústria	% VAB Serviços
Agreste Central	1.048.968	11,92	7.883.083	8,11	7.514	8,17	13,16	78,67
Agreste Meridional	641.727	7,30	3.547.333	3,65	5.534	12,67	7,77	79,56
Agreste Setentrional	526.905	5,99	3.127.048	3,22	5.933	8,99	12,76	78,25
Mata Norte	577.191	6,56	4.486.616	4,62	7.765	16,06	19,35	64,59
Mata Sul	733.447	8,34	5.409.673	5,57	7.371	12,73	16,43	70,84
Metropolitana	3.693.177	41,98	60.927.722	62,69	16.507	0,44	25,46	74,10
Pajeú	314.603	3,58	1.783.461	1,84	5.668	6,18	9,43	84,39
Sertão Central	171.307	1,95	1.364.286	1,40	7.964	4,45	36,16	59,38
Sertão de Itaparica	134.212	1,53	1.500.805	1,54	11.182	5,15	50,64	44,20
Sertão do Araripe	307.642	3,50	1.526.607	1,57	4.962	8,73	13,63	77,64
Sertão do Moxotó	212.556	2,42	1.233.109	1,27	5.778	10,82	10,16	79,02
Sertão do S. Francisco	434.713	4,94	4.400.016	4,53	10.119	18,60	17,35	64,05
Total	8.796.448	100,00	97.189.760	100,00	11.049	4,78	21,93	73,29

Fonte: Censo (2010) e Agência CONDEPE/FIDEM/DEPE/DEPS/GEEC/Contas Regionais.

Conforme apresentado na Tabela 2, existe uma concentração significativa da população na Região Metropolitana, que compreende os municípios de Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Igarassu, Ipojuca, Itamaracá, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife, São Lourenço da Mata e Fernando de Noronha.

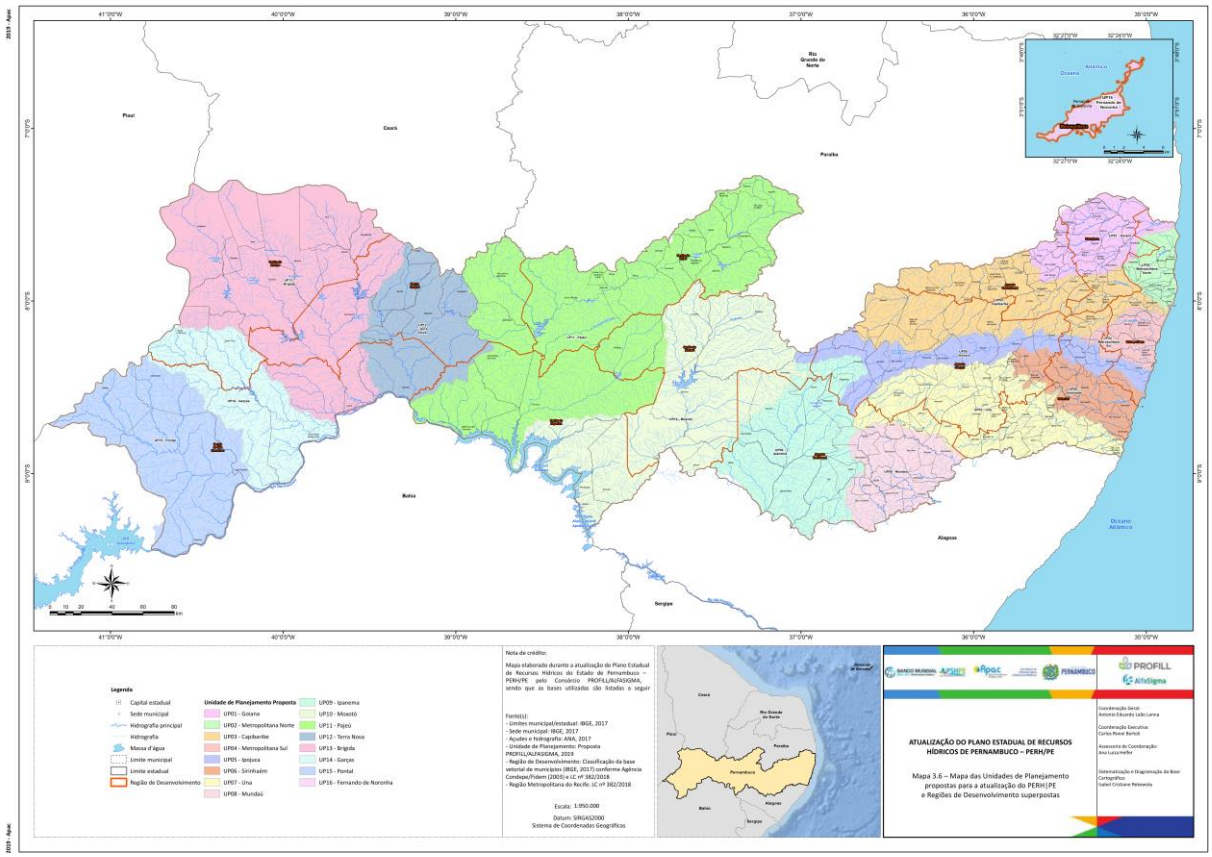
[14] A Lei estadual 11.725/1999, que dispõe sobre o Plano Plurianual (PPA) do estado de Pernambuco para o quadriênio 2000-2003, divide Pernambuco em 10 RDs. Posteriormente, a Lei estadual 12.427/2003 (PPA 2004-2007) efetua uma divisão em 12 RDs.

Esta região concentra 62,69% do PIB do estado, sendo a RD com maior Produto Interno Bruto (PIB) per capita (R$ 16.507).

O Sertão de Itaparica, á a região com menor população, com 1,53% e o com segundo maior PIB per capita (R$ 11.182). Todas as demais RDs apresentam PIB per capita menor que a do estado inteiro.

A segunda RD com maior concentração populacional é o Agreste Central, com 11,92% da população de Pernambuco. A composição do Valor Adicionado Bruto (VAB) do estado correspondem a 4,78% para agropecuária, 21,93% para indústria e 73,29% para serviços.

Figura 2 - Mapa das Unidades de Planejamento propostas para a atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco e Regiões de Desenvolvimento superpostas



Fonte: (APAC, 2020)

Com respeito ao planejamento dos recursos hídricos, o estado é dividido em 16 unidades de planejamento, conforme Figura 2, que representa uma proposta para o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (APAC, 2020). O referido plano é normatizado pela Lei 12.984 de 2005 (PERNAMBUCO, 2005). As demandas por abastecimento humano concentram-se principalmente nas Bacias Hidrográficas do Capibaribe, pequenas Bacias Litorâneas, Ipojuca, Goiana, Una e Pajeú (APAC, 2013).

A Figura 2 também representa a superposição das Regiões de Desenvolvimento em relação às Unidades de Planejamento. Na prática, os resultados apresentados no modelo desenvolvido neste estudo estão em nível municipal e apresentados de forma agregada em Regiões de Desenvolvimento. Cabe ressaltar que por estarem em nível mais desagregado (municipal), é possível efetuar a agregação para outros níveis, como unidades de planejamento ou microrregiões, dentre outros que sejam compatíveis a agregação a partir dos municípios.

A demanda por água no meio urbano de Pernambuco é diretamente influenciada por diversos fatores, como:

> clima, padrão de vida dos habitantes, hábitos da população, tipo de cobrança (com ou sem medição), qualidade da água fornecida, tarifas cobradas, pressões nas redes, densidade de consumo comercial, densidade de consumo industrial, consumo público, perdas do sistema, existência de redes de esgotos sanitários, etc. (APAC, 2013, p. 46).

O estado vem recebendo investimentos em infraestrutura hídrica consideráveis para resolver problemas de escassez, em especial no Agreste Pernambucano, região que apresenta o pior balanço hídrico do país[15], PIB per capita abaixo da média estadual (conforme pode ser visto na Tabela 2 pelas RDs Agreste Central, Agreste Meridional e Agreste Setentrional), mas que concentra uma parcela expressiva da população e renda de Pernambuco.

O Agreste localiza-se entre a Zona da Mata e o Sertão, e apesar de ter um maior índice pluviométrico que este último, já vem sendo chamada de “Novo Sertão” por ter sido mais impactada que o mesmo na seca iniciada em 2011, devido à falta de fontes de oferta e sua alta demanda. A região é mais densamente povoada que o Sertão e possui baixa capacidade de armazenamento hídrico, conforme informações da (RTI INTERNATIONAL, 2016).

[15] Balanço hídrico em sistemas de abastecimento de água tratada considera a quantidade de água que entra no sistema, inclusive a água importada e quantidade de água que sai do sistema para atender a demanda através da água consumida e das perdas.

No entanto, a região mesmo tendo sido duramente afetada pelo evento extremo nos primeiros anos da década encerrada em 2014, teve desempenho econômico surpreendente na mesma (ALCOFORADO DE MORAES, 2017). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) coletados no Censo: sem nenhum investimento estruturador de peso e infraestrutura precária, foi a região de Pernambuco que mais aumentou a participação no PIB estadual (5,2% ao ano). O aumento médio anual na mesma década no estado foi 4,1% e da Região Metropolitana do Recife (3,9%). Segundo a autora, o Agreste diante da escassez, tornou o uso da água mais eficiente, reduziu as perdas e transferiu os recursos escassos para setores que agregam um maior valor para a sociedade (ALCOFORADO DE MORAES, 2017).

Com a mais importante obra hídrica do estado, a chamada Adutora do Agreste, pretende-se resolver os problemas de abastecimento humano da região, interligando para isso as bacias dos rios Ipojuca, Una e Capibaribe entre si e recebendo as águas do eixo leste do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF), através do chamado Ramal do Agreste. Este projeto é de extrema importância, visto que reduzirá a incerteza hídrica em que vive a região. Atuando no lado da oferta de água, as obras hídricas garantem a disponibilidade temporal e espacial do recurso e são extremamente necessárias, mas não são suficientes, pois requerem estratégias complementares de gestão de demanda de forma a assegurar e manter a disponibilidade hídrica (ALCOFORADO DE MORAES; CUNHA, 2018)

A identificação de preços que deem aos usuários sinais da real situação de escassez hídrica é necessária especialmente em contextos em que grandes investimentos nas infraestruturas já foram feitos e a oferta torna-se inelástica. À medida que o uso da água bruta aumenta e os custos para obtê-la em novas fontes são crescentes, a definição do seu preço com base em valores econômicos torna-se fundamental para equilibrar os conflitos entre os usuários (RANDALL, 1981).

A oferta de água tratada, economicamente acessível para as famílias depende, além do desenvolvimento de infraestrutura e da alocação eficiente de água bruta (insumo para a produção de água tratada) entre os setores econômicos, da precificação da água tratada para os diversos usos (SZABÓ, 2015). Uma adequada precificação deve incentivar também em áreas urbanas o desenvolvimento de setores econômicos menos intensivos em água, levando a um futuro sustentável.

Como uma contribuição à gestão de demanda, este trabalho se propõe a desenvolver um modelo multiobjetivo que vai incorporar diversos critérios na definição de preços do um sistema de água e esgoto para abastecimento humano, para todos os municípios do estado atendidos pela COMPESA. Inicialmente a plataforma considerará os critérios conflitantes de suficiência de receita por parte da companhia de abastecimento e acessibilidade econômica (capacidade de pagamento), baseado na renda média dos consumidores dos municípios. Os dois objetivos serão considerados num modelo único com vistas a identificar preços ótimos para cada um dos municípios atendidos pela COMPESA: i) de acordo com cada um dos objetivos, ii) de acordo com uma combinação ponderada dos objetivos. Como restrições do problema, foram incluídos o atendimento a blocos tarifários crescentes, a quantidade total de água tratada demandada pelos municípios satisfazendo a disponibilidade hídrica da COMPESA e as funções de demanda (quantidade em função dos preços) dos consumidores representativos por setor (residencial, residencial social, comercial, industrial e público).

A Fronteira de Pareto será obtida através de pontos que atendem a cada um dos critérios representados por duas Funções-objetivo (FOs), a partir do limite mínimo do valor do outro critério, ou seja, da outra FO[16]. A partir de duas soluções de preços ótimos na fronteira, *trade-offs* entre os mesmos poderão ser identificados, usando então a modelagem.

De acordo com Walski (2001) e Savić (2002), os modelos multiobjetivo têm características promissoras, mesmo tendo maior complexidade do que abordagens equivalentes como as usadas nos modelos de otimização mono-objetivo. A importância desse estudo é introduzir tal abordagem de otimização multiobjetivo na identificação de preços de água tratada.

2.3 A TARIFAÇÃO DE ÁGUA TRATADA

Em estruturas tarifárias de água Griffin (2006) relata alguns dos objetivos, que idealmente devem ser perseguidos: i) suficiência de receita; ii) eficiência econômica; iii) equidade e justiça; iv) simplicidade; v) legalidade.

[16] Esta é uma das técnicas de solução de problemas multiobjetivo, conforme RAO (2009).

Contudo tais objetivos, em geral, são conflitantes, e por isso considerá-los ao mesmo tempo, colocando-os todos em prática pode ser difícil.

A suficiência da receita é uma prioridade, dado que o orçamento da fornecedora precisa estar equilibrado para que sejam cumpridas suas obrigações financeiras, tanto de curto quanto de longo prazo (LOPEZ-NICOLAS *et al.*, 2018). Uma questão que limita a proposta de tarifa é a medição. Sem medição adequada, os consumidores pagam uma taxa fixa, qualquer que seja o seu consumo (WHITTINGTON; BOLAND; FOSTER, 2002).

A questão da eficiência econômica diz respeito à equimarginalidade dos benefícios marginais dos indivíduos, e pode ser obtida através da maximização dos benefícios dos usuários da água, como em modelos de equilíbrio geral e incorporando certas restrições, como em modelos hidroeconômicos.

As restrições são necessárias, pois o conceito de eficiência econômica, mesmo em condições de competição perfeita, não soluciona questões de equidade ou justiça social de uma alocação. A teoria microeconômica, com o Primeiro Teorema do Bem-Estar, estabelece que em um equilíbrio competitivo, não é possível melhorar a vida do conjunto dos consumidores sem piorar a vida desse mesmo agregado (MAS-COLELL; WHINSTON; GREEN, 1995; VARIAN, 1992). Mas os aspectos distributivos não são considerados nesse ponto de eficiência. Pressupõe-se que os que ganham devem compensar os que perdem.

O caso da alocação de águas quebra alguns dos pressupostos do Primeiro Teorema do Bem-Estar, resultando que a eficiência econômica não seria atingida naturalmente, a partir da interação entre os produtores e os consumidores neste mercado. As chamadas falhas de mercado tais como: a presença de externalidades, características de bem público em vários de seus usos, etc. estão presentes no caso da água, o que implica que a regulação é requerida e que os agentes econômicos por si só não atingem a alocação econômica ótima.

No caso do uso da água para o abastecimento urbano, o bem se constitui em privado puro (com as características de rivalidade e exclusão no uso), mas é caracterizado como um monopólio natural pelos elevados custos em infraestrutura, o que inviabiliza os ganhos da competição de mais de um fornecedor. Neste sentido, se faz necessária a regulação econômica, com o intuito de estabelecer preços (que não emergem naturalmente do mercado) para incentivar a eficiência econômica, sem deixar de considerar a questão da equidade e justiça social.

Pelo acesso a água ser um direito humano, a questão social envolvendo capacidade de pagamento, em especial, de famílias de baixa renda é legítima, sem deixar de atentar para o fato de que políticas de precificação não tem vantagem comparativa para corrigir desigualdades de renda. Segundo (GRIFFIN, 2001) esta questão pode ser prejudicial para eficiência e objetivos de conservação da água.

Em Vásquez e Alicea-Planas (2017), foi encontrada frequência de ocorrência de não pagamento inversamente associada à satisfação do consumidor com a qualidade atual do serviço de água e renda familiar na Nicarágua. Ademais, em Vásquez (2015) não se encontrou nenhuma evidência entre a relação de falta de pagamento com a renda familiar; o comportamento de não pagamento foi associado a uma demonstração da insatisfação do consumidor com os atuais serviços de água; e a quantidade de pagamentos de contas pendentes também foi associada à falta de confiabilidade do sistema.

Para Szabó e Ujhelyi (2015) o aumento da informação dos consumidores ou aumento da fiscalização só funciona no curto prazo para evitar não pagamentos, fornecendo evidências de que outras estratégias, além do aumento da fiscalização, podem reduzir a falta de pagamento.

As etapas da precificação da água foram bem estabelecidas por Raftelis (1993) e Griffin (2006), consistindo em levantar as receitas requeridas para as metas estabelecidas para o próximo período, estimar os custos do serviço para cada tipo de consumidor e definir como as estruturas tarifárias serão cobradas dos consumidores em termos de blocos de consumo.

Um cenário possível é que em países onde a universalização do serviço ainda não ocorreu, as novas ligações sejam deficitárias, no sentido que necessitam de altos custos com investimentos em infraestrutura e de elevados custos de operação e manutenção, de modo que as famílias com rendas mais baixas podem não ser capazes de pagar os novos custos por elas mesmas. Logo, para se promover a universalização, pode ser necessário que a regulação imponha um mecanismo de assegurar o acesso ao sistema de águas.

O modelo multiobjetivo desenvolvido no presente estudo permite comparar diversas estruturas tarifárias (valores limites dos blocos poderão ser alterados em cenários) e preços ótimos para cada bloco entre si, e com a prática atual da COMPESA evidenciando os *trade-off*s existentes entre dois importantes objetivos. Além disso, cada uma dessas estratégias de precificação poderá ser categorizada como sendo uma solução dominada ou dominante em relação a esses dois objetivos. É uma situação em que se usa da estrutura tarifária vigente na

COMPESA para se calcular um conjunto de preços (e, dadas as funções de demanda, as alocações de cada usuário). Adicionalmente, alterações nos limites dos blocos tarifários podem ser utilizados para se obter novos cenários. Também será possível verificar receitas diretas de águas, custo estimado do serviço, além dos dois objetivos (que tratam de resultado financeiro e capacidade de pagamento dos consumidores).

Araújo e Bertussi (2018) efetuaram um estudo sobre diversos sistemas tarifários praticados por empresas estaduais de saneamento no Brasil, calculando também seus indicadores financeiros. Constataram que o equilíbrio econômico-financeiro vem sendo preterido em relação à modicidade tarifária. Ainda que os conflitos entre capacidade de pagamento dos consumidores e equilíbrio financeiro adequado para oferta de serviços de maneira adequada já tenha sido, de algum modo, alçado tanto na literatura quanto nos estudos tarifários das entidades reguladoras, a evidência deste conflito através de um problema multiobjetivo, como proposto no presente estudo, deverá auxiliar no apoio a decisão e na discussão, através da mensuração dos *trade-offs* existentes.

2.4 SISTEMA DE TARIFAS POR BLOCOS

A preocupação com a questão da viabilidade financeira das companhias de produção e distribuição de água tratada, ao mesmo tempo em que se requer equidade e justiça social no acesso ao recurso, leva a complexidade nas estruturas tarifárias aplicadas à água potável. Grande parte das estruturas tarifárias das companhias usa a chamada tarifação por blocos.

Uma estrutura de blocos tarifários é aquela em que, para cada categoria de consumidor, o preço é constante para cada bloco de quantidade consumida. Há basicamente três modalidades dessa estrutura relativa à variação dos preços em cada bloco: i) a taxa é fixa e o preço segue constante para qualquer quantidade consumida, havendo um único bloco; ii) a Taxa de Bloco Decrescente ocorre quando o preço cai ao mudar para um bloco de consumo maior; iii) a Taxa de Bloco Crescente consiste na elevação do preço quando o bloco de consumo é maior.

Nas experiências internacionais, de países em diferentes estágios de desenvolvimento, existem alguns perfis de estruturas de tarifação de água, a saber: i) água livre ilimitada (na Tanzânia antes de 1991 e Irlanda, que representaria uma tarifa direta de água igual a zero, sendo

que o serviço é financiada pelos impostos, portanto sem incentivo de restrição de consumo); ii) água livre limitada a um limite de consumo (na região de Flandres, Bélgica, em que cada habitante tem o consumo dos primeiros 15 m³ de água por ano sem cobrança, sendo cobrado ao que exceder este limite num mecanismo de subsídios cruzados); iii) taxas marginais zero com taxas fixas (Índia, Paquistão, Zimbábue, Quênia, em que os consumidores pagam uma taxa fixa e não são cobrados pela quantidade consumida); iv) taxas uniformes ou fixas (Uganda, em que o preço marginal é constante); v) Taxas do tipo Imposto sobre o Valor Agregado (IVA) reduzidas (10 estados membros da União Europeia, sendo aplicado um IVA padrão a toda água ofertada para consumo), vi) bloco padrão de preços com vários níveis (Gana, Costa do Marfim, dentre outros), podendo apresentar isenções específicas para famílias de baixa renda (Brasil) (SZABÓ, 2015; DIGE *et al.*, 2013).

As Tarifas de Blocos Crescentes tornaram-se amplamente implementadas, e recomendadas, pois são vistas como mais justas e economicamente mais eficientes na gestão da água, tendo seus incentivos ao uso eficiente de água ainda mais forte em regiões com escassez hídrica (MARTINS; FORTUNATO, 2007; MADHOO, 2011; WARD; PULIDO-VELAZQUEZ, 2009).

No entanto, a Tarifa de Bloco Crescente já foi questionada, por ter alguns efeitos adversos, a saber: as famílias mais pobres seriam mais pressionadas a pagarem contas usando os blocos mais altos (preços marginais maiores), pois, em geral, têm mais pessoas nas famílias pobres do que nas famílias com rendimentos elevados, o que pressiona a família a ultrapassar o limite do bloco disponível para cada família; e algumas famílias não têm ligações privadas de água e compram água de vizinhos ou vendedores, ambos os casos pressionam as famílias de baixa renda a consumirem nos blocos de consumo mais caros, ou seja, pagam contas usando os preços marginais mais elevados; podem provocar uma pressão muito elevada no primeiro bloco tarifário e necessita de uma eficiência na medição (WHITTINGTON, 1992; BOLAND; WHITTINGTON, 2000; STRONG; GOEMANS, 2014; WHITTINGTON *et al.*, 2015).

Diakité, Semenov e Thomas (2009) propõem uma tarifa com um bloco inicial com baixo preço unitário e blocos de consumo mais elevado com uma regra de preços de monopólio. Já Szabó (2015) concluiu, que para efeito de melhoria de bem-estar, é melhor que ocorra cobrança do que a existência de tarifa com preço marginal zero, no seu estudo na África do Sul.

Em regiões com escassez de água, uma questão importante a se considerar é que, em termos de perda de bem-estar, a interrupção dos serviços de abastecimento de água (como no sistema de rodízios) é menos eficiente que a gestão da demanda através do aumento de preços (WOO, 1992), por exemplo, através de um esquema de preços de seca, a partir de preços sombras para diferentes cenários de disponibilidade hídrica (MANSUR; OLMSTEAD, 2012; SAHIN; STEWART; PORTER, 2015). Uma alternativa, que elimina a maioria das ineficiências distributivas e não exige investimentos dispendiosos em infraestrutura nem mudanças de preços, é manter as famílias informadas sobre as interrupções, por exemplo, com regularidade na entrega de água ao invés da entrega aleatória para as famílias (BAISA *et al.*, 2010).

Mesmo que não necessite de interrupção, tarifas diferenciadas podem aumentar a eficiência em determinados períodos, como nos Blocos Tarifários Crescentes Sazonais, com preços maiores nos meses de verão (HOQUE; WICHELNS, 2013; MOLINOS-SENANTE, 2014), nos preços dinâmicos de escassez por ano (LOPEZ-NICOLAS *et al.*, 2018) ou nos preços de pico ao longo de um dia (ROUGÉ *et al.*, 2018). Na prática, estas tarifas só devem ser implantadas caso exista a tecnologia de medição em uma frequência que permita o consumidor estar bem-informado. Com mais informações, os consumidores aprendem sobre seu consumo e sua conta, o que diminui o consumo e aumenta a eficiência econômica (CARDELL-OLIVER; WANG; GIGNEY, 2016; STRONG, 2015).

Conforme mostrado na Tabela 1, a tarifa cobrada pela COMPESA também considera uma estrutura de blocos de consumo e categorias de usuários e usa a taxa de bloco crescente.[17] No presente estudo, o modelo principal desenvolvido irá adotar blocos tarifários crescentes, que é o sistema de blocos tarifários utilizados pela COMPESA (além de cenários com alterações nos limites dos blocos tarifários) e mais adotado em termos de prática tarifária, além de ter uma boa aceitação na literatura que trata do tema.

2.5 MÚLTIPLOS OBJETIVOS EM RECURSOS HÍDRICOS

[17] As categorias de consumidores utilizadas pela COMPESA são: Residencial Social (tarifa reduzida), Residencial, Comercial, Industrial e Órgão Público. Para consumo residencial, os blocos de consumo da COMPESA, em litros, são: 0 a 10.000, 10.001 a 20.000, 20.001 a 30.000, 30.001 a 50.000, 50.001 a 90.000 e acima de 90.000; para consumo Comercial, Industrial e Público, os blocos são: até 10.000 e acima de 10.000.

Na abordagem da otimização multiobjetivo, as diversas soluções dominantes (pertencentes à fronteira de Pareto) podem ser mostradas aos *stakeholders* permitindo-lhes escolher, dentre elas, aquelas de acordo com suas preferências (VIEIRA; CUNHA, 2017). A ideia deste trabalho é usar tal abordagem no problema de tarifação. Conforme exposto por MARTINS *et al.* (2010), é possível associar os múltiplos objetivos a algumas das dimensões requeridas pelas estrutura de tarifa, que podem ser resumidas em: i) eficiência alocativa, como uma valoração econômica da água com o objetivo de maximizar o bem estar geral da sociedade, o que leva em conta a água como insumo para a produção de todos setores produtivos e a utilidade da água como bem de consumo das famílias; ii) sustentabilidade financeira do provedor dos serviços, como a viabilidade econômica e financeira da operação, manutenção e investimentos necessários para se ofertar os serviços; iii) sustentabilidade ambiental e ecológica, considerando o uso sustentável e a conservação dos recursos hídricos, respeitando os interesses intergeracionais; iv) impactos sociais tais como equidade, capacidade de pagamento dos usuários, considerando inclusive as diferenças no grupo de mais baixa renda e a necessidade de acesso universal para suprir as necessidades básicas.

Macian-Sorribes, Pulido-Velazquez e Tilmant (2015) destacam que vários critérios podem ser considerados na definição da política de alocação e de preços da água, incluindo a flexibilidade na demanda, recuperação de custos reais, previsibilidade, justiça e aceitabilidade. Os autores efetuam uma maximização mono-objetivo usando programação dinâmica estocástica, em que a equação recursiva de Bellman, a ser maximizada, incorpora o benefício total dos usuários e o fluxo de entrada e saída do sistema, considerando como restrições os requisitos de fluxos mínimos, concluindo que a adoção de uma política de preços, que reflete a escassez, aumenta a eficiência econômica do uso da água, gerando incentivo para conservação da água em períodos de escassez.

Pulido-Velazquez, Alvarez-Mendiola e Andreu (2013) propõem uma política de preço com base na diretiva de estrutura de água da União Europeia, de modo a considerar os seguintes critérios: contribuir para objetivos ambientais de qualidade de água e assegurar preços adequados para os diversos usos da água, de modo a se recuperar os custos dos serviços. Para identificar esses preços, usam um modelo hidro econômico que capta o custo de oportunidade e a água é alocada com um conjunto de regras e prioridades operacionais a partir de preços sombra. Esses são os multiplicadores de Lagrange do problema de otimização que mensuram a alteração no valor ótimo da função objetivo (benefício total dos dois tipos de uso) a partir da

alteração marginal na restrição de disponibilidade de água- correspondente. Deste modo, os resultados do modelo indicam a máxima eficiência de uso possível, com maiores benefícios que o modelo simulado, e com mudança de alocação do uso em direção ao uso com maior valor econômico.

Lopez-Nicolas *et al.* (2018) propuseram uma política tarifária ótima para a área urbana da cidade de Valência. Basearam-se num modelo de simulação, que considera a questão da eficiência e equidade na alocação, usando uma estrutura tarifária em dois blocos. O primeiro limite do bloco exógeno (e constante) e o outro determinado endogenamente pelo modelo. Assim, a tarifa de água enviaria aos consumidores de água um sinal de escassez de água através do aumento do preço da água para o segundo bloco. Foi observada uma redução no uso da água, com um aumento na receita da concessionária, devido às maiores tarifas de água.

O presente estudo tem algumas semelhanças com o estudo de Lopez-Nicolas *et al.* (2018), especialmente por considerar restrições econômicas e hidrológicas em problemas de otimização de tarifas de água em sistemas urbanos com uso do *software* GAMS, de modo que as tarifas de água devem: ser acessíveis, justas, equitativas, facilmente compreendidas e legalmente aceitáveis; além de recuperar os custos financeiros, ter aceitabilidade pública e transparência. Contudo algumas diferenças na abordagem cabem destaque: i) o presente estudo incluiu num problema de otimização duas funções objetivo; ii) considerou 5 blocos tarifários, sendo o preço de todos eles variáveis endógenas, enquanto os autores em tela incluíram 2 blocos tarifários sendo o preço do último bloco exógeno; iii) utilizou os municípios do estado de Pernambuco atendidos pela COMPESA e não considerou em detalhes as questões hidrológicas por Bacias Hidrográficas, tais como: topologia, infraestrutura e hidrologia, enquanto os autores em tela efetuaram um estudo considerando tais aspectos; iv) considerou informações de capacidade de pagamento dos consumidores em uma das funções objetivo; e v) considerou a disponibilidade hídrica verificada pela COMPESA em 2010, enquanto os autores em tela usaram simulações de diferentes disponibilidades hídricas e apresentaram informações de custo de escassez como resultado do problema de otimização.

Existem diversos métodos para obter soluções dos problemas multiobjetivo e algumas aplicações já foram efetuadas para estudos de sistemas hídricos, geralmente subsidiando a gestão de oferta de água.

Reed *et al.*(2013), destacam os principais avanços na área de gestão de recursos hídricos ao explorar melhor os *trade-offs* críticos que restringem os sistemas hídricos a partir da formulação de diversos problemas desafiadores. Cabe destacar que, em relação à formulação de problemas com mais de dois objetivos (duas funções objetivo), sugere-se o uso de algoritmos evolutivos multiobjetivo, entre as técnicas que viabilizam a resolução deste problema.[18]

Vieira e Cunha (2017) desenvolveram e resolveram um problema multiobjetivo para a região de Algarve, em que a variável de decisão é o volume de retiradas de cada fonte de água em cada passo de tempo e os múltiplos objetivos incluem: minimizar os custos operacionais, otimizar a quantidade da água e qualidade da água entregue aos usuários, e minimizar a variabilidade dos níveis do reservatório e níveis piezométricos no aquífero. Os resultados do estudo foram obtidos com uso do algoritmo Borg MOEA e permitem analisar impactos do uso conjunto de águas superficiais e subterrâneas em diferentes cenários de disponibilidade hídrica, permitindo-lhes escolher suas próprias soluções de acordo com suas preferências, a partir do entendimento claro dos benefícios potenciais do uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas.

Marques, Cunha e Vieira (2016) utilizaram dois métodos distintos para solucionar um problema multiobjetivo, a saber: MOSA (Recozimento simulado multiobjetivo) e o algoritmo evolucionário multiobjetivo Borg MOEA, tratando o problema de dimensionamento de novas redes de distribuição de água considerando os objetivos de minimização dos custos e de maximização de um índice de resiliência. Foram obtidos resultados melhores com o MOSA relativamente aos do BORG. A resolução com o MOSA permitiu encontrar um maior número de soluções coincidentes com as melhores soluções da literatura, quando comparado com o BORG. Também, o esforço computacional com o MOSA foi inferior ao que foi requerido pelo BORG para a resolução do modelo multiobjetivo nos dois estudos de caso.

Salazar *et al.* (2016) resolveram para a Pensilvânia, um problema multiobjetivo com objetivos de: maximizar a receita hidrelétrica, maximizar a confiabilidade do abastecimento de água para três usuários distintos, maximizar o armazenamento, minimizar o índice de crise em requisitos ambientais. Utilizaram comparativamente sete algoritmos e compararam o

[18] Reed *et al.*(2013) citam aspectos da modelagem que vem sendo introduzidos tais como: formulações de modelos com quatro ou mais objetivos, multimodalidade (ou falsos ótimos), não linearidade, discrição, restrições severas, objetivos estocásticos e não separabilidade; e mostram diversos algoritmos que foram desenvolvidos para esses fins, tais como: Borg, AMALGAM, GDE3, MOEA/D, IBEA, ε-MOEA, ε-NSGAII, OMOPSO, SPEA2 e NSGAII.

desempenho dos algoritmos, concluindo que, em geral, o ε-MOEA, ε-NSGAII e o Borg MOEA demonstraram níveis consistentes de desempenho.

Além da questão multiobjetivo, a questão da incerteza também pode ser considerada nos modelos de apoio a decisão no desenho e avaliação da tarifação. Ward *et al.*(2015) introduziram a incerteza através de um fluxo estocástico de fósforo natural, de uma cidade fictícia perto de um lago que deveria controlar uma eutrofização irreversível. As funções objetivas identificadas eram de maximizar benefício econômico, minimizar quantidade de fósforo no lago, minimizar a probabilidade de evitar o limiar de poluição e minimizar a probabilidade de redução drástica de carga de fósforo em um determinado ano. Concluíram que, dentre diversos algoritmos de solução, apenas a busca auto adaptativa do Borg MOEA foi capaz de desempenhar bem neste problema de avaliação comparativa não trivial.

Alguns outros trabalhos não relacionados aos recursos hídricos verificaram o desempenho de diversos algoritmos para soluções de problemas multiobjetivos e também concluíram que o BORG atende ou excede os demais algoritmos na maioria dos problemas testados (HADKA; REED, 2012; HADKA; REED; SIMPSON, 2012; HADKA; REED, 2013).

Ahmad e Tang (2016) desenvolveram um modelo multiobjetivo com programação linear para alocação ótima de água em diversos usos com dois objetivos, o primeiro é o nível de satisfação de diferentes demandantes de água e o segundo, o benefício econômico líquido. Cinco sistemas de preços fornecem uma ampla gama de resultados para os tomadores de decisão compararem.

A formulação do problema do presente trabalho inclui apenas dois objetivos, o que permite resolver o problema com uso do método multiobjetivo das restrições na plataforma do *software General Algebraic Modeling System* (GAMS), que disponibiliza *solvers* para resolução de diversos problemas de otimização. Os dois critérios de otimização são representados por funções: uma explicita a receita menos os custos da companhia (função a ser maximizada); e a outra, a diferença entre o valor do pagamento da conta de água e a capacidade de pagamento dos consumidores (função a ser minimizada). Como restrições do problema de otimização, estabeleceram-se: a quantidade demandada total de consumidores representativos não pode ultrapassar a disponibilidade hídrica total do ano em estudo; e os preços relacionados com as quantidades demandadas através de funções de demanda com elasticidades-preço constantes. O primeiro critério traz a questão da sustentabilidade financeira de forma a

viabilizar o financiamento da universalização de água tratada e serviços de coleta e tratamento de esgotos nos municípios atendidos pela COMPESA; enquanto o segundo critério traz a dimensão social, considerando a capacidade de pagamento dos usuários em relação ao pagamento da conta de água em cada município.

Caso sejam incluídos novos objetivos, a plataforma construída em GAMS pode ser utilizada para se integrar aos métodos de solução com uso de algoritmos evolutivos multiobjetivo, como o BORG. Outros objetivos podem ser incorporados a este problema multiobjetivo em trabalhos futuros, incorporando questões relacionadas com: qualidade da água, eficiência econômica, eficiência técnica quanto às perdas, minimização de subsídios entre os municípios, dentre outros, desde que as variáveis de decisão sejam compatíveis com situações-problemas desenvolvidas neste estudo.

2.6 CRITÉRIOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS TARIFÁRIAS NO SANEAMENTO

A capacidade de pagamento de consumidores residenciais, em geral, envolve duas questões: i) que parcela do orçamento familiar determina a acessibilidade econômica ou a capacidade de pagamento pelo serviço de abastecimento de água?; ii) qual o valor de consumo essencial de água para cada família? Estas questões, certamente, envolvem algum grau de subjetividade, mas a literatura que trata do tema já desenvolveu algumas maneiras de tratar estas questões, como veremos adiante.

A ONU estabelece que os custos de serviços de água e esgoto não devem ultrapassar 5% do rendimento familiar (UNITED NATIONS, 2015). Com relação a quantidade mínima necessária, a Organização Mundial da Saúde (OMS) sugere 0,05 a 0,10 m³ de água por pessoa diariamente (em média entre 1,5 e 3,0 m³ de água por mês), como a quantidade de referência para assegurar a satisfação das necessidades mais básicas e a minimização dos problemas de saúde, com uso para beber, lavagem de roupa, preparação de refeições e higiene pessoal e do lar (UNITED NATIONS, 2015).

Recentemente, a Agência Reguladora de Água e Esgoto de Minas Gerais (ARSAE-MG) divulgou uma Nota Técnica (ARSAE-MG, 2017), que apresenta um indicador para avaliação de capacidade de pagamento dos usuários, como uma razão entre faturamento de 10 m³ de água

mais faturamento respectivo de esgoto e da renda domiciliar mediana, de modo a auxiliar a tomada de decisão no processo de definição da tarifa.

Outra questão social bastante importante a se considerar é a da universalização dos serviços, e foi descrita por Carvalho e Sampaio (2015) como a ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios aos serviços de saneamento básico. Este é um critério, a princípio, conflitante com a capacidade de pagamento e com o equilíbrio financeiro, já que muitas vezes o custo de novas conexões, com o objetivo de universalizar o serviço, é superior à capacidade de pagamento das famílias a serem incluídas nos sistemas de água e esgoto, podendo haver mecanismos de subsídios cruzados entre municípios, tipos de usuários e entre os serviços de água e esgoto.

Cruz e Ramos (2016) identificaram subsídios cruzados no setor de saneamento em Pernambuco entre grupos de consumo (residencial, comercial, industrial e público), entre faixas de consumo dentro dos grupos, entre produtos (água e esgoto) e entre municípios. Mecanismos de subsídios podem favorecer o processo de universalização, uma vez que poderiam garantir os valores necessários ao investimento de novas ligações através do repasse de recursos vindos de municípios com capacidade de pagamento maior. No entanto, se indevidamente aplicados, podem prejudicar a eficiência alocativa no uso da água, ao distorcer os sinais dos preços que incentivariam o melhor uso. A abordagem proposta pelos autores considerou como subsídio cruzado a diferença entre a receita por metro cúbico no fornecimento dos serviços e o respectivo custo por metro cúbico. Os autores relataram que, em 2008, o serviço de esgotamento sanitário, para o estado como um todo, subsidiou o serviço de produção de água tratada; os resultados da pesquisa mostraram ainda que 16 municípios superavitários (subsidiando os serviços do demais municípios deficitários) no estado. No entanto, o mecanismo de subsídio cruzado, segundo os autores, mostrou estar induzindo o consumo supérfluo, transferindo os recursos de municípios com menor renda para os com maiores rendimentos, em termos *per capita*.

Griffin (2001), propõe um cálculo de custos considerando as novas conexões no sistema devido à universalização, de forma a manter um orçamento da companhia equilibrado. Para Lopez-Nicolas, *et al.* (2018), poderia haver receitas excedente (ou superavitárias) em determinados períodos, capazes de gerar recursos adicionais para investimentos no próprio sistema de água e esgotos.

A sinalização econômica adequada que dê incentivos a usos mais eficientes pode ser comprometida com a adoção de objetivos de justiça social, como os da capacidade de pagamento e da universalização de serviços. Daí a necessidade de regulação e de modelos multiobjetivos para subsidiar a decisão no desenho e avaliação de instrumentos, em especial os econômicos. A partir dos mesmos, pode-se definir uma estrutura tarifária e calcular subsídios, que possam compensar os *trade-offs* existentes entre os múltiplos objetivos. Tal ferramenta pode apoiar a definição de tarifas que possam minimizar os impactos sociais e ao mesmo tempo, garantir a cobertura dos custos necessários para ofertar os serviços de água e esgoto.

Um outro conceito de eficiência, que pode ser chamado de eficiência técnica, distingue-se do conceito de eficiência econômica ou alocativa. A eficiência técnica está relacionada ao custo na provisão dos serviços, ou seja, relaciona-se com a minimização dos custos da empresa que produz e distribui os serviços (BARBOSA; LIMA; BRUSCA, 2016).

Carvalho e Sampaio (2015) verificaram a eficiência técnica, usando um modelo de análise envoltória de dados, para mensurar a eficiência de 29 empresas estaduais de serviços de água e esgoto no Brasil, nos anos de 2006 e 2011. Os principais resultados indicaram que a média de eficiência técnica foi maior para empresas que não atuavam sob regulação de uma agência reguladora e que, no geral, houve ganhos de produtividade ao final do período.

Barbosa, Lima e Brusca (2016) consideraram a eficiência técnica intertemporal de 41 concessionárias do setor de saneamento brasileiro de 2005 a 2013, em uma perspectiva de dados em painel, capturando os efeitos do comportamento da eficiência dinâmica intertemporal e verificando que o déficit de acesso universal é o principal fator de ineficiência do setor. Além disso, os autores sugerem que a regulação por regimes *price-cap* e *revenue-cap* é menos eficiente e indicam que o regime de taxa de retorno seria uma alternativa interessante para promover o acesso universal sem comprometer o nível de preços dos serviços.

Em suas notas técnicas de revisão tarifária, a ARPE considera uma receita requerida para cobrir os custos de fornecimento, manutenção e ampliação dos serviços. Ademais, considera um fator adicional de metas de melhoria dos serviços, que consiste em acompanhar índices de cobertura dos serviços e índices de qualidade na prestação dos serviços. Estes índices podem se somar ou ser subtraídos no índice de reposicionamento tarifário em até 0,5% ao ano (ARPE, 2014b, 2018). A questão da universalização está relacionada ao esforço em se ampliar o número de conexões, ao mesmo tempo em que se garante a continuidade, a qualidade e a

cobertura dos serviços para todos. Deste modo, estudos que considerem os conflitos existentes entre tais objetivos devem ser usados na definição da política tarifária, ao mesmo tempo que devem observar o contexto atual do setor.

2.7 A CURVA DE DEMANDA POR ÁGUA TRATADA

A questão da sustentabilidade ambiental no modelo desenvolvido foi introduzida sob a forma de uma restrição de disponibilidade hídrica, conforme será descrito na metodologia. Na verdade, espera-se que diferentes tarifas sobre a água alteram a quantidade demandada pelos usuários e, por isso, será considerado esse efeito para avaliar se a demanda é possível de ser atendida diante das diferentes tarifas para cada bloco.

As quantidades demandadas por cada consumidor representativo de cada bloco relacionam-se com os preços ótimos respeitando as funções de demanda. Griffin (2006) sugere as seguintes formas funcionais para as funções de demanda: a função linear[19] e a função de elasticidade-preço constante.[20]

Para relacionar a quantidade demandada por uso com os valores a serem cobrados (variáveis de decisão) pode-se utilizar uma curva de demanda com valores de elasticidade-preço constante por uso conforme proposto em Alcoforado de Moraes, Cirilo e Sampaio (2006). A partir desses pressupostos (elasticidade-preço da demanda constante ao longo da curva de demanda) obtém-se uma relação entre a quantidade consumida e o valor da tarifa.

Para identificar completamente esta relação entre quantidade demandada e preços cobrados, além do valor da elasticidade-preço constante, que se encontra na literatura, será obtida a constante k. Esta poderá ser identificada através do conhecimento de um ponto da curva de demanda, muitas vezes chamado de ponto de operação. Para cada faixa e uso, podemos utilizar o consumo médio (quantidade) e o valor atualmente pago da tarifa e a partir desta condição de contorno identificar o valor da constante k.

---

[19] $w = -\frac{1}{b} \cdot p + \frac{a}{b}$. Em que w é a quantidade demandada, p é a tarifa, a e b são parâmetros.

[20] $w = k \cdot p^{\varepsilon}$. Em que w é a quantidade demandada, p é a tarifa, ε é a elasticidade-preço da demanda k é um parâmetro.

Conforme Griffin (2006), uma vez conhecido um nível de preços e quantidade e dada uma elasticidade-preço da demanda exógena, pode-se obter a curva de demanda pelo método do ponto de expansão para a forma funcional com elasticidade-preço da demanda constante. Esta será a metodologia adotada neste trabalho por questão de simplicidade e por já ter sido usado em experiências anteriores.[21]

A elasticidade-preço da demanda tem sido objeto de estudo de diversos trabalhos, com diversas especificações e regiões, com diferentes metodologias de estimação. FIPE (2009) e Ribeiro, Lanna e Pereira (1999) fizeram estudos de revisão de estimações de elasticidades nos setores residencial, comercial e industrial, sendo que os valores estimados nos mais diversos estudos internacionais proporcionam uma gama muito dispersa de valores. Cardoso e Melo (2016) estimaram a elasticidade-preço da demanda por água em Recife-PE igual a -1,17 para uso residencial, o método aplicado foi o do modelo estrutural de escolha discreta contínua com a função de verossimilhança com uso de estruturas de preços crescentes em bloco. Este valor de -1,17 foi utilizada no presente trabalho, tanto no uso residencial (social e não social) quanto nos usos não residenciais (comercial, industrial e público).

2.8 OTIMIZAÇÃO

Será utilizada neste estudo a programação matemática, ou seja, técnicas matemáticas de otimização voltadas ao apoio a decisão. A Otimização pode ser definida como o ato de obter o melhor resultado sob dadas circunstâncias. Matematicamente, isto significa encontrar o valor mínimo ou máximo de uma função objetivo de n variáveis, digamos $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, onde n pode ser qualquer inteiro maior que zero, e ela pode ser irrestrita ou estar sujeita a certas restrições sobre as variáveis da função, digamos $g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_i$ para $i = 1,2, \dots, m$, em que as restrições podem ser de igualdade e também de desigualdade (ALCOFORADO DE MORAES, 2003).

[21] Esta metodologia do ponto de expansão tem sido usada, pelo menos, desde (James e Lee (1971). Para outras formas funcionais, ver: Lopez-Nicolas *et al.*(2018) para demanda linear; Clarke, Colby e Thompson (2017) para uma demanda Stone-Geary; Szabó (2015) para uma estrutura tarifária não linear, com demanda discreta, por blocos de consumo, em uma demanda em nível de indivíduos; Carrera-Fernandez e Garrido (2000) e Souza, Ribeiro e Vieira (2010) para uma demanda "tudo ou nada", para água bruta onde não existe mercado de água, em que se capta o custo de oportunidade da água através de uma simulação onde se interrompe o fornecimento e se obtém a disposição a pagar dos usuários.

Quando o objetivo na tomada de decisão pode ser expresso como uma função de certas variáveis de decisão, a otimização pode ser definida como o processo de descobrir os valores dessas variáveis que fazem o valor da função mínimo ou máximo, uma vez que ele exista (ALCOFORADO DE MORAES, 2003).

Conforme Alcoforado de Moraes (2003), um problema de otimização pode ser estabelecido como segue:

Encontrar:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)' = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

tal que minimize (ou maximize) $f(X)$ sujeito às restrições:

$l_i(X) = 0, i = 1,2, \dots, m$

$g_j(X) \leq 0, i = m+1, m+2, \dots, p,$

onde:

X é o vetor n-dimensional chamado de vetor de escolha ou vetor de decisão,

$f(X)$ é a função-objetivo,

$l_i(X)$ são as restrições de igualdade,

$g_j(X)$ são as restrições de desigualdade.

Essa é a formulação analítica de um problema de otimização estática, que pode ser resolvido através dos métodos clássicos de otimização e que foram desenvolvidos a partir das contribuições de Newton e Leibnitz (ALCOFORADO DE MORAES, 2003). Bernoulli, Euler, Lagrange, Weirstrass e Kuhn-Tucker fundamentaram o cálculo das variações e do método de critério de otimizações de funções com restrições (RAO, 2009).

No entanto, na maioria dos problemas práticos, o número de variáveis e restrições torna impeditivo o uso exclusivo das formulações analíticas para obter a solução ótima. Por isso, usam-se as técnicas numéricas, nas quais aplicam-se as condições e formulações analíticas através de algoritmos computacionais iterativos.

Os algoritmos são obtidos através de métodos numéricos para resolver a otimização de funções representativas de diversos problemas. Dantizg (1951) desenvolveu o método Simplex para a resolução de problemas de Programação Linear, que se tornou um método bastante utilizado. Contudo, para encontrar o ótimo de um problema com equações não lineares, conforme proposto no presente trabalho, é necessário a utilização de métodos computacionais que resolvem problemas de programação não linear. Tais métodos são disponibilizados através de *solvers* de diversos *softwares* de otimização.

3 METODOLOGIA

3.1 OTIMIZAÇÃO COM MÚLTIPLOS OBJETIVOS

Uma das críticas ao uso da formulação do problema de otimização estática, conforme estabelecido em (1), em modelos aplicados é o fato de, nesses últimos, existirem, em geral, múltiplos objetivos a se maximizar ou minimizar. Há algumas abordagens na otimização clássica que tratam e resolvem a questão de múltiplos objetivos.

Conforme enunciado por RAO (2009), um problema de programação multiobjetivo pode ser declarado da seguinte forma, através do método das funções objetivos limitadas:

Encontrar X, tal que minimize $f_1(X), f_2(X), \dots, f_k(X)$

sujeito a:

$g_j(X) \leq 0, \quad j = 1,2, \dots, m$ em que $f_1(X), f_2(X), \dots, f_k(X)$ denotam as funções objetivos a serem minimizadas simultaneamente.

Alguns outros métodos como o da função utilidade, o da função utilidade invertida, o do critério global, o lexicográfico, o de programação por metas também podem ser utilizados em problemas multiobjetivos, a depender da natureza da solução ótima da situação-problema que queira encontrar (RAO, 2009).

Este trabalho utilizará o método das funções objetivos limitadas, como uma abordagem multiobjetivo que consiste em tratar alguns dos critérios de otimização como restrições e assim obter a chamada Fronteira de Pareto. Esta é constituída de pontos que atendem a determinados critérios a partir de limites mínimos, maximizando-se um outro critério. Diz-se desses pontos que são ótimos de Pareto, pois não se pode melhorar o ótimo por um critério sem piorar o outro. De outra forma, tais valores (que se encontram sobre a fronteira de Pareto) constituem-se em estratégias dominantes e ao deslocar-se ao longo de tal fronteira, podem-se identificar os chamados *trade-offs* entre as soluções obtidas a partir de diferentes critérios (RAO, 2009). Cada solução factível corresponde a um único ponto no plano $f_1(X), f_2(X)$, no caso de dois objetivos. A Fronteira de Pareto é formada por soluções viáveis e não dominadas (ou dominantes) e representam diferentes *trade-offs* entre os objetivos. Com o método multiobjetivo, as múltiplas

soluções ótimas de Pareto podem ser obtidas e devem subsidiar os tomadores de decisão (VIEIRA; CUNHA, 2017).

3.2 O MODELO DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO E A PLATAFORMA DE MODELAGEM GAMS

O modelo desenvolvido nessa tese baseia-se na formulação analítica dada em (MIT, 2006) para se obter uma fronteira de Pareto com dois objetivos conflitantes. Para o desenvolvimento de tal modelo utilizou-se a plataforma de modelagem do software GAMS, que disponibiliza *solvers* para resolução de diversos problemas de otimização. A estrutura de um modelo em GAMS é dada com base nos seguintes elementos: 1) os índices ou conjuntos denominados de SETS; 2) as variáveis exógenas que no GAMS são identificados como PARAMETERS, TABLES e/ou SCALARS; 3) as variáveis endógenas ou variáveis de decisão chamadas na plataforma de VARIABLES; 4) restrições e funções objetivos que são incluídas no GAMS como EQUATIONS (ROSENTHAL, 2008). Os códigos desenvolvidos no GAMS para resolver os modelos de otimização servem como um documento do modelo desenvolvido e serão fornecidos no Apêndice A.

3.2.1 O modelo multiobjetivo para a identificação da tarifa ótima de água com blocos tarifários

A seguir será descrita a estrutura do modelo desenvolvido nesta tese e os seus diversos componentes. O modelo usará os critérios de desempenho financeiro da COMPESA e da diferença entre pagamento da conta de água e capacidade de pagamento, para apoiar a decisão na identificação das tarifas ótimas através da determinação da fronteira de Pareto em relação aos dois critérios dados.

3.2.1.1 Conjuntos, variáveis endógenas e variáveis exógenas (parâmetros)

São os seguintes os conjuntos, que constituirão o modelo de otimização multiobjetivo e para os quais serão estabelecidos os preços ótimos dados pelos dois critérios de otimização:

i) Os municípios atendidos pela COMPESA do modelo de otimização serão representados pelo conjunto M = m1, m2, ..., m172. Serão 172 municípios que terão características diferentes, tais como quantidade de ligações ativas, índice de perdas e renda domiciliar, esta última a ser utilizada para determinar a capacidade de pagamento dos usuários representativos por tipo de uso.

ii) As faixas de consumo residenciais (social e não social) representarão as diferentes faixas utilizadas pela COMPESA para diferenciar os valores de consumo e tarifa de água. Serão representadas por $FR = fr_0, fr_1, fr_2, fr_3, fr_4, fr_5$., sendo '$fr_0$' o primeiro bloco de consumo, no qual o consumidor residencial pagará uma tarifa menor. Atualmente a COMPESA estabelece como o consumo da primeira faixa a faixa entre 0 e 10 m³ de água por mês. Por ano, seria entre 0 e 120 m³.[22]

iii) Têm-se também as faixas de consumo não residenciais (comercial, industrial e pública), dadas por $FO = fo_0, fo_1$. Atualmente a COMPESA utiliza a primeira faixa como sendo a de consumo entre 0 e 10 m³ e a segunda aquele consumo de mais de 10 m³ por mês.

Para esses conjuntos, existirão características ou atributos dados pelos parâmetros ou variáveis exógenas. Outros valores constantes não associados a esses conjuntos, mas necessários também ao estabelecimento do modelo são também parâmetros do problema de otimização. A relação abaixo descreve todos os que foram utilizados na modelagem e no item "3.3.1.6 Base de dados" estão indicadas as fontes destes dados:

i) Para relacionar os preços e as quantidades utilizadas de água dos diferentes tipos de consumidores em cada município foram estabelecidas curvas de demanda, dadas por funções exponenciais conforme (GRIFFIN, 2006). As constantes $K_RS(m), K_RNS(m), K_C(m), K_I(m), K_G(m)$ são parâmetros das curvas de demanda dos consumidores residencial social (RS), residencial não social (RNS), comercial (C), industrial (I) e público (G), respectivamente de cada município, que dependem das elasticidades preço da demanda e de variáveis observadas na prática da COMPESA, como quantidades (volume faturado) e preços (tarifa média observada), de tal modo que se tem mais dois parâmetros associados para cada constante K (conforme equações de demandada seção 3.3.1.3), a saber: $VF_RS(m), VF_RNS(m), VF_C(m), VF_I(m), VF_G(m)$, $TM_RS(m), TM_RNS(m), TM_C(m), TM_I(m), TM_G(m)$.

[22] Para outros blocos tarifários, verificar a Tabela 1.

ii) As capacidades de pagamento que tentarão ser atendidas em cada município dos consumidores residencial social, residencial não social, comercial, industrial e público são dadas por: $a_RS(m), a_RNS(m), a_C(m), a_I(m), a_G(m)$ respectivamente. A capacidade de pagamento para os consumidores residenciais foi determinada como sendo 3% da renda domiciliar média de cada usuário no município (no modelo, Factor_Cap_Pag é esta constante de 3%, conforme sugerido por Martins *et al.*, 2016), e REND_RS(m) e REND_RNS(m) são, respectivamente, a renda domiciliar média do município para consumidores residencial social e residencial não social, a partir do qual, a conta de água deixaria de ser economicamente acessível para a família. Para os consumidores não residenciais, as capacidades de pagamento foram consideradas como sendo os valores pagos por estes consumidores em 2010, conforme dados da COMPESA.

iii) $n_RS(m), n_RNS(m), n_C(m), n_I(m), n_G(m)$ representam o número de ligações ativas. As quantidades demandadas por uso e por município serão dadas pra cada usuário representativo, portanto para se obter o a receita total do modelo ótimo, será necessário multiplicar o pagamento dos usuários representativos pelo número de ligações de cada tipo de usuário para se ter o faturamento total.

iv) Outro parâmetro importante é o limite de consumo estabelecido para as faixas e para os tipos de uso em cada município. Esses parâmetros serão dados pelos valores atualmente utilizados pela COMPESA Os limites serão dados por $\gamma_RS(m, fr), \gamma_RNS(m, fr), \gamma_C(m, fo), \gamma_I(m, fo), \gamma_G(m, fo)$ para cada município e faixa respectivamente, dos consumidores: residencial social, residencial não social, comercial, industrial e público.

v) A forma funcional da curva de demanda possui como parâmetro, além da constante K, os valores de elasticidade-preço, que medem a variação proporcional da quantidade consumida diante de uma variação proporcional do preço e que foi considerada como constante. Esses parâmetros serão os mesmos para todos os municípios e dados por tipo de uso por ELAST_RS, ELAST_RNS, ELAST_C, ELAST_I, ELAST_G como as elasticidades preço da demanda, respectivamente, dos consumidores: residencial social, residencial não social, comercial, industrial e público. Foi usado o valor de -1,17, conforme encontrado por Cardoso e Melo (2016),

vi) DH representa a disponibilidade hídrica em metros cúbicos, obtida a partir dos dados da COMPESA de consumo no ano de 2010.

vii) DTSPM3F(m) representa a despesa total com os serviços por m³ faturado por município, obtida a partir dos dados da COMPESA no ano de 2010.

As variáveis de decisão ou endógenas estarão associadas aos conjuntos, ou seja, são variáveis indexadas e são restritas não-negativas, dada a sua natureza. Abaixo a descrição das mesmas:

i) Os valores dos preços ótimos para cada município e para cada faixa, resultado do problema de otimização em cada um dos critérios são as variáveis $P_RS(m,fr), P_RNS(m,fr), P_C(m,fo), P_I(m,fo), P_G(m,fo)$ (em R$/m³), para os consumidores residencial social, residencial não social, comercial, industrial e público; respectivamente.

ii) Os preços (em R$/m³) ótimos do último bloco da tarifa de água usado por cada consumidor residencial social, residencial não social, comercial, industrial e público, respectivamente para cada município são dados por $Pf_RS(m), Pf_RNS(m), Pf_C(m), Pf_I(m), Pf_G(m)$; O preço da última faixa é que vai ser usado para estimar a quantidade demandada do usuário representativo através da curva de demanda estabelecida por usuário e município. Dependendo de que nível de preço cada usuário representativo do tipo de uso alcança, tem-se uma estimativa da quantidade utilizada por usuário, dada pela variável a seguir.

iii) $D_RS(m), D_RNS(m), D_C(m), D_I(m), D_G(m)$ são as demandas por economias ativas, respectivamente, dos consumidores: residencial social, residencial não social, comercial, industrial e público no município associado. Estes valores são variáveis obtidas da curva de demanda para consumidores representativos a partir do preço ótimo da sua última faixa. Para se obter a demanda do município todo, multiplica-se ainda pelo número de ligações.

3.2.1.2 Funções objetivo

Para o Problema multiobjetivo, definimos dois critérios conflitantes que serão contrapostos, e são descritos abaixo. O primeiro critério será minimizado e por isso será multiplicado por -1 para poder ser modelado como um problema de maximização.

1. Diferença do valor pago por um usuário representativo do município pelos serviços de água e a capacidade de pagamento média do mesmo município (multiplicado por menos 1):

Função Objetivo 1 = FO1

$$= (-1) \cdot \left\{ \sum_{m=m1}^{m172} \sqrt{[b_RS(m) - a_RS(m)]^2} \right\}$$
$$+ \left\{ \sum_{m=m1}^{m172} \sqrt{[b_R_NS(m) - a_RNS(m)]^2} \right\} + \left\{ \sum_{m=m1}^{m172} \sqrt{[b_C(m) - a_C(m)]^2} \right\}$$
$$+ \left\{ \sum_{m=m1}^{m172} \sqrt{[b_I(m) - a_I(m)]^2} \right\} + \left\{ \sum_{m=m1}^{m172} \sqrt{[b_G(m) - a_G(m)]^2} \right\}$$

Os valores de $b_RS(m), b_RNS(m), b_C(m), b_I(m), b_G(m)$ representam os valores pagos pela água por parte de um consumidor representativo, dos usos residencial social, residencial não social, comercial, industrial e público, respectivamente. Estes valores dependerão das duas versões dos modelos, conforme apresentado em 3.3.1.4 (Modelo com tarifa Média) e 3.3.1.5 (Modelo com Blocos Tarifários).

O pagamento da conta de água, pelo lado dos consumidores, representa uma receita de água, para a Companhia que presta o serviço.

2. resultado financeiro da diferença entre receita direta de água e o custo pela prestação dos serviços

Função Objetivo 2 = FO2

$$= \left\{ \sum_{m=m1}^{m172} n_RS(m) \cdot b_RS(m) \right\} + \left\{ \sum_{m=m1}^{m172} n_RNS(m) \cdot b_RNS(m) \right\}$$
$$+ \left\{ \sum_{m=m1}^{m172} n_C(m) \cdot b_C(m) \right\} + \left\{ \sum_{m=m1}^{m172} n_I(m) \cdot b_I(m) \right\}$$
$$+ \left\{ \sum_{m=m1}^{m172} n_G(m) \cdot b_G(m) \right\}$$
$$- \sum_{m=m1}^{m172} \{\text{DTSPM3F(m)}$$
$$\cdot [n_RS(m) \cdot D_RS(m) + n_RNS(m) \cdot D_RNS(m) + n_C(m) \cdot D_C(m)$$
$$+ n_I(m) \cdot D_I(m) + n_G(m) \cdot D_G(m)]\}$$

O termo $\sum_{m=m1}^{m172}\{\mathrm{DTSPM3F(m)} \cdot [n_RS(m) \cdot D_RS(m) + n_RNS(m) \cdot D_RNS(m) + n_C(m) \cdot D_C(m) + n_I(m) \cdot D_I(m) + n_G(m) \cdot D_G(m)]\}$ representa a função custo. Basicamente são os custos diretamente relacionados com o serviço de fornecimento de água.

3.2.1.3 Restrições do modelo

O problema de otimização precisa satisfazer restrições que envolvem as variáveis de decisão. As restrições usadas no modelo são descritas a seguir:

1) A quantidade utilizada pelo consumidor representativo de cada uso multiplicado pelo número de ligações no município, somando-se todos os municípios deve ser menor do que a disponibilidade hídrica total do ano disponível:

$$\sum_{m=m1}^{m172} n_RS(m) \cdot D_RS(m) + n_RNS(m) \cdot D_RNS(m) + n_C(m) \cdot D_C(m) + n_I(m) \cdot D_I(m) + n_G(m) \cdot D_G(m) \leq DH$$

2) Para cada município $m \in M$, os preços ótimos devem satisfazer a restrição de bloco tarifário crescente:

$$P_RS(m, fr) \leq P_RS(m, fr+1)$$
$$P_RNS(m, fr) \leq P_RNS(m, fr+1)$$
$$P_C(m, fo) \leq P_C(m, fo+1)$$
$$P_I(m, fo) \leq P_I(m, fo+1)$$
$$P_G(m, fo) \leq P_G(m, fo+1)$$

3) Para cada município $m \in M$, as quantidades demandadas por uso e preços da última faixa devem respeitar as funções de demanda por tipo de uso e município dadas por:

$$D_RS(m) = Pf_RS(m)^{ELAST_RS} \cdot K_RS(m)$$
$$D_RNS(m) = Pf_RNS(m)^{ELAST_RNS} \cdot K_RNS(m)$$
$$D_C(m) = Pf_C(m)^{ELAST_C} \cdot K_C(m)$$
$$D_I(m) = Pf_I(m)^{ELAST_I} \cdot K_I(m)$$
$$D_G(m) = Pf_G(m)^{ELAST_G} \cdot K_G(m)$$

Os valores da constante K foram obtidas por estas equações, considerando um ponto inicial como sendo o ponto em que as demandas são iguais ao volume faturado pela COMPESA e o preço é igual à tarifa média praticada pela COMPESA, conforme explicado em no item 3.3.1.1 e seus valores se encontram nos Apêndices deste trabalho.

As seções 3.3.1.1, 3.3.1.2 e 3.3.1.3 apresentaram a base do modelo otimização multiobjetivo empregado neste estudo. A partir deste modelo mais geral, partiu-se para o uso de dois modelos, sendo o primeiro um modelo considerando a tarifa média (sem blocos tarifários), sendo suas especificidades descritas na seção 3.3.1.4; e o segundo modelo (com blocos tarifários), apresentado na seção 3.3.1.5.

3.2.1.4 Notas adicionais do Modelo 1 (com tarifa média)

Ao se considerar um modelo sem blocos tarifários, deixam de existir explicitamente os conjuntos de faixas de consumo FR e FO, os parâmetros $\gamma_RS(m,fr)$, $\gamma_RNS(m,fr)$, $\gamma_C(m,fo)$, $\gamma_I(m,fo)$ e $\gamma_G(m,fo)$, $Pf_RS(m)$, $,Pf_RNS(m)$, $Pf_C(m)$, $Pf_I(m)$ e $Pf_G(m)$ e as variáveis de decisão referentes ao preço $P_RS(m,fr)$, $P_RNS(m,fr)$, $P_C(m,fo)$, $P_I(m,fo)$ e $P_G(m,fo)$ passam a ser representadas pelas tarifa médias ótimas, de tal modo que são representadas por $P_RS(m)$, $P_RNS(m)$, $P_C(m)$, $P_I(m)$ e $P_G(m)$. Estas últimas devem ser utilizadas nas equações de demanda, de modo que:

$$D_RS(m) = P_RS(m)^{ELAST_RS} \cdot K_RS(m)$$
$$D_RNS(m) = P_RNS(m)^{ELAST_RNS} \cdot K_RNS(m)$$
$$D_C(m) = P_C(m)^{ELAST_C} \cdot K_C(m)$$
$$D_I(m) = P_I(m)^{ELAST_I} \cdot K_I(m)$$
$$D_G(m) = P_G(m)^{ELAST_G} \cdot K_G(m)$$

Sem os blocos tarifários, as receitas diretas de água por economia ativa $b_RS(m)$, $b_RNS(m)$, $b_C(m)$, $b_I(m)$ e $b_G(m)$ consistem na multiplicação da tarifa média ótima (em R\$/ m^3) pelo volume faturado (em m^3). Com base na tarifa média, as contas de água para cada tipo de consumidor são determinadas por:

$$b_RS(m) = P_RS(m) \cdot D_RS(m)$$
$$b_RNS(m) = P_RNS(m) \cdot D_RNS(m)$$
$$b_C(m) = P_C(m) \cdot D_C(m)$$
$$b_I(m) = P_I(m) \cdot D_I(m)$$

$$b_G(m) = P_G(m) \cdot D_G(m)$$

3.2.1.5 Notas adicionais do Modelo 2 (com bloco tarifário)

O Modelo 2 considera os blocos tarifários. Em relação ao modelo geral, descrito nas seções 3.3.1.1, 3.3.1.2 e 3.3.1.3, cabe detalhar basicamente as contas de água por economias ativas. Para um consumidor representativo comercial em cada município $m \in M$, $b_RS(m)$, $b_RNS(m)$, $b_C(m)$, $b_I(m)$ e $b_G(m)$ são determinados por:

$b_RS(m) = \gamma_RS(m, fr0) \cdot P_RS(m, fr0)$, caso $D_RS(m) \leq \gamma_RS(m, fr0)$;
$b_RS(m) = \gamma_RS(m, fr0) \cdot P_RS(m, fr0) + [D_RS(m) - \gamma_RS(m, fr1)] \cdot P_RS(m, fr1)$, caso $\gamma_RS(m, fr1) > D_RS(m) > \gamma_RS(m, fr0)$;

(...)

$b_RS(m) = \gamma_RS(m, fr0) \cdot P_RS(m, fr0) + \gamma_RS(m, fr1) \cdot P_RS(m, fr1)$+$+\gamma_RS(m, fr2) \cdot P_RS(m, fr2) + \gamma_RS(m, fr3) \cdot P_RS(m, fr3) + \gamma_RS(m, fr4) \cdot P_RS(m, fr4) + [D_RS(m) - \gamma_RS(m, fr4)] \cdot P_RS(m, fr5)$, caso $D_RS(m) > \gamma_C(m, fr4)$;

$b_RNS(m) = \gamma_RNS(m, fr0) \cdot P_RNS(m, fr0)$, caso $D_RNS(m) \leq \gamma_RNS(m, fr0)$;
$b_RNS(m) = \gamma_RNS(m, fr0) \cdot P_RNS(m, fr0) + [D_RNS(m) - \gamma_RNS(m, fr1)] \cdot P_RNS(m, fr1)$, caso $\gamma_RNS(m, fr1) > D_RNS(m) > \gamma_RNS(m, fr0)$;

(...)

$b_RNS(m) = \gamma_RNS(m, fr0) \cdot P_RNS(m, fr0) + \gamma_RNS(m, fr1) \cdot P_RNS(m, fr1)$+$+\gamma_RNS(m, fr2) \cdot P_RNS(m, fr2) + \gamma_RNS(m, fr3) \cdot P_RNS(m, fr3) + \gamma_RNS(m, fr4) \cdot P_RNS(m, fr4) + [D_RNS(m) - \gamma_RNS(m, fr4)] \cdot P_RNS(m, fr5)$, caso $D_RNS(m) > \gamma_C(m, fr4)$.

$b_C(m) = \gamma_C(m, fo0) \cdot P_C(m, fo0)$, caso $D_C(m) \leq \gamma_C(m, fo0)$; e
$b_C(m) = \gamma_C(m, fo0) \cdot P_C(m, fo0) + [D_C(m) - \gamma_C(m, fo1)] \cdot P_C(m, fo1)$, caso $df_C(m) > \gamma_C(m, fo0)$.

$b_I(m) = \gamma_I(m, fo0) \cdot P_I(m, fo0)$, caso $D_I(m) \leq \gamma_I(m, fo0)$; e
$b_I(m) = \gamma_I(m, fo0) \cdot P_I(m, fo0) + [D_I(m) - \gamma_I(m, fo1)] \cdot P_I(m, fo1)$, caso $D_I(m) > \gamma_I(m, fo0)$.

$b_G(m) = \gamma_G(m, fo0) \cdot P_G(m, fo0)$, caso $D_G(m) \leq \gamma_G(m, fo0)$; e
$b_G(m) = \gamma_G(m, fo0) \cdot P_G(m, fo0) + [D_G(m) - \gamma_G(m, fo1)] \cdot P_G(m, fo1)$, caso $D_G(m) > \gamma_G(m, fo0)$.

3.2.1.6 Problema de otimização não linear e solução

A fronteira de Pareto será obtida maximizando-se cada uma das funções objetivo e então identificando-se o valor obtido pela outra Função, representativa do objetivo conflitante. Este último valor então considera-se como sendo um limite inferior, e são obtidos vários resultados aumentando-se tal limite e acompanhando-se então os novos valores da FO maximizada. As soluções assim obtidas formarão um conjunto de soluções não dominadas. Tal resolução pode ser representada matematicamente como:

$$Max \ -FO1$$
$$Sujeito\ a\ FO2 \geq FO2^{*} + €$$

Onde além dessa restrição todas as demais do modelo, já descritas, são introduzidas, a saber: restrições hídricas, de bloco tarifário crescente e de atendimento às funções de demanda, em que $FO2^{*}$ é o valor obtido pela otimização (máximo de $-FO1$ sem a restrição de FO2) e o € é um valor arbitrário que vai sendo maior a cada rodada do modelo de otimização.

O modelo 1 foi resolvido através do *software* GAMS, com o *solver* CONOPT, usando o NLP (programação não linear), tendo em vista a não linearidade do modelo proposto. O modelo em GAMS conta com 3.443 equações e 4.131 variáveis.

O modelo 2 foi resolvido através do *software* GAMS, com o *solver* CONOPT, usando o DNLP (programação descontínua não linear), tendo em vista a descontinuidade originada pelos blocos tarifários e a não linearidade do modelo proposto. O modelo em GAMS conta com 11.700 equações e 12.559 variáveis.

3.2.1.7 Base de dados

Os dados foram obtidos de diferentes fontes, a saber: informações e indicadores operacionais e financeiros do setor de saneamento obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS); dados por tipo de consumidor, como números de economias ativas, tarifa média praticada, volume consumido e faturado de acordo com o tipo de consumidor obtidos diretamente com a COMPESA (mediante solicitação no portal através de requerimento no portal da Lei de Acesso à Informação da COMPESA); informações socioeconômicas obtidas no Censo/IBGE. Todos os dados utilizados foram relativos ao ano de 2010 por ser o ano do último Censo/IBGE, de onde foram obtidas informações socioeconômicas importantes para o modelo, especialmente o rendimento médio dos consumidores residenciais (sociais e não sociais), que permitiram definir a capacidade de pagamento deles.

A constante da função de demanda foi calculada a partir de dados da COMPESA, a partir da equação:

$$K = \frac{VF}{(TM)^{ELAST}}$$

mais especificamente com base na tarifa média de água e no volume faturado, além da elasticidade preço da demanda, que foi usado um valor de -1.17, seguindo resultado encontrado por CARDOSO e MELO (2016) para demanda residencial urbana de água em Pernambuco sob uma estrutura tarifária com blocos crescentes de preços.

A Tabela 3 sintetiza as fontes de dados dos parâmetros usados no modelo. Os valores destes parâmetros foram incluídos no Apêndice B. Os dados de tarifa média foram fornecidos pela COMPESA em valores mensais, de modo que foi necessário transformar para frequência anual (foi feito com base na média dos 12 meses de 2010). Para os rendimentos médios foram considerados residenciais sociais aqueles domicílios abaixo de 1 salário-mínimo mensal e residencial não social, caso contrário. Como os valores eram mensais, foram multiplicados por 12 para se obter os valores anuais (isso foi feito diretamente no modelo *GAMS*). Para as economias ativas, que correspondem a quantidade de clientes da COMPESA em cada categoria, os dados eram mensais e foi considerado o maior valor entre os 12 meses.

Tabela 3 – Resumo dos parâmetros usados no modelo e fonte dos dados utilizados

Códigos dos parâmetros usados nas equações do modelo	**Descrição do parâmetro**	**Fonte dos dados**
$VF_RS(m), VF_RNS(m), VF_C(m), VF_I(m), VF_G(m)$	Volume Faturado (em m^3)	COMPESA
$TM_RS(m), TM_RNS(m), TM_C(m), TM_I(m), TM_G(m)$	Tarifa Média praticada em 2010 (em R\$/m^3)	COMPESA
$ELAST_RS(m), ELAST_RNS(m), ELAST_C(m), ELAST_I(m), ELAST_G(m)$	Elasticidade Preço da demanda	ELAST = - 1,17 (CARDOSO e MELO, 2016)
$K_RS(m), K_RNS(m), K_C(m), K_I(m), K_G(m)$	Constante da função demanda.	$K = \frac{VF}{(TM)^{ELAST}}$
$REND_RS(m), REND_RNS(m)$	Rendimento Médio por domicílio (em R\$)	Censo/IBGE
$Factor_Cap_Pag$	Percentual da renda que define o limite para a conta de água acessível	$Factor_Cap_Pag = 0.03$ (MARTINS *et al.*, 2016)
$n_RS(m), n_RNS(m), n_C(m), n_I(m), n_G(m)$	Número de economias ativas de água	COMPESA

Códigos dos parâmetros usados nas equações do modelo	**Descrição do parâmetro**	**Fonte dos dados**
$\gamma_RS(m,fr), \gamma_RNS(m,fr), \gamma_C(m,fo),$ $\gamma_I(m,fo), \gamma_G(m,fo)$	Limite do bloco tarifário (em m^3)	Idênticos aos usados pela COMPESA
DH	Disponibilidade hídrica (em m^3)	Com base em todo o volume faturado verificado pelos consumidores da COMPESA
DTSPM3F(m)	Despesa total do serviço por m³ faturado (em R$/$m^3$)	SNIS

Fonte: elaboração própria.

3.3 ASPECTOS CONCEITUAIS

Em decorrência da necessidade de exposição e discussão dos resultados do problema desenvolvido, alguns aspectos conceituais podem ser destacados, especialmente com respeito ao agrupamento de municípios em regiões de desenvolvimento (RDs) conforme descrito na seção 1.3 deste trabalho.

A Tabela 4 apresenta a divisão dos municípios por RDs, seguido dos respectivos códigos utilizados na plataforma *GAMS* para cada um dos municípios considerados. [23]

[23] Por não serem atendidos pela COMPESA nos serviços de abastecimento de água em 2010, 13 municípios de Pernambuco foram excluídos do presente estudo. Segue a relação agrupada por RD: RD Sertão de Itaparica (Carnaubeira da Penha), RD Pajeú (Santa Cruz da Baixa Verde), RD Sertão do Moxotó (Inajá), RD Agreste Meridional (Iati), RD Mata Sul (Água Preta, Amaraji, Catende, Cortês, Gameleira, Jaqueira, Palmares e Xexéu) e RD Mata Norte (Itambé).

Tabela 4 – Divisão dos municípios por Regiões de Desenvolvimento com o código do *GAMS*

Região de Desenvol-vimento	Município	Código GAMS	Região de Desenvol-vimento	Município	Código GAMS
RD 01 (Sertão de Itaparica)	Belém do São Francisco	m16	RD 08 (Agreste Central) Parte 2	Cachoeirinha	m31
	Floresta	m59		Camocim de São Félix	m36
	Itacuruba	m73		Caruaru	m42
	Jatobá	m81		Cupira	m50
	Petrolândia	m115		Gravatá	m65
	Tacaratu	m155		Ibirajuba	m67
RD 02 (Sertão do São Francisco)	Afrânio	m3		Jataúba	m80
	Cabrobó	m30		Lagoa dos Gatos	m90
	Dormentes	m52		Panelas	m107
	Lagoa Grande	m91		Pesqueira	m114
	Orocó	m104		Poção	m117
	Petrolina	m116		Riacho das Almas	m123
	Santa Maria da Boa Vista	m134		Sairé	m126
RD 03 (Sertão do Araripe)	Araripina	m11		Sanharó	m130
	Bodocó	m20		São Bento do Uma	m138
	Exu	m54		São Caitano	m139
	Granito	m64		São Joaquim do Monte	m141
	Ipubi	m72		Tacaimbó	m154
	Moreilândia	m99	RD 09 (Agreste Setentrional)	Bom Jardim	m22
	Ouricuri	m105		Casinhas	m43
	Santa Cruz	m131		Cumaru	m49
	Santa Filomena	m133		Feira Nova	m55
	Trindade	m163		Frei Miguelinho	m60
RD 04 (Sertão Central)	Cedro	m44		João Alfredo	m82
	Mirandiba	m98		Limoeiro	m93
	Parnamirim	m109		Machados	m95
	Salgueiro	m128		Orobó	m103
	São José do Belmonte	m143		Passira	m110
	Serrita	m148		Salgadinho	m127
	Terra Nova	m159		Santa Cruz do Capibaribe	m132
	Verdejante	m168		Santa Maria do Cambucá	m135
RD 05 (Pajeú)	Afogados da Ingazeira	m2		São Vicente Férrer	m146
	Brejinho	m25		Surubim	m152
	Calumbi	m34		Taquaritinga do Norte	m157
	Carnaíba	m40		Toritama	m161
	Flores	m58		Vertente do Lério	m169

Região de Desenvol-vimento	Município	Código GAMS	Região de Desenvol-vimento	Município	Código GAMS
	Iguaraci	m69		Vertentes	m170
	Ingazeira	m70	RD 10 (Mata Sul)	Barreiros	m14
	Itapetim	m76		Belém de Maria	m15
	Quixaba	m121		Chã Grande	m46
	Santa Terezinha	m136		Escada	m53
	São José do Egito	m144		Joaquim Nabuco	m83
	Serra Talhada	m147		Maraial	m97
	Solidão	m151		Pombos	m118
	Tabira	m153		Primavera	m119
	Triunfo	m164		Quipapá	m120
	Tuparetama	m166		Ribeirão	m124
RD 06 (Sertão do Moxotó)	Arcoverde	m12		Rio Formoso	m125
	Betânia	m18		São Benedito do Sul	m137
	Custódia	m51		São José da Coroa Grande	m142
	Ibimirim	m66		Sirinhaém	m150
	Manari	m96		Tamandaré	m156
	Sertânia	m149		Vitória de Santo Antão	m172
RD 07 (Agreste Meridional)	Águas Belas	m5	RD 11 (Mata Norte)	Aliança	m7
	Angelim	m9		Buenos Aires	m27
	Bom Conselho	m21		Camutanga	m37
	Brejão	m24		Carpina	m41
	Buíque	m28		Chã de Alegria	m45
	Caetés	m32		Condado	m47
	Calçado	m33		Ferreiros	m57
	Canhotinho	m38		Glória do Goitá	m62
	Capoeiras	m39		Goiana	m63
	Correntes	m48		Itaquitinga	m78
	Garanhuns	m61		Lagoa do Itaenga	m87
	Itaíba	m74		Lagoa do Carro	m88
	Jucati	m84		Macaparana	m94
	Jupi	m85		Nazaré da Mata	m101
	Jurema	m86		Paudalho	m111
	Lagoa do Ouro	m89		Timbaúba	m160
	Lajedo	m92		Tracunhaém	m162
	Palmeirina	m106		Vicência	m171
	Paranatama	m108	RD 12 (Metropolitana)	Abreu e Lima	m1
	Pedra	m113		Araçoiaba	m10
	Saloá	m129		Cabo de Santo Agostinho	m29

Região de Desenvol-vimento	Município	Código GAMS	Região de Desenvol-vimento	Município	Código GAMS
	São João	m140		Camaragibe	m35
	Terezinha	m158		Fernando de Noronha	m56
	Tupanatinga	m165		Igarassu	m68
	Venturosa	m167		Ipojuca	m71
RD 08 (Agreste Central) Parte 1	Agrestina	m4		Ilha de Itamaracá	m75
	Alagoinha	m6		Itapissuma	m77
	Altinho	m8		Jaboatão dos Guararapes	m79
	Barra de Guabiraba	m13		Moreno	m100
	Belo Jardim	m17		Olinda	m102
	Bezerros	m19		Paulista	m112
	Bonito	m23		Recife	m122
	Brejo da Madre de Deus	m26		São Lourenço da Mata	m145

Fonte: elaborado com base na divisão trazida pela Lei estadual 12.427/2003.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentadas as soluções ótimas do problema multiobjetivo desenvolvido neste estudo, atribuídas às variáveis de decisão explicitadas no capítulo 3. Os resultados foram obtidos para cada município, e agregados por RD e para o grupo de todos os municípios atendidos pela COMPESA. Os resultados de cada município estão disponíveis nos Apêndices.

Inicialmente utilizaram-se os dados observados pela COMPESA no ano de 2010 de preço e quantidade e com eles foram calculados os valores das duas funções-objetivo (FOs) representadas no modelo sem fazer ainda nenhuma otimização. Como explicado no capítulo 3 (metodologia), utilizou-se os valores de 2010 por ser o mesmo ano do último Censo Demográfico, fonte das informações referentes aos rendimentos médios, que determinam a capacidade de pagamento dos consumidores. Os valores obtidos das FOs usando os preços atualmente praticados pela COMPESA podem ser usados como referência e comparados com os resultados de preços ótimos a ser obtidos seguindo a otimização para cada um dos dois critérios. No modelo multiobjetivo, conforme já explicado, para obter preços ótimos foram usadas duas abordagens: na primeira identificou-se apenas um preço ótimo médio por município sem o detalhamento de preços por bloco tarifários (Modelo 1); e na segunda, considerou-se o problema multiobjetivo com o detalhamento de blocos tarifários) descrito no capítulo 3, conforme apresentado nas seções 4.2 e 4.3, que identifica preços ótimos por município e para cada bloco tarifário.

4.1 RESULTADOS DAS FUNÇÕES-OBJETIVO CALCULADAS UTILIZANDO PREÇOS E TARIFAS MÉDIAS OBSERVADAS DA COMPESA NO ANO DE 2010

Os valores das funções-objetivo do modelo, quando utilizam-se os preços e tarifas médias praticados pela COMPESA em 2010, são apresentados na Tabela 5. A receita direta obtida com os valores cobrados pela água usando preços e limites de blocos tarifários, praticados em 2010 pela COMPESA superou o custo total dos serviços de água em 7,17 milhões de reais (conforme função objetivo 2, que é a função objetivo financeira), sendo que em 127

municípios este resultado foi positivo e 45 municípios tiveram resultado negativo neste item, evidenciando a presença de subsídios cruzados entre os municípios atendidos pela COMPESA.

Tabela 5 – Valores das funções-objetivo obtidos com valores praticados pela COMPESA em 2010

Resultados	COMPESA 2010	Unidade
Função Objetivo 1 Social (FO1_RS + FO1_RNS)	-681.978.311,48	R$
Função Objetivo 2 Financeira (R - C)	7.170.008,36	R$
Contribuição de residenciais sociais na FO1 (FO1_RS)	-6.138.006,00	R$
Contribuição de residenciais não sociais na FO1 (FO1_RNS)	-675.840.305,48	R$
Receita Direta de Água (R)	641.506.320,83	R$
Custo Total do Serviço de Água (C)	634.336.312,48	R$
Nº de Economias Ativas	1.805.405	-
Nº de municípios que a_RS > b_RS	160	-
Nº de municípios que a_RS < b_RS	12	-
Nº de municípios que a_RNS > b_RNS	171	-
Nº de municípios que a_RNS < b_RNS	1	-
Nº de municípios com FO2 positivo	127	-
Nº de municípios com FO2 negativo	45	-

Fonte: obtido com base nos dados de COMPESA, SNIS e IBGE.

Nota: FO1 é a Função Objetivo 1 (Social), sendo subdividida em FO1_RS, FO1_RNS, a_RS e a_RNS são as capacidades de pagamento e b_RS e b_RNS são os valores das contas médias de água de consumidores representativos dos tipos residenciais sociais e não sociais.

A diferença entre o pagamento das contas de água e a capacidade de pagamento dos usuários (dada pela função objetivo 1, que é a função objetivo social), na maioria dos municípios, teve valores médios de capacidade de pagamento superiores aos valores pagos pela água de um consumidor representativo (160 municípios para os consumidores residenciais sociais e 171 para consumidores residenciais, dos 172 municípios analisados), Estes valores de preços serão usados como referência para comparar com as soluções de preços ótimos segundo os dois critérios.

A Receita Direta de Água é obtida pelas tarifas praticadas pela COMPESA em 2010 e pelas quantidades consumidas, considerando o somatório das economias ativas, conforme explicitado em 3.2.1.3 e 3.2.1.4. A Tabela 6 indica a contribuição percentual dos 5 tipos de usos e das RDs para este item. A RD Metropolitana contribui com 56,1% e a RD Agreste Central

com 13%, sendo as RDs com participações mais elevadas. A categoria de consumidor Residencial Não Social é responsável 74,7% do total da Receita Direta de Água da COMPESA.

Tabela 6 – Contribuições na Receita Direta de Água e no custo total do serviço da COMPESA em 2010

	Participação percentual na Receita Direta de Água						(%) do Custo Total do Serviço
	Residencial Social	Residencial Não Social	Comercial	Industrial	Pública	Total	
COMPESA	4,3	74,7	10,4	3,7	6,9	100	100
RD 01 Sertão de Itaparica	0,1	0,9	0,1	0,0	0,3	1,3	0,5
RD 02 Sertão do S. Francisco	0,2	3,6	0,6	0,1	0,6	5,1	3,1
RD 03 Sertão do Araripe	0,2	1,5	0,1	0,0	0,1	2,0	2,1
RD 04 Sertão Central	0,2	1,1	0,2	0,0	0,2	1,6	2,7
RD 05 Pajeú	0,3	2,0	0,2	0,0	0,2	2,7	3,7
RD 06 Sertão do Moxotó	0,1	1,2	0,1	0,0	0,1	1,5	2,6
RD 07 Agreste Meridional	0,4	3,4	0,3	0,0	0,3	4,4	3,6
RD 08 Agreste Central	0,7	10,0	1,3	0,2	0,7	13,0	12,5
RD 09 Agreste Setentrional	0,2	3,3	0,5	0,0	0,2	4,3	3,2
RD 10 Mata Sul	0,3	3,1	0,2	0,1	0,3	4,1	4,4
RD 11 Mata Norte	0,3	2,9	0,2	0,0	0,3	3,8	3,5
RD 12 Metropolitana	1,3	41,7	6,5	3,1	3,5	56,1	58,1

Fonte: elaborado com base nos dados da COMPESA.

A função de Custo, parcela da Função Objetivo 2 – Financeira – (ver última coluna da Tabela 6 e seção 3.2.1.2) pôde ser obtida por municípios, mas não por tipo de consumidores, devido aos dados terem sido obtidos com base na Despesa Total do Serviço por Metro Cúbico Faturado obtida a partir do SNIS, que é uma base de dados que não apresenta informações por tipo de consumidor. A Região Metropolitana contribuiu com 58,1% do custo total do serviço de água da COMPESA.

A capacidade de pagamento foi incluída no modelo desenvolvido neste trabalho como sendo 3% da renda dos domicílios, que consiste em um percentual da renda indicado na literatura, apresentada em Martins *et al.*, (2016) de cada município (em média), sendo um valor ao qual seria desejável que as despesas das famílias com água não superassem este limite. Estes valores que são parâmetros do modelo foram obtidos usando a renda média dos municípios

usando dados do IBGE e são comparados com os valores referentes ao pagamento de um consumidor representativo do mesmo município.

Tabela 7 – Capacidade de pagamento e pagamento de um consumidor representativo da COMPESA

	Capacidade de Pagamento Média (em R$)		Pagamento de um consumidor representativo (em R$)	
	Residencial Social	Residencial Não Social	Residencial Social	Residencial Não Social
COMPESA	108,72	513,84	94,99	336,22
RD 01 (Sertão de Itaparica)	99,61	554,98	91,72	338,76
RD 02 (Sertão do S. Francisco)	105,34	526,89	100,81	371,20
RD 03 (Sertão do Araripe)	98,96	483,34	95,59	312,62
RD 04 (Sertão Central)	99,94	527,16	99,77	343,30
RD 05 (Pajeú)	102,33	495,35	84,97	302,78
RD 06 (Sertão do Moxotó)	99,13	520,43	82,77	354,56
RD 07 (Agreste Meridional)	99,42	481,95	95,07	318,96
RD 08 (Agreste Central)	110,98	489,97	92,49	332,56
RD 09 (Agreste Setentrional)	113,33	485,62	84,55	294,82
RD 10 (Mata Sul)	118,49	490,34	90,51	293,92
RD 11 (Mata Norte)	118,90	502,83	92,43	309,83
RD 12 (Metropolitana)	118,85	690,18	103,19	347,61

Fonte: elaborado com base em dados de COMPESA e IBGE.

A Função Objetivo Social (FO1) é a função que expressa tal diferença (entre pagamento e capacidade de pagamento) que será minimizada. A Tabela 7 detalha os termos indicados na equação que determina a Função Objetivo Social (FO1), sendo que agrupados por RDs e aponta que, em média, a tarifa praticada pela COMPESA tem respeitado a capacidade de pagamento dos consumidores, de modo que o pagamento da conta de água fica abaixo do limite de 3% da renda dos domicílios de todas as RDs, muito em função da Tarifa Social aplicada aos consumidores de baixa renda.

O Volume faturado pela COMPESA em 2010 é apresentado na Tabela 8, sendo representado por metros cúbicos e como percentual do total para as RDs e tipos de consumidores, de modo que se observa a maior demanda na Região Metropolitana (com 42,01% dos mais de 169 milhões de m³ faturados pela COMPESA) e nos consumidores

residenciais não sociais (com participação relativa de 75,33%). Cabe destacar também o peso relativo de 13,26% dos consumidores residenciais não sociais, completando a importância dos consumidores residenciais no volume faturado da COMPESA. A Região Agreste Central representa 13,49% do volume faturado da COMPESA, enquanto as demais regiões tem peso relativo iguais ou menores que 5,01%, sendo a região com menor demanda, o Sertão de Itaparica, com participação de 1,23% no total da COMPESA.

Tabela 8 - Volume faturado em metros cúbicos e como percentual do total da COMPESA

		Volume faturado (em %)					
	Volume faturado (em m³)	Resid. Social	Resid. Não Social	Comerc.	Indust.	Pública	Total
COMPESA	269.173.083	13,26	75,33	5,42	2,55	3,44	100,00
RD 01 (Sertão de Itaparica)	3.320.720	0,17	0,87	0,07	0,00	0,12	1,23
RD 02 (Sertão do S. Francisco)	12.929.920	0,61	3,51	0,31	0,07	0,31	4,80
RD 03 (Sertão do Araripe)	6.289.355	0,62	1,55	0,06	0,03	0,08	2,34
RD 04 (Sertão Central)	4.866.697	0,50	1,13	0,08	0,00	0,09	1,81
RD 05 (Pajeú)	8.295.213	0,85	2,02	0,10	0,00	0,11	3,08
RD 06 (Sertão do Moxotó)	4.330.917	0,42	1,09	0,05	0,00	0,05	1,61
RD 07 (Agreste Meridional)	13.492.053	1,25	3,44	0,14	0,01	0,17	5,01
RD 08 (Agreste Central)	36.312.250	2,28	10,00	0,72	0,10	0,39	13,49
RD 09 (Agreste Setentrional)	12.179.648	0,78	3,42	0,19	0,02	0,12	4,52
RD 10 (Mata Sul)	12.451.783	0,96	3,24	0,15	0,13	0,14	4,63
RD 11 (Mata Norte)	11.968.015	1,10	3,05	0,14	0,01	0,15	4,45
RD 12 (Metropolitana)	142.736.512	3,72	42,01	3,41	2,18	1,71	53,03

Fonte: elaborado com base em dados de COMPESA.

A Tabela 9 apresenta os valores das Despesas Totais dos Serviços por metro cúbico faturado (DTSPM3F) e a tarifa média (ambos em reais por metro cúbico) por RDs. As informações da DTSPM3F são disponibilizadas por municípios, permitindo agrupar em RDs, mas não são disponibilizadas por tipo de consumidor. Na prática, os consumidores que apresentam tarifas médias superiores à DTSPM3F estão subsidiando os demais consumidores, porém como a informação da DTSPM3F não é detalhada por consumidores, podemos apenas fazer o exercício de suposição de que os consumidores residenciais sociais provavelmente estão sendo subsidiados em todas as RDs e possivelmente os consumidores comerciais, industriais e públicos estão subsidiando os demais consumidores. Quanto aos consumidores residenciais não sociais, é possível que em algumas RDs estejam subsidiando e em outras estejam sendo subsidiados.

Tabela 9 – Tarifa Média e Despesa Total dos Serviços por metro cúbico faturado da COMPESA

		Tarifa Média (em R$/m3)					
	DTSPM3F (em R$/m^3)	Resid. Social	Resid. Não Social	Comerc.	Indust.	Pública	Total
COMPESA	2,357	0,781	2,364	4,590	3,405	4,749	2,383
RD 01 Sertão de Itaparica	0,978	0,782	2,419	4,604	7,620	4,835	2,571
RD 02 Sertão do S. Francisco	1,535	0,810	2,423	4,896	2,617	4,860	2,537
RD 03 Sertão do Araripe	2,097	0,777	2,330	4,500	3,916	4,233	2,060
RD 04 Sertão Central	3,548	0,799	2,400	4,251	7,302	4,635	2,158
RD 05 Pajeú	2,839	0,726	2,361	4,234	5,906	4,614	2,059
RD 06 Sertão do Moxotó	3,789	0,695	2,602	4,617	5,347	4,623	2,240
RD 07 Agreste Meridional	1,707	0,773	2,363	4,213	4,128	4,603	2,096
RD 08 Agreste Central	2,181	0,765	2,378	4,421	5,071	4,555	2,296
RD 09 Agreste Setentrional	1,644	0,733	2,300	6,782	6,460	4,494	2,290
RD 10 Mata Sul	2,247	0,770	2,299	3,848	1,876	4,617	2,090
RD 11 Mata Norte	1,835	0,752	2,294	4,077	7,263	4,630	2,058
RD 12 Metropolitana	2,583	0,831	2,364	4,567	3,383	4,861	2,520

Fonte: elaborado com base em dados de COMPESA e SNIS.

Isso resulta num valor da Função Objetivo Social (FO1) apresentado na Tabela 10, que também apresenta os valores associados à Função Objetivo Financeira (FO2) dos preços e limites de blocos tarifários praticados pela COMPESA em 2010. Quanto à Função Objetivo Social (FO1), verifica-se que os seus valores refletem, em média, que os consumidores residenciais estão pagando contas de água inferiores ao limite da capacidade de pagamento (3% do rendimento domiciliar) em todas as RD´s. As maiores diferenças estão na RD Metropolitana, que corresponde a mais de 73% dessa diferença.

Quanto à FO2, os resultados positivos indicam que 6 RDS apresentam Receitas Diretas de Água superando os Custos Totais dos Serviços, indicando que podem estar subsidiando as outras 6 RDs que apresentam resultados negativos e contribuindo para o valor positivo da Função Objetivo Financeira (FO2) da COMPESA como um todo, que é um excedente que pode servir para financiar outros itens, inclusive investimentos para ampliação e melhoria dos serviços.

Tabela 10 – Valores das Funções Objetivos Social (-FO1) e Financeira (FO2) por RDs

	Valores Associados à equação da -FO1 (em R$)	Valores Associados à equação da FO2 (em R$)
COMPESA	681.978.311,48	7.170.008,36
RD 01 (Sertão de Itaparica)	3.919.971,36	5.288.347,58
RD 02 (Sertão do S. Francisco)	21.936.944,73	12.951.885,01
RD 03 (Sertão do Araripe)	6.806.932,90	(-)230.370,93
RD 04 (Sertão Central)	5.541.401,71	(-)6.765.811,78
RD 05 (Pajeú)	10.903.072,30	(-)6.470.866,37
RD 06 (Sertão do Moxotó)	6.699.236,04	(-)6.711.790,22
RD 07 (Agreste Meridional)	18.941.621,08	5.257.427,28
RD 08 (Agreste Central)	53.885.868,75	4.195.575,30
RD 09 (Agreste Setentrional)	18.653.619,34	7.867.321,28
RD 10 (Mata Sul)	16.279.799,97	(-)1.963.057,11
RD 11 (Mata Norte)	15.283.832,05	2.671.808,53
RD 12 (Metropolitana)	503.126.011,25	(-)8.920.460,21

Fonte: elaborado com base nos dados da COMPESA.

Os resultados da Função Objetivo Financeira (FO2) por município serão tão mais precisos quanto mais precisa for a contabilidade de custo da companhia, especialmente na definição do rateio das despesas de pessoal, material químico e energia elétrica por centro de custo, o que contribuirá para valores confiáveis de DTSPM3F por municípios; além disso, outras questões como financiamento de investimentos com recursos de terceiros, percentual de economias ativas não medidas (sem hidrômetros em bom funcionamento), receitas indiretas, índice de perdas e inadimplência também podem afetar o resultado financeiro da Companhia. Os resultados da Função Objetivo Financeira (FO2) representam um importante indicativo, especialmente por indicar a ocorrência de subsídios cruzados entre os municípios.

4.2 RESULTADOS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO USANDO TARIFAS MÉDIAS POR MUNICÍPIO COMO VARIÁVEL DE DECISÃO

Os resultados do modelo de otimização multiobjetivo com tarifas médias é obtido através da solução do problema de otimização descrito no item 3.2, sendo que nestes resultados, ao invés das variáveis de decisão serem os preços ótimos por faixa e município, bem como as

quantidades demandadas diante desses mesmos preços, conforme explicitado nas equações, os mesmos passaram a ser o valor médio e a quantidade faturada total por município, relacionadas às primeiras variáveis, conforme mostrado na seção 3.2.1.4.

A solução para a minimização da Função Objetivo Social (-FO1) é equivalente à maximização de $FO1^*$ e resultou em ($FO1^*$ = -680.218.934,92; $FO2$ = 13.693.882,43). Com base na situação real da COMPESA ($FO1$ = -681.978.311,48; $FO2$ = 7.170.008,36), observa-se que a solução ótima permite aumentar o valor das duas funções objetivo, portanto, constata-se que o resultado da COMPESA é um ponto Pareto dominado próximo da fronteira.

Para obter a faixa de variação da Função Objetivo Financeira (FO2) e assim obter a fronteira de Pareto completa, pode-se resolver o problema alternativo, que é o de maximizar a Função Objetivo Financeira (FO2) sem restrições de valores para da Função Objetivo Social (FO1), o que resulta em ($FO2*$ = 415.145.136,56; $FO1$ = -837.286.300).

A partir daí, o problema de se obter a fronteira de Pareto é resolvido fazendo uma programação paramétrica alterando as constantes da restrição da Função Objetivo Financeira (FO2) em passos € de forma a percorrer o intervalo de FO2* entre 13,7 e 415,1 milhões de reais[24], conforme representado abaixo:

$$Max\ FO1$$
$$Sujeito\ a\ FO2 \geq FO2^* + €$$

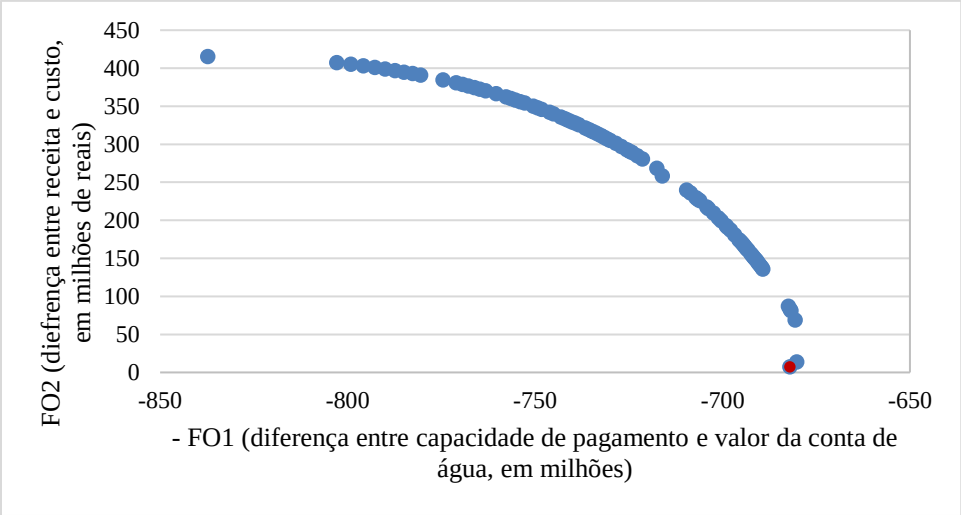
Cada um destes pontos, representa assim o máximo de FO1 (Função Objetivo Social), dado um determinado nível de FO2 (Função Objetivo Financeira) e vice-versa, o que significa que as soluções sobre a curva formam um conjunto de soluções não dominadas, enquanto pontos interiores são dominados e são pontos em que ambos os objetivos pioram. Os pontos na cor azul formam a fronteira de Pareto, enquanto o ponto vermelho é o resultado verificado pela COMPESA em 2010.

Outros aspectos importantes da Fronteira de Pareto são os *trade-offs* que podem ser mensurados entre os dois critérios de otimização. Ao caminhar sobre a Fronteira há trocas entre os dois objetivos que podem ser mensuradas facilmente. Por exemplo, quanto de lucro da

[24] Alternativamente, foram testadas restrições com valores de FO2 menores que 13,7 milhões, mais especificamente considerando FO2 aumentando € no intervalo 7,1 milhões a 13,7 milhões; também foram testados 3 valores neste intervalo, contudo os resultados obtidos foram não ótimos e/ou com soluções dominadas pelo resultado do ponto máximo de -FO1 (-$FO1^*$ = -680.218.934,92; $FO2$ = 13.693.882,43).

empresa é diminuído para ser compensado pela redução na diferença entre a capacidade de pagamento e o gasto com água dos consumidores.

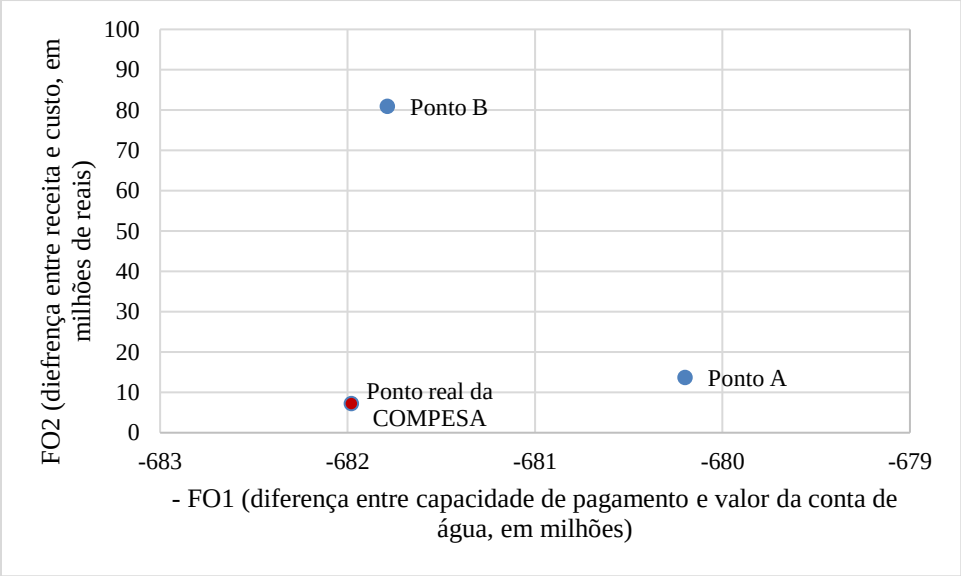
Figura 3 – Fronteira de Pareto para problema multiobjetivo da tarifa média e ponto de atuação real da COMPESA



Fonte: elaboração própria.

O modelo foi resolvido através do *software* GAMS, com o *solver* CONOPT, através do método NLP (programação não linear), que atende a não linearidade do modelo proposto. Para cada ponto do modelo multiobjetivo, o modelo em GAMS conta com 3.444 equações e 4.131 variáveis. Os resultados dos pontos ao longo da fronteira de Pareto, conforme gráfico Figura 3, representam os valores das duas FOs, e podem ser analisados também individualmente pelas demais variáveis de decisão, especialmente quantidades e preços, conforme Tabela 11, que traz estas informações para o Ponto A ($FO1$ = -680.218.934,92; $FO2$ = 13.693.882,43); e Ponto B ($FO1$ = -681.788.020,99; $FO2$ = 80.865.567,32). Estes dois pontos são especialmente importantes, pois: dominam, no sentido de Pareto, a atuação real da COMPESA; dentre os pontos da fronteira, o ponto A é o que tem a Função Objetivo Financeira (FO2) mais próxima da situação real da COMPESA e o Ponto B o mais próximo da Função Objetivo Social (FO1) praticada pela COMPESA.

Figura 4 – Pontos ótimos A e B do modelo multiobjetivo com tarifas médias e ponto de atuação real da COMPESA



Fonte: elaboração própria.

A Tabela 11 apresenta alguns resultados para os Pontos ótimos A e B. Para a Função Objetivo Social (FO1), dentre os 5 tipos de consumidores, os que apresentam maiores contribuições são os consumidores residenciais, principalmente os não sociais, em que todos os municípios apresentam capacidade de pagamento superior aos valores das contas de água. Em comparação ao resultado praticado pela COMPESA, os pontos ótimos A e B possuem maiores valores para a Função Objetivo Social (FO1) para os consumidores sociais e menores valores para os consumidores não sociais. Ambos os pontos (A e B) apresentaram valores não nulos para a Função Objetivo Social (FO1) referente às contribuições de consumidores não residenciais, contudo os valores são baixos, se comparado com os consumidores residenciais.

Entre o Ponto A e o Ponto B, a diferença entre às suas respectivas Funções Objetivo Social (FO1) é de apenas 0,2%, contudo a Função Objetivo Financeira (FO2) difere em 490,5%. Pela curvatura da Fronteira de Pareto, é possível perceber que nessa parte onde se encontram os Pontos A e B (e que a COMPESA atua próximo, sendo Pareto dominada por ambos os pontos), uma pequena perda na Função Objetivo Social (FO1) resulta em grande ganho na Função Objetivo Financeira (FO2). Este resultado se alinha com o estudo de Araújo e Bertussi (2018) sobre diversos sistemas tarifários praticados por empresas estaduais de saneamento no

Brasil, em que foi verificado que o desempenho econômico-financeiro vem sendo preterido em relação à modicidade tarifária.

Tabela 11 – Valores das funções-objetivo obtidos com valores ótimos dos pontos A, B e COMPESA

Resultados	Ponto A	Ponto B	Ponto COMPESA	Unid.
Função Objetivo 1 Social (-FO1)	680.218.935	681.788.021	681.978.311	R$
Função Objetivo 2 Financeira (R-C)	13.693.882	80.865.567	7.170.008	R$
Contribuição de resid. sociais na -FO1	10.153.139	10.108.848	6.138.006	R$
Cont. de resid. não sociais na -FO1	668.883.808	671.482.864	675.840.305	R$
Contribuição de comerciais na -FO1	343.474	75.775	-	R$
Contribuição de industriais na -FO1	128.596	37.293	-	R$
Contribuição de Governo na -FO1	709.918	83.242	-	R$
Receita Direta de Água (R)	642.016.841	640.348.340	641.506.321	R$
Custo Total do Serviço de Água (C)	628.322.959	559.482.772	634.336.312	R$
Nº de Economias Ativas	1.805.405	1.805.405	1.805.405	-
Nº de municípios que a_RS > b_RS	164	171	160	-
Nº de municípios que a_RS = b_RS	-	1	-	-
Nº de municípios que a_RS < b_RS	8	-	12	-
Nº de municípios que a_RNS > b_RNS	171	171	171	-
Nº de municípios que a_RNS = b_RNS	1	1	1	-
Nº de municípios com FO2 positiva	127	129	127	-
Nº de municípios com FO2 negativa	45	43	45	-

Fonte: elaboração própria.

Nota: FO1 é a Função Objetivo 1, a_RS e a_RNS são as capacidades de pagamento e b_RS e b_RNS são os valores das contas médias de água de consumidores representativos dos tipos residenciais sociais e não sociais.

A Tabela 12 apresenta a diferença entre os pontos ótimos B e A com respeito à receita direta de água e ao custo total do serviço. Portanto os resultados refletem o *trade-off* de sair do ponto A, que tem o resultado ótimo da Função Objetivo Financeira (FO2) mais próximo do resultado praticado pela COMPESA, para o Ponto B, que tem o resultado ótimo da Função

Objetivo Social (FO1) mais próximo do resultado praticado pela COMPESA. Os valores serão positivos caso seus valores no ponto B sejam superiores ao ponto A.

Tabela 12 – Diferença entre os pontos B e A da Receita Direta de Água e do custo total do serviço

	(B-A) da Receita Direta de Água						(B-A) do Custo Total do Serviço
	Residencial Social	Residencial Não Social	Comercial	Industrial	Pública	Total	
Total	10.798	-2.599.045	219.219	90.211	610.316	-1.668.501	-68.840.186
RD 01 Sertão de Itaparica	16.441	-9.730	4.439	43	3.868	15.061	0
RD 02 Sertão do S. Francisco	-21.651	-249.358	3.379	17.220	27.586	-222.823	-4.615.735
RD 03 Sertão do Araripe	-65.239	93.289	6.699	-69	52.658	87.339	-2.455.306
RD 04 Sertão Central	20.807	-428.902	177	22	61.530	-346.365	-7.101.914
RD 05 Pajeú	15.166	-248.955	5.273	-493	68.825	-160.184	-8.988.281
RD 06 Sertão do Moxotó	-64.469	-360.689	124	-18	1.249	-423.802	-7.106.439
RD 07 Agreste Meridional	-41.091	247.936	4.322	257	68.956	280.380	-677.033
RD 08 Agreste Central	88.608	87.591	46.718	3.460	70.949	297.326	-1.869.418
RD 09 Agreste Setentrional	-15.925	50.271	6.655	-273	28.103	68.831	-913.187
RD 10 Mata Sul	-32.809	-154.437	5.438	-15.050	54.140	-142.718	-2.821.794
RD 11 Mata Norte	22.551	15.717	9.784	1.556	211.360	260.969	263.916
RD 12 Metropolitana	88.410	-1.641.779	126.210	83.554	-38.910	-1.382.515	-32.554.996

Fonte: elaboração própria.

A Região Metropolitana reduziu a sua contribuição em R$ 1.382.515 nas receitas diretas de água para os consumidores residenciais, sendo puxado principalmente pelos consumidores residenciais não sociais, que reduziu em R$ 2.599.045. Com respeito à diferença no Custo Total do Serviço, houve uma redução de R$ 68.840.186, sendo a redução somente da Região Metropolitana dada por R$ 32.554.996. Esta situação evidencia que a estratégia ótima obtida pelo ponto B em relação ao ponto A, garante um desempenho financeiro maior principalmente pela redução nos custos muito superior a redução nas receitas.

No mais, entre os pontos A e B, não houve diferenças significativas entre os demais tipos de consumidores na receita direta de água por Regiões de Desenvolvimento e tipo de consumidores, sendo que as regiões do Agreste passaram a contribuir mais com a Receita Direta de Água, no valor de R$ 280.380 para o Agreste Meridional, R$ 297.326 para o Agreste Central e R$ 68.831 para o Agreste Setentrional. Apenas duas regiões não reduziram o custo total do

serviço, Região Sertão de Itaparica manteve no Ponto B o mesmo custo do Ponto A e a Região Mata Norte foi a única que teve seu custo aumentado no Ponto B em relação ao Ponto A, em R$ 263.916.

Tabela 13 – Diferença (B-A) de pagamento para consumidores representativos

	(B-A) Pagamento de um consumidor representativo (em R$)					
	Residencial Social	Residencial Não Social	Comercial	Industrial	Público	Total
COMPESA (Ponto A)	0,04	-1,82	3,07	24,49	52,81	-0,92
RD 01 (Sertão de Itaparica)	4,25	-0,58	4,87	1,28	11,41	0,69
RD 02 (Sertão do S. Francisco)	-1,65	-4,04	0,98	313,10	47,64	-2,82
RD 03 (Sertão do Araripe)	-4,81	3,01	7,88	-0,63	110,39	1,90
RD 04 (Sertão Central)	1,92	-20,20	0,17	1,18	130,36	-10,31
RD 05 (Pajeú)	0,78	-5,87	3,31	-7,15	111,37	-2,50
RD 06 (Sertão do Moxotó)	-6,85	-16,78	0,16	-0,41	4,79	-13,25
RD 07 (Agreste Meridional)	-1,50	3,61	1,86	2,83	73,51	2,82
RD 08 (Agreste Central)	1,74	0,46	4,68	4,73	44,73	1,16
RD 09 (Agreste Setentrional)	-0,88	0,70	2,24	-0,94	37,47	0,73
RD 10 (Mata Sul)	-1,49	-2,26	1,97	-143,34	68,10	-1,52
RD 11 (Mata Norte)	0,94	0,26	4,45	20,75	264,86	2,97
RD 12 (Metropolitana)	1,10	-2,14	2,97	40,60	-9,87	-1,54

Fonte: elaboração própria.

Quanto ao pagamento para consumidores representativos, a Tabela 13 traz a diferença entre o Ponto B e o Ponto A, de modo que se verifica para o Total de municípios estudados uma redução de R$ 1,82 no pagamento na categoria residencial não social, apesar de algumas regiões como Sertão Central e Sertão do Moxotó terem reduzido seus pagamentos por consumidor em, respectivamente, R$ 20,20 e R$ 16,78. Para a categoria residencial social, houve redução na metade das categorias e aumento na outra metade, porém para o total de municípios houve um leve aumento de R$ 0,04 para cada consumidor.

Nas demais categorias houve incremento no pagamento de um consumidor representativo, com destaque para a categoria industrial nas regiões do Sertão de São Francisco (aumento de R$ 313,10) e Mata Sul (redução de R$ 143,34) e para a categoria Público (Administração Pública), com aumento em praticamente todas as regiões, sendo algumas com

valores expressivos, como a Mata Norte (aumento de R$ 264,86 por consumidor). Na categoria Público, a Região Metropolitana foi a única que apresentou redução do ponto B para o Ponto A em termos de pagamento por consumidor, mais especificamente uma redução de R$ 9,87.

A Tabela 14 indica o *trade-off* de sair do Ponto A para o Ponto B relacionado ao volume faturado. Para o total de municípios, este quesito apresenta uma redução de 8,2 milhões de metros cúbicos no volume faturado, de modo que houve aumentos apenas nas regiões Agreste Meridional (74.014 m³) e Mata Norte (111.771 m³).

Tabela 14 – Diferença (B-A) de volume faturado em metros cúbicos

	Volume faturado em m³ (B-A)					
	Resid. Social	Resid. Não Social	Comercial	Industrial	Pública	Total
Total	-2.476.378	-6.382.984	171.516	28.279	411.378	-8.248.189
RD 01 (Sertão de Itaparica)	22.606	-34.410	6.267	39	5.488	-10
RD 02 (Sertão do S. Francisco)	-61.321	-586.110	6.816	41.229	24.380	-575.005
RD 03 (Sertão do Araripe)	-600.137	10.738	9.531	-193	45.464	-534.597
RD 04 (Sertão Central)	-109.901	-1.076.011	2.214	17	43.714	-1.139.966
RD 05 (Pajeú)	-283.131	-680.758	8.955	-429	46.936	-908.427
RD 06 (Sertão do Moxotó)	-252.866	-931.393	218	-21	1.834	-1.182.229
RD 07 (Agreste Meridional)	-514.131	525.527	6.439	861	55.318	74.014
RD 08 (Agreste Central)	-349.853	181.909	49.441	7.279	54.874	-56.350
RD 09 (Agreste Setentrional)	-252.776	183.278	8.609	-658	21.471	-40.076
RD 10 (Mata Sul)	-240.139	-573.894	7.984	-50.814	38.282	-818.580
RD 11 (Mata Norte)	-58.047	34.249	15.224	1.005	119.340	111.771
RD 12 (Metropolitana)	223.319	-3.436.110	49.819	29.963	-45.723	-3.178.733

Fonte: elaboração própria.

O preço ótimo e o custo ótimo por metro cúbico faturado, ambos como diferença entre os pontos B e A, são mostradas na Tabela 15, por RD e por tipo de consumidor. Como o Ponto B apresenta lucro de R$ 80,9 milhões e, portanto, superior ao lucro do Ponto A de R$13,7 milhões, já era de se esperar uma redução de custos e um aumento no preço ótimo para a COMPESA como um todo. A redução no custo ótimo foi de R$ 0,19 e o aumento do preço (por metro cúbico faturado) foi de R$ 0,07. Além disso, verificou-se uma redução no custo ótimo e aumento de preço ótimo médio em 10 Regiões de Desenvolvimento e as outras duas (Sertão de Itaparica e Mata Norte) ficaram na mesma situação, ou seja, com a diferença do Ponto B para

o Ponto A igual a zero. Estas duas Regiões apresentaram alterações nas tarifas entre as categorias de consumidores. A região com maior diferença do ponto B para o Ponto A foi Sertão do Moxotó, com a diferença do Ponto B para o Ponto A com redução de custo ótimo de R$ 0,86 e aumento no preço ótimo médio de R$ 0,98. Na diferença do Ponto B para o Ponto A, os preços ótimos da categoria Residencial Social tiveram aumento em 10 das 12 Regiões de Desenvolvimento, enquanto na categoria não social, o aumento foi em 8 das 12 Regiões de Desenvolvimento.

Tabela 15 – Diferença (B-A) de Preço Ótimo Médio e Custo Ótimo por Metro Cúbico Faturado da COMPESA

	(B-A) Custo Ótimo por m³ faturado (em R$/m³)	(B-A) Preços Ótimos (em R$/m3)					
		Resid. Social	Resid. Não Social	Comerc.	Indust.	Pública	Total
Total	-0,19	0,36	0,05	-0,04	-0,00	-0,16	0,07
RD 01 Sertão de Itaparica	0,00	-0,28	0,02	-0,14	-0,03	-0,07	0,00
RD 02 Sertão do S. Francisco	-0,30	0,21	0,10	-0,04	-0,63	-0,11	0,10
RD 03 Sertão do Araripe	-0,23	1,14	0,01	-0,23	0,01	-0,86	0,21
RD 04 Sertão Central	-0,82	0,52	0,57	-0,04	-0,01	-0,73	0,57
RD 05 Pajeú	-0,87	0,63	0,17	-0,14	0,20	-0,64	0,23
RD 06 Sertão do Moxotó	-0,86	0,89	0,99	-0,01	0,01	-0,06	0,98
RD 07 Agreste Meridional	-0,06	0,52	-0,07	-0,06	-0,14	-0,48	0,01
RD 08 Agreste Central	-0,05	0,32	-0,01	-0,09	-0,13	-0,18	0,01
RD 09 Agreste Setentrional	-0,07	0,45	-0,03	-0,11	0,09	-0,24	0,01
RD 10 Mata Sul	-0,08	0,42	0,10	-0,06	0,44	-0,35	0,14
RD 11 Mata Norte	0,00	0,12	-0,00	-0,15	-0,28	-1,18	0,00
RD 12 Metropolitana	-0,17	-0,14	0,05	-0,01	-0,00	0,04	0,05

Fonte: elaboração própria.

Os resultados ótimos mostram, em geral, preços ótimos maiores que as tarifa médias utilizadas pela COMPESA. Os resultados ótimos apresentaram preços dos consumidores residenciais sociais bem mais elevados do que os verificados pela COMPESA, sendo que em alguns municípios, o resultado ótimo apresentou preço para o consumidor residencial social maior que para o consumidor residencial não social. Esta é uma situação que deve ser entendida como uma sinalização de que as tarifas residenciais sociais atendem à capacidade de pagamento dos consumidores, mas comprometem a contribuição no resultado financeiro da companhia.

Sabemos que na prática, a tarifa social tem um valor previamente estabelecido e é dada como uma proporção da tarifa não social. Para efeito de modelagem, isto ocorre devido ao fato de ter-se deixado as variáveis de preços de todos os tipos de uso, livres de restrições diretas, deixando sua valoração mais livre possível. De todo modo, para estudos mais específicos de implantação de tarifa social, pode-se modelar a otimização aumentando o peso dos consumidores sociais na Função Objetivo Social (FO1) e na Função Objetivo Financeira (FO2), especialmente quando a cobrança ultrapassa a capacidade de pagamento do consumidor residencial, ou restringir o valor da tarifa social como um percentual da tarifa não social.

Apesar de os valores da Função Objetivo Social (FO1) e da Função Objetivo Financeira (FO2) terem maiores impactos pelos consumidores não sociais (pois são os que tem mais economias ativas), a busca pelo ótimo com aumento nas tarifas sociais indica que as tarifas sociais podem estar comprometendo a capacidade de financeira da COMPESA e, desta forma, evitando investimentos que poderiam permitir melhor prestação de serviços e uma aproximação mais intensa pela universalização.

O preço ótimo dos consumidores residenciais sociais nos pontos A e B maior que a tarifa praticada pela COMPESA também se explica pela capacidade de pagamento dos consumidores residenciais ser um pouco maior do que a conta de água média praticada pela COMPESA e o modelo considerar este fator em sua FO1 – Social. Cabe destacar que na maioria dos estados do Brasil, as tarifas residenciais possuem classificações de modo semelhante com as de Pernambuco[25], porém algumas companhias adotam uma classificação de consumidor residencial a mais, chamada de "popular" na CAGECE (Ceará) e na CAERN (Rio Grande do Norte) e "intermediária" na EMBASA (Bahia), em que a tarifa é bem maior que a "social" e menor que a "residencial"; enquanto que a SABESP (São Paulo) adota uma tarifa para "favelas" com valor inferior ao dos consumidores sociais.

[25] Quanto a classificação de categoria residenciais, as companhias podem ser divididas em 3 grupos, a saber: i) Usam a classificação de consumidores "residencial" e "social": COSAMA (Amazonas), CASAL (Alagoas), CAESA (Amapá), CESAN (Espírito Santo), SANEAGO (Goiás), CAEMA (Maranhão), COPASA (Minas Gerais), Sanesul (Mato Grosso do Sul), CAGEPA (Paraíba), COMPESA (Pernambuco), AGESPISA (Piauí), SANEPAR (Paraná), CEDAE (Rio de Janeiro), CAER (Roraima), CAERD (Rondônia) e CORSAN (Rio Grande do Sul); ii) a CAESB (Distrito Federal) usa a classificação "popular" mas não usa a classificação "social"; iii) as companhias que adotam as classificações "residencial" e "social" e mais uma terceira classificação para os consumidores residenciais são: CAGECE e CAERN, que usam a classificação "popular"; EMBASA (Bahia), que usa a classificação "intermediária"; e SABESP (São Paulo) usa a classificação "favelas", porém esta tem uma tarifa menor que a "social" (Pesquisa feita através dos sites destas Companhias).

Tabela 16 – Diferença (B-A) e (A-COMPESA) da Função Objetivo Social (FO1) e da Função Objetivo Financeira (FO2) em R$ por Região de Desenvolvimento

	(B-A) de -FO1	(B-A) de FO2	(A-COMPESA) de -FO1	(A-COMPESA) de FO2
Total	-1.569.086	67.171.685	1.759.377	6.523.874
RD 01 (Sertão de Itaparica)	15.063	15.061	44.467	32.724
RD 02 (Sertão do S. Francisco)	-222.000	4.392.912	123.482	133.898
RD 03 (Sertão do Araripe)	108.668	2.542.645	36.494	-27.834
RD 04 (Sertão Central)	-343.081	6.755.548	18.187	-16.334
RD 05 (Pajeú)	-150.548	8.828.097	-35.929	-26.293
RD 06 (Sertão do Moxotó)	-423.734	6.682.637	557.631	463.040
RD 07 (Agreste Meridional)	291.356	957.412	32.940	418.907
RD 08 (Agreste Central)	300.585	2.166.744	154.352	3.986.457
RD 09 (Agreste Setentrional)	77.426	982.018	37.686	463.847
RD 10 (Mata Sul)	-139.648	2.679.076	124.980	128.050
RD 11 (Mata Norte)	263.782	-2.947	-2.112	264.617
RD 12 (Metropolitana)	-1.346.954	31.172.481	667.199	702.796

Fonte: elaboração própria.

A Tabela 16 apresenta as diferenças do Ponto B para o Ponto A para os valores ótimos da Função Objetivo Social (FO1) e da Função Objetivo Financeira (FO2) por Região de Desenvolvimento. Ocorre um aumento de aproximadamente R$ 67,2 milhões na Função Objetivo Financeira (FO2), enquanto a perda resultante Função Objetivo Social (FO1) foi de uma redução de aproximadamente 1,6 milhões. Comparando com os valores verificados pela COMPESA, e entre si, a FO2 do Ponto B é muito diferente da FO2 dos outros dois pontos (Ponto A e Ponto praticado pela COMPESA), indicando que o ótimo do Ponto B, por exemplo, permite uma combinação de preços adotados e quantidades faturadas (resposta dos consumidores aos preços) que deve melhorar significativamente o desempenho financeiro da Companhia, inclusive em RDs que em 2010 foram deficitárias. Isto aconteceu com 5 RDs, a saber: Sertão do Araripe, Pajeú, Sertão do Moxotó, Mata Sul e Metropolitana, enquanto a RD Sertão Central, foi a única RD a permanecer com o déficit no Ponto B, ainda assim é um resultado de R$ -26.597,40 no Ponto B, contra R$ -6.765.811,78 no resultado praticado pela COMPESA e R$ -6.782.145,76 no Ponto A, o que resultou numa diferença do Ponto B para o ponto A de R$ 6.755.548,36 em relação a FO2. A Região Mata Norte foi a única a apresentar perda em FO2 do Ponto B para o Ponto A, porém uma redução de apenas R$ 2.946,55.

Os resultados evidenciados revelam que é possível alterar significativamente os valores da Função Objetivo Financeira (FO2) com pequena alteração nos valores da Função Objetivo Social (FO1), movendo-se do ponto A para o B, ambos pertencentes à Fronteira de Pareto. Como a COMPESA atua próximo aos pontos A e B, esse é um resultado animador e útil para a tomada de decisão, pois mostra que ganhos significativos na capacidade de investimento da companhia, a ser obtidos sem grandes perdas na capacidade de pagamento dos usuários. Ademais, análises mais detalhadas dos resultados do modelo de otimização multiobjetivo com blocos tarifários, que serão feitas na próxima seção, pode subsidiar uma definição de estrutura tarifária que possibilite a absorção dessas perdas, protegendo os mais vulneráveis e ao mesmo tempo possibilitando a saúde financeira das companhias.

4.2.1 Variação do ponto A (ótimo) em relação ao ponto de atuação da COMPESA (verificado)

Dado que o ponto A é ótimo segundo o critério social (FO1) e apresenta valores semelhantes ao ponto da COMPESA no que se refere ao objetivo financeiro (FO2), a comparação dos valores do ponto A em relação ao ponto atual da COMPESA é útil à tomada de decisão, assim como o será a comparação do ponto B com a COMPESA na próxima seção.

Essa primeira comparação (ponto A e ponto COMPESA) deve mostrar os efeitos de se aplicar preços médios de cobrança por tipo de consumidor e município ótimos de acordo com o critério de minimizar a diferença entre os valores gastos e a capacidade de pagamento dos usuários, sem alterar em praticamente nada os resultados financeiros da Companhia.

Observa-se que os aumentos de preços médios ótimos são generalizados e significativos percentualmente em todas as RD´s para o consumidor da categoria residencial social, acompanhados pela redução mais discreta percentualmente, mas também disseminada em todas as RD´s dos valores para o consumidor residencial não-social. Estes aumentos, no entanto (ver Tabela 11), aumentam o quantitativo dos municípios em que a capacidade de pagamento é maior do que os gastos do consumidor representativo da categoria social (de 160 para 164) e reduz a quantidade em que a capacidade é menor (de 12 para 8). Ao mesmo tempo, o ajuste dos valores cobrados para a categoria de residencial não-social não altera a distribuição do quantitativo dos municípios, com apenas 1 deles entre os 172, tendo a capacidade de pagamento

deste tipo de consumidor (residencial não social) igual as despesas decorrentes do preço médio ótimo.

Tabela 17 – Crescimento dos preços ótimos e do Custo ótimo no Ponto A em relação ao ponto de atuação da COMPESA

	Variação percentual do Custo ótimo por m³ faturado (em R$/m3) do Ponto A em relação a COMPESA*	Variação percentual do Preço Ótimo (em R$/m3) do ponto A em relação a COMPESA*					
		Resid. Social	Resid. Não Social	Comerc.	Indust.	Pública	Total
Total	-0,50	115,93	-8,44	1,45	1,79	4,15	0,53
RD 01 Sertão de Itaparica	-0,00	209,89	-11,21	3,05	0,38	1,43	0,38
RD 02 Sertão do S. Francisco	-0,02	148,88	-9,39	1,52	23,96	2,86	0,42
RD 03 Sertão do Araripe	-0,08	34,34	-11,54	5,02	-0,21	20,44	-0,31
RD 04 Sertão Central	-0,00	113,80	-19,96	0,96	0,18	15,69	-0,16
RD 05 Pajeú	-0,00	97,28	-18,30	5,40	0,28	17,69	-0,16
RD 06 Sertão do Moxotó	9,69	83,14	-3,95	0,13	-0,26	1,26	10,84
RD 07 Agreste Meridional	-0,48	70,03	-12,46	1,64	3,30	10,57	1,41
RD 08 Agreste Central	-4,53	112,34	-10,73	2,16	2,70	4,23	0,51
RD 09 Agreste Setentrional	-1,15	86,23	-9,01	2,37	-0,31	8,46	1,12
RD 10 Mata Sul	0,00	107,41	-13,78	1,68	22,87	7,68	0,49
RD 11 Mata Norte	-0,27	131,05	-16,31	3,58	3,87	25,47	0,94
RD 12 Metropolitana	0,00	188,10	-5,22	0,98	0,11	0,32	0,20

Fonte: Elaboração própria.

Nota (*): (A-COMPESA)·100/COMPESA.

Cabe ainda ressaltar que a elevação da tarifa do consumidor social no Ponto ótimo A em relação ao Ponto de atuação da COMPESA considera como capacidade de pagamento ótima o percentual de 3% da renda média dos domicílios, conforme indicado por Martins *et al.*, (2016). Mais especificamente, os resultados obtidos na tabela 17 sugerem que ou este percentual de 3% da renda média dos consumidores residenciais devem ser revisados para o caso de Pernambuco, devendo ser um percentual menor que 3% ou a tarifa social praticada pela COMPESA pode estar subvalorizada, com subsídio maior do que deveria.

De todo modo, não conseguimos identificar um estudo fundamentando o valor da tarifa social ser o que é, mais especificamente justificando se o subsídio cruzado em benefício do consumidor social deveria ser maior ou menor do que é atualmente; é, sobretudo, uma questão de decisão da regulação econômica que envolve a sociedade como um todo em Pernambuco. O

aumento da disponibilidade financeira, seja por um aumento de receita dos consumidores sociais ou não sociais poderia favorecer a universalização, cabendo destacar que como os consumidores sociais estão em menor número e suas tarifas são menores, seu impacto no resultado financeiro é menor.

O ajuste pelos preços médios ótimos (elevação para a categoria residencial social e diminuição para o não-social) tem como consequências alterações nas quantidades demandadas (Tabela 19) e nas Receitas Diretas de Água e Custo Total do Serviço (Tabela 18). Houve reduções nas receitas da categoria residencial social e aumento na categoria residencial não social. De modo geral, ao sair do ponto real da COMPESA para o Ponto ótimo A, houve um leve aumento nas receitas (0,08%) e uma queda no Custo Total do Serviço (-0,95%), portanto aumentando a Função Objetivo Financeira.

Tabela 18 - Crescimento da Receita Direta de Água e do Custo no Ponto A em relação ao ponto de atuação da COMPESA

	Variação percentual da Receita Direta de Água no Ponto Ótimo A*						Variação percentual do Custo Total do Serviço no Ponto Ótimo A*
	Residencial Social	Residencial Não Social	Comercial	Industrial	Pública	Total	
Total	-15,59	1,25	-0,44	-0,54	-1,58	0,08	-0,95
RD 01 Sertão de Itaparica	-20,36	2,00	-0,54	-0,07	-0,24	0,38	0,00
RD 02 Sertão do S. Francisco	-14,68	1,63	-0,21	-3,55	-0,77	0,37	-0,06
RD 03 Sertão do Araripe	-11,79	0,68	-0,88	0,02	-6,01	-1,13	-0,90
RD 04 Sertão Central	-19,18	3,47	-0,02	-0,04	-5,58	-0,16	0,00
RD 05 Pajeú	-18,06	2,87	-1,01	-0,05	-5,99	-0,15	0,00
RD 06 Sertão do Moxotó	-11,36	-4,53	-0,02	0,05	-0,21	-4,48	-5,47
RD 07 Agreste Meridional	-12,22	1,54	-0,30	-0,25	-3,39	-0,20	-2,06
RD 08 Agreste Central	-16,75	1,68	-0,58	-0,30	-1,57	0,19	-4,84
RD 09 Agreste Setentrional	-13,38	1,40	-0,26	0,04	-2,43	0,17	-2,09
RD 10 Mata Sul	-13,52	2,38	-0,36	-2,87	-3,05	0,49	0,00
RD 11 Mata Norte	-15,26	2,99	-0,64	-1,00	-11,17	0,00	-1,20
RD 12 Metropolitana	-16,94	0,90	-0,44	-0,43	-0,06	0,20	0,00

Fonte: Elaboração própria.

Nota (*): (A-COMPESA)·100/COMPESA.

Os novos preços médios ótimos obtidos no ponto A em comparação aos preços praticados pela COMPESA, fazem com que o consumo seja menor para as categorias residencial social, comercial, industrial e pública e para o total das categorias, sendo que na categoria residencial não social, a redução nos preços conduz um aumento no consumo, o que pode ser visto na Tabela 19, refletido pela diferença no volume faturado do Ponto de atuação da COMPESA para o Ponto A. Em termos de RDs, o maior impacto percentual é no Sertão do Moxotó, com redução no Volume Faturado em 13,82%, enquanto a segunda região com a menor redução no volume faturado é o Agreste Meridional, com queda de 1,59%.

Tabela 19 - Crescimento de Volume Faturado no Ponto A em relação ao ponto de atuação da COMPESA

	Variação percentual de Volume Faturado no Ponto A em relação ao ponto de atuação da COMPESA*					
	Resid. Social	Resid. Não Social	Comercial	Industrial	Pública	Total
Total	-60,91	10,58	-1,87	-2,29	-5,50	-0,45
RD 01 (Sertão de Itaparica)	-74,30	14,88	-3,48	-0,44	-1,64	0,00
RD 02 (Sertão do S. Francisco)	-65,72	12,15	-1,70	-22,19	-3,53	-0,04
RD 03 (Sertão do Araripe)	-34,34	13,82	-5,62	0,24	-21,96	-0,82
RD 04 (Sertão Central)	-62,20	29,28	-0,97	-0,22	-18,39	0,00
RD 05 (Pajeú)	-58,47	25,92	-6,08	-0,33	-20,12	0,00
RD 06 (Sertão do Moxotó)	-51,60	-0,60	-0,15	0,31	-1,46	-13,82
RD 07 (Agreste Meridional)	-48,37	15,99	-1,90	-3,43	-12,63	-1,59
RD 08 (Agreste Central)	-60,79	13,90	-2,68	-2,92	-5,56	-0,32
RD 09 (Agreste Setentrional)	-53,49	11,44	-2,57	0,35	-10,04	-0,95
RD 10 (Mata Sul)	-58,30	18,74	-2,01	-20,95	-9,97	-0,00
RD 11 (Mata Norte)	-63,32	23,06	-4,08	-4,68	-29,20	-0,93
RD 12 (Metropolitana)	-71,17	6,46	-1,41	-0,54	-0,37	-0,00

Fonte: Elaboração própria.

Nota (*): (A-COMPESA)·100/COMPESA.

4.2.2 Variação do ponto B (ótimo) em relação ao ponto de atuação da COMPESA (verificado)

Dado que o ponto B é ótimo segundo o critério Social (FO1) e impõe uma restrição maior para o critério Financeiro (FO2) que o Ponto A, o ponto B apresenta valores semelhantes ao ponto da COMPESA com relação ao aspecto social, a comparação deste ponto B com a

COMPESA serve para verificar como se conseguiria melhorar o resultado financeiro da Companhia mantendo o critério social praticamente inalterado.

Tabela 20 - Crescimento dos preços ótimos e do Custo ótimo no Ponto B em relação ao ponto de atuação da COMPESA

	Variação percentual do Custo ótimo por m³ faturado (em R$/m3) do Ponto B em relação a COMPESA*	Variação percentual do Preço Ótimo (em R$/m3) do Ponto B em relação a COMPESA*					
		Resid. Social	Resid. Não Social	Comerc.	Indust.	Pública	Total
Total	-8,59	162,66	-6,27	0,58	1,75	0,88	3,46
RD 01 Sertão de Itaparica	0,00	174,66	-10,21	0,00	0,00	0,00	0,56
RD 02 Sertão do S. Francisco	-19,71	174,21	-5,11	0,75	0,07	0,51	4,38
RD 03 Sertão do Araripe	-11,24	180,48	-10,90	0,00	-0,00	0,00	9,78
RD 04 Sertão Central	-23,12	178,64	3,99	-0,00	0,00	0,00	26,08
RD 05 Pajeú	-30,56	184,65	-11,00	2,17	3,62	3,85	11,07
RD 06 Sertão do Moxotó	-13,00	210,76	34,24	0,00	0,00	0,00	54,80
RD 07 Agreste Meridional	-4,01	136,99	-15,61	0,21	0,00	0,16	1,85
RD 08 Agreste Central	-6,75	154,01	-11,14	0,10	0,12	0,24	1,03
RD 09 Agreste Setentrional	-5,44	148,31	-10,40	0,80	1,06	3,11	1,71
RD 10 Mata Sul	-3,76	161,55	-9,40	-0,00	46,17	0,00	6,98
RD 11 Mata Norte	-0,00	147,06	-16,53	0,00	0,00	0,00	1,06
RD 12 Metropolitana	-6,75	170,83	-3,03	0,73	0,02	1,15	2,08

Fonte: Elaboração própria.

Nota (*): (B-COMPESA)·100/COMPESA.

Observa-se que os aumentos nos preços são generalizados e significativos percentualmente em todas as RD´s para o consumidor da categoria residencial social, sendo, no geral, uma estratégia que aumenta ainda mais os preços do que a do ponto A. Para o total dos 172 municípios, o aumento nos preços foi de 162,66%. O maior aumento ocorreu em Sertão do Moxotó (210,76%) e o menor aumento foi em Agreste Meridional (136,99%). Para os consumidores não sociais, ocorre redução mais discreta percentualmente, em quase todas as RD´s, exceto a RD Sertão Central, que tem um aumento de 3,99% nos preços ótimos médios do ponto B em comparação aos preços médios praticados pela COMPESA. Estes aumentos, no entanto (ver Tabela 11), aumentam o quantitativo dos municípios em que a capacidade de pagamento é maior do que os gastos do consumidor representativo da categoria social (de 160 para 171) e elimina a quantidade em que a capacidade é menor (de 12 para 0). Ao mesmo tempo,

o ajuste dos valores cobrados para a categoria de residencial não-social não altera a distribuição do quantitativo dos municípios, com apenas 1 deles entre os 172, tendo a capacidade de pagamento deste tipo de consumidor (residencial não social) igual as despesas decorrentes do preço médio ótimo. Esta situação ocorre devido aos novos preços influenciarem o volume faturado (ver Tabela 22), a receita e os custos (ver tabela 21).

Além disso, no custo ótimo do ponto B houve significativa redução no custo por metro cúbico faturado, de 8,59% (Tabela 20). Tendo em vista a queda também no volume faturado (Tabela 22), a queda no custo ótimo total foi de -11,8%, conforme pode ser visto na Tabela 21.

Tabela 21 – Crescimento da Receita Direta de Água ótima e do Custo ótimo no Ponto A em relação ao ponto de atuação da COMPESA

	Variação percentual da Receita Direta de Água no Ponto Ótimo B*						Variação percentual do Custo Total do Serviço no Ponto Ótimo B*
	Residencial Social	Residencial Não Social	Comercial	Industrial	Pública	Total	
Total	-15,55	0,70	-0,11	-0,16	-0,19	-0,18	-11,80
RD 01 Sertão de Itaparica	-15,73	1,83	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00
RD 02 Sertão do S. Francisco	-16,32	0,54	-0,13	-0,02	-0,09	-0,31	-23,32
RD 03 Sertão do Araripe	-16,83	1,64	0,00	-0,00	0,00	-0,45	-19,51
RD 04 Sertão Central	-17,26	-2,41	0,00	0,00	0,00	-3,45	-41,13
RD 05 Pajeú	-17,14	0,93	-0,53	-0,82	-1,12	-1,09	-38,17
RD 06 Sertão do Moxotó	-19,63	-9,26	0,00	0,00	0,00	-8,85	-48,77
RD 07 Agreste Meridional	-13,80	2,67	-0,04	0,00	-0,03	0,79	-5,00
RD 08 Agreste Central	-14,87	1,82	-0,03	-0,04	-0,08	0,55	-7,20
RD 09 Agreste Setentrional	-14,41	1,64	-0,07	-0,06	-0,54	0,41	-6,65
RD 10 Mata Sul	-15,16	1,61	0,00	-5,10	0,00	-0,06	-10,08
RD 11 Mata Norte	-14,25	3,07	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00
RD 12 Metropolitana	-15,88	0,28	-0,14	-0,01	-0,23	-0,19	-8,83

Fonte: Elaboração própria.

Nota (*): (B-COMPESA)·100/COMPESA.

Houve reduções nas receitas da categoria residencial social e aumento na categoria residencial não social. De modo geral, ao sair do ponto real da COMPESA para o Ponto ótimo B, houve uma redução nas receitas (-0,18%), mas aumento na receita líquida devido à diminuição dos custos, e assim resultando no aumento na Função Objetivo Financeira (FO2), conforme foi apresentado na Tabela 11, saindo de R$ 7.170.008,36 no ponto de atuação da

COMPESA para R$ 80.865.567,32 no ponto ótimo B. Este ganho no critério Financeiro (FO2) poderia ser utilizado para financiar a ampliação e melhoramento do sistema de Abastecimento de água (e de Coleta e Tratamento de Esgotamento), que apresentam déficits expressivos em diversos municípios de Pernambuco mantendo praticamente o resultado que a COMPESA já opera no critério social (FO1).

Devido aos preços médios ótimos mais elevados no ponto B para a categoria Residencial Social, os volumes faturados tiveram uma expressiva redução em todas as RD's. Para a categoria residencial não social, houve reduções no volume faturado das RD's Sertão Central e Sertão do Moxotó. Em princípio, o modelo não impôs restrições que satisfizessem o atendimento a demandas mínimas, para verificar mais precisamente os *trade-offs* existentes. Contudo, a plataforma desenvolvida neste estudo permite que sejam incorporadas restrições deste tipo, posteriormente no caso de se desejar incluir valores mínimos de atendimento para cada um dos tipos de consumidores, inclusive os residenciais.

Tabela 22 - Crescimento (%) de Volume Faturado no Ponto B em relação ao ponto de atuação da COMPESA

	Crescimento (%) de Volume Faturado no Ponto B em relação ao ponto de atuação da COMPESA*					
	Resid. Social	Resid. Não Social	Comercial	Industrial	Pública	Total
Total	-67,85	7,44	-0,69	-1,88	-1,06	-3,52
RD 01 (Sertão de Itaparica)	-69,32	13,41	0,00	0,00	-0,00	-0,00
RD 02 (Sertão do S. Francisco)	-69,48	5,96	-0,87	-0,09	-0,60	-4,49
RD 03 (Sertão do Araripe)	-70,35	14,08	0,00	-0,00	0,00	-9,32
RD 04 (Sertão Central)	-70,30	-6,16	0,00	0,00	0,00	-23,42
RD 05 (Pajeú)	-70,89	13,40	-2,64	-4,29	-4,79	-10,95
RD 06 (Sertão do Moxotó)	-74,14	-32,40	-0,00	0,00	0,00	-41,12
RD 07 (Agreste Meridional)	-63,63	21,66	-0,25	0,00	-0,19	-1,04
RD 08 (Agreste Central)	-66,48	14,57	-0,13	-0,16	-0,32	-0,48
RD 09 (Agreste Setentrional)	-65,53	13,44	-0,86	-1,10	-3,54	-1,28
RD 10 (Mata Sul)	-67,56	12,16	0,00	-35,08	0,00	-6,57
RD 11 (Mata Norte)	-65,29	23,48	0,00	0,00	0,00	0,00
RD 12 (Metropolitana)	-68,94	3,42	-0,86	-0,03	-1,36	-2,23

Fonte: Elaboração própria.

Nota (*): (B-COMPESA)·100/COMPESA.

4.3 Modelo multiobjetivo com blocos tarifários

Para o modelo multiobjetivo com blocos tarifários crescentes, a solução do problema de otimização, descrito no item 3.2, tem como variáveis de decisão os preços por faixa de consumo, e as quantidades demandadas resultantes dos preços ótimos identificados, através das funções de demanda já estabelecidas. As equações relacionadas às receitas obtidas pelos blocos tarifários estão apresentadas na seção 3.2.1.5.

A solução para a maximização de $FO1^*$ resultou em ($FO1^*$ = -829.449.600; $FO2$ = 160.000.000,00). Utilizaram-se consumidores representativos para os municípios, como sendo a média das variáveis relacionadas aos consumidores de cada um dos municípios. Os resultados foram obtidos por tipo de consumidor, o que é um avanço se comparado com os dados divulgados pelo SNIS, em que não há a divisão de consumidores adotado pela COMPESA. Deste modo, como são 5 categorias de consumidores (residencial não social, residencial social, comercial, industrial e público), em cada município temos um consumidor representativo médio para cada uma destas categorias.

O problema de se obter a fronteira de Pareto foi resolvido fazendo também uma programação paramétrica alterando as constantes da restrição da Função-objetivo 2 em passos €=4.000.000,00 de forma a percorrer o intervalo de FO2* entre 0,00 e 640 milhões de reais[26], conforme representado abaixo:

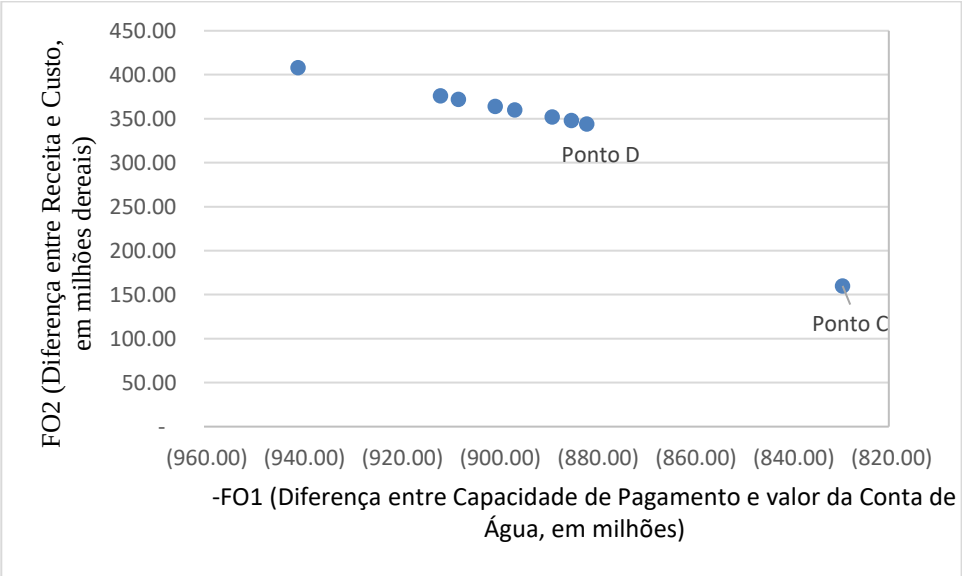
$$Max\ FO1$$
$$Sujeito\ a\ FO2 \geq FO2^* + €$$

Cada um destes pontos, representa assim o máximo de FO1, dado um determinado nível de FO2 e vice-versa, o que significa que as soluções sobre a curva formam um conjunto de soluções não dominadas, enquanto pontos interiores são dominados e são pontos em que ambos os objetivos poderiam ser melhorados. Vale ressaltar que a análise com blocos tarifários considera a quantidade média consumida em cada município para cada tipo de consumidor. Mais especificamente, os dados fornecidos pela COMPESA não apresentam o quantitativo de

[26] O valor de 640 milhões foi utilizado como um valor suficientemente alto para permitir formar a fronteira até onde fosse possível, mas ao efetuar a otimização multiobjetivo, verificou-se que não foi possível obter solução viável para o intervalo de FO2 entre 412 milhões de reais e 640 milhões de reais, o que sinaliza que a partir de 412 milhões de reais, o problema não pode mais ser resolvido, ou seja, que há um limite para crescimento nas FO2.

consumidores para cada faixa de volume faturado, portanto os resultados aqui apresentados representam estimativas dos valores com base no consumidor representativo do município conforme nosso modelo de otimização (Modelo 2). Para se obter a estimativa mais realística, teria que se considerar nas funções de demanda, as informações dos histogramas de consumo por bloco para cada tipo de consumidor e para cada município, além de informações sobre interrupções do serviço, clientes especiais, dentre outros que possam influenciar o faturamento da COMPESA. Portanto, é esperado que os resultados obtidos neste Modelo 2 sejam diferentes dos encontrados no Modelo 1 apresentado na seção 4.2.

Figura 5 – Fronteira de Pareto para problema multiobjetivo com blocos tarifários



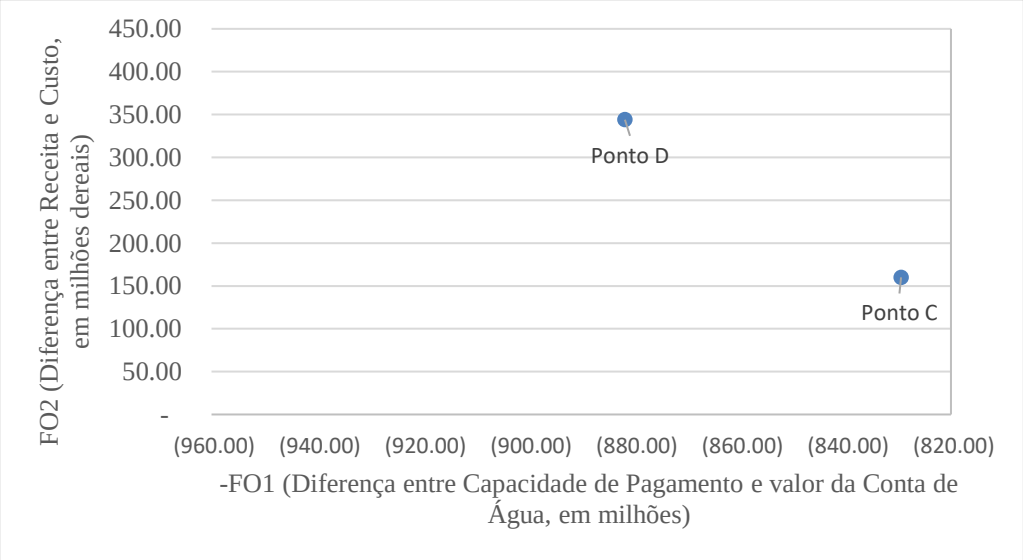
Fonte: Elaboração própria.

O modelo foi resolvido através do *software* GAMS, com o *solver* CONOPT, através do método DNLP (programação não linear com derivadas descontínuas), que atende a não linearidade do modelo proposto e a descontinuidade dos blocos tarifários. O modelo em GAMS conta com 9.419 equações e 10.152 variáveis. Os resultados dos pontos ao longo da fronteira de Pareto, conforme gráfico Figura 5, representam os valores das duas FOs, e podem ser analisados também individualmente pelas demais variáveis de decisão, especialmente quantidades e preços, conforme Tabela 11, que traz estas informações para o Ponto C ($FO1$ = -829.449.600,00; $FO2$ = 160.000.000,00); e Ponto D ($FO1$ = -881.727.400,00; $FO2$ =

344.000.000,00). Estes dois pontos são os pontos mais à direita e abaixo no Gráfico 5, ou seja, os pontos com maiores valores de Função Objetivo Social (FO1) e menores valores da Função Objetivo Financeira (FO2). A diferença entre os pontos D e C representa o *trade-off* de renunciar um pouco da Função Objetivo Social (FO1) para ganhar mais na Função Objetivo Financeira (FO2). Municiar os decisores com os valores associados a esses dois pontos dominantes é um importante subsídio à decisão na definição de preços ótimos.

Para efeito de comparação, os resultados de simulação do Modelo 2 considerando exógenos o sistema de preços (idênticos ao adotado pela COMPESA) e os volumes faturados (idênticos ao da COMPESA em 2010), obteve-se como resultado na FO2 (Financeira) um valor de R$ 79,4 milhões, ou seja, um valor muito superior ao verificado pela COMEPESA em 2010 (R$ 7,2 milhões), conforme havia sido exposto nas Tabelas 5 e 11, e por desconsiderar informações que impactam nas receitas diretas de água, como o quantitativo de consumidores que estão em cada um das faixas de volume faturado, impacto das interrupções no faturamento e informações sobre clientes especiais.

Figura 6 – Pontos ótimos C e D do modelo multiobjetivo com blocos tarifários



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 23 apresenta resultados resumidos para os Pontos ótimos C e D. Para a Função Objetivo Social com sinal invertido (-FO1), dentre os 5 tipos de consumidores, os que

apresentam maiores contribuições são os consumidores residenciais, com maior magnitude para os não sociais. No Ponto C, os 172 municípios apresentaram capacidade de pagamento superior aos valores que os consumidores representativos residenciais sociais e não-sociais pagam nas suas contas de água. No ponto D, apenas 1 dos municípios apresenta capacidade de pagamento inferior aos valores pagos por consumidores representativos sociais nas suas contas de água.

Tabela 23 – Valores das funções-objetivo obtidos com valores ótimos dos pontos C e D.

Resultados	Ponto C	Ponto D	Unid.
Função Objetivo 1 (-FO1)	829.449.600	881.727.400	R$
Função Objetivo 2 (Receita-Custo)	160.000.000	344.000.000	R$
Contrib. de resid. sociais na -FO1 (-FO1_RS)	16.501.220	18.281.598	R$
Contrib. de resid. não sociais na -FO1 (-FO1_RNS)	784.142.444	822.903.084	R$
Contrib. de comerciais na -FO1 (-FO1_C)	11.927.681	21.442.114	R$
Contrib. de industriais na -FO1 (-FO1_I)	9.762.583	7.385.256	R$
Contrib. de Governo na -FO1 (-FO1_G)	7.115.673	11.715.348	R$
Receita Direta de Água	492.750.000	447.480.000	R$
Custo Total do Serviço de Água	332.750.000	103.480.000	R$
Nº de Economias Ativas	1.805.405	1.805.405	-
Nº de municípios que a_RS > b_RS	172	171	-
Nº de municípios que a_RNS > b_RNS	172	172	-
Nº de municípios com FO2 positivo	171	160	-
Nº de municípios com FO2 negativo	1	12	-

Fonte: Elaboração própria.

Quanto à frequência absoluta dos municípios em que o consumo supera o primeiro bloco tarifário, verificou-se que no ótimo (Pontos C e D), para os consumidores residenciais sociais, não houve município com consumo superior ao primeiro bloco tarifário, ficando todos os municípios com consumo inferior a 10 m³ ao mês. Para os consumidores residenciais não sociais, no Ponto C, 10 municípios tiveram consumo superior ao primeiro bloco tarifário e, no Ponto D, apenas 3 municípios. Os demais blocos tarifários dos consumidores residenciais não foram atingidos pelo consumo de nenhum município. As demais categorias de consumidores tiveram alguns municípios com consumo superior ao primeiro bloco tarifário, conforme Tabela 24.

Isto pode ser explicado por duas razões. Primeiro, os dados fornecidos pela COMPESA sobre volume faturado foram disponibilizados como uma média e não informam a quantidade

de consumidores em cada faixa de consumo, além disso, na média dos municípios, é pouco frequente os municípios ultrapassarem o primeiro bloco tarifário (acima de 10 m³ de volume faturado ao mês). Segundo, dado a capacidade de pagamento média dos municípios, o problema de otimização resulta em que na medida que a FO1 (social) vai reduzindo e a FO2 (financeira) vai aumentando, de modo geral, os preços ótimos vão se tornando maiores e consequentemente as quantidades consumidas ótimas vão reduzindo, o que reduz ainda mais a quantidade de municípios que superam o primeiro bloco tarifário.

Tabela 24 – Número de Municípios com consumo superior ao primeiro bloco tarifário

	Ponto C*				Ponto D*			
	Resid. Não Social	Comercial	Industrial	Público	Resid. Não Social	Comercial	Industrial	Público
Total	10	6	19	17	3	2	6	10
RD1	0	0	0	1	0	1	0	1
RD2	1	0	1	3	1	1	0	1
RD3	0	0	3	0	0	0	0	0
RD4	0	0	2	0	0	0	0	1
RD5	0	0	0	0	0	0	1	2
RD6	0	0	1	1	0	0	0	0
RD7	1	0	1	1	0	0	1	0
RD8	2	0	2	2	0	0	2	0
RD9	0	1	0	1	0	0	1	0
RD10	0	0	2	1	1	0	0	2
RD11	0	0	2	2	0	0	0	1
RD12	6	5	5	5	1	0	1	2

Fonte: Elaboração própria.

Nota (*): para a categoria Residencial Social, nos pontos ótimos C e D, nenhum município obteve consumo superior ao limite do primeiro bloco tarifário.

4.3.1 Preços e consumo no ponto ótimo C

A COMPESA atua com 5 bloco tarifários para as categorias de consumo Residencial Não Social e Residencial Social (sendo que os consumidores Residenciais Sociais pagam a tarifa equivalente aos Residenciais Não Sociais caso consumam um volume de água superior

ao limite do primeiro bloco tarifário, ou seja, mais de 10 metros cúbicos por mês), e 2 blocos tarifários para as categorias de consumo Comercial, Industrial e Pública.

Para o ponto ótimo C, e considerando o consumidor representativo para o município (média de consumo do município), os preços ótimos da categoria Residencial Social tornam-se relevantes somente no primeiro bloco tarifário, pois em nenhum município o consumo ótimo atingiu o segundo bloco de consumo (mais que 10 metros cúbicos de volume faturado por mês).

Conforme observado na Tabela 24, para os consumidores Residencial Não Social, Comercial, Industrial e Público, no ponto ótimo C, alguns municípios atingiram o segundo bloco tarifário com os preços do primeiro e segundo bloco tarifário apresentados na Tabela 25. Foi imposto no modelo de otimização uma restrição de que os preços de cada bloco devem ser iguais ou superiores a R$/m³ 0,05 o preço do bloco imediatamente anterior.

Reiterando que o ponto C é o ponto em que o atendimento ao objetivo social é o valor mais à direita de Pareto, e, portanto, o maior valor desta FO social (FO1) ao longo da fronteira, os consumos não atingem os maiores blocos tarifários, pois desta forma minimiza-se a diferença das contas do consumidor representativo em relação às capacidades de pagamento das várias categorias. O pequeno número de municípios, que atinge o segundo bloco tarifário, atestaria assim a baixa capacidade de pagamento dos consumidores representativos das categorias de consumo na nossa área de estudo em comparação ao pagamento de contas de água que venham a superar o primeiro bloco tarifário.

Para os consumidores Residenciais Não Sociais, 6 de 10 municípios que atingiram o segundo bloco tarifário são da RD Metropolitana, sendo que não há uma variabilidade tão significativa de preços ótimos entre os municípios e em todos eles a diferença entre o preço do primeiro bloco e o preço do segundo é o mínimo e igual a R$/m³ 0,05.

Já para os consumidores Comerciais, verifica-se que ocorre uma variabilidade muito mais significativa dentre os preços ótimos dos blocos entre os municípios, sendo que Recife apresenta preço ótimo (por metro cúbico) no primeiro e segundo bloco de, respectivamente, R$ 1,07 e R$ 1,12, enquanto em Fernando de Noronha os preços ótimos são de R$ 22,93 e R$23,33. Jaboatão dos Guararapes apresentou a maior diferença entre os preços ótimos do primeiro e segundo bloco na categoria Comercial, sendo seus valores, respectivamente, R$ 2,78 e R$ 5,16.

Lembrando que no caso dos consumidores não residenciais considerou-se a capacidade de pagamento como sendo os valores pagos por estes consumidores em 2010, conforme dados

da COMPESA. Isso leva a uma maior variabilidade deste parâmetro, e, portanto, pode explicar a maior variabilidade dos preços ótimos também.

Para a categoria de consumo Industrial e pública, a quantidade de municípios em que o consumo ótimo ultrapassou o primeiro bloco de consumo é de 19 e 17, respectivamente. Para a categoria Industrial, a estratégia ótima de preços em alguns municípios indica que deve existir uma diferença razoável de preços entre os preços dos dois blocos tarifários. Para a categoria Pública, a diferença entre os preços dos dois blocos fica ou igual à restrição imposta de R$ 0,05 ou com uma diferença pequena. Este é o caso dos 2 municípios da Região da Mata que tiveram consumo ótimo atingindo o segundo bloco de consumo (Carpina e Lagoa do Itaenga).

Nas categorias Industrial e Pública, também se adota como capacidade de pagamento os valores pagos em 2010, logo espera-se valores maiores para esses usos, o que justificaria os maiores números de municípios atingindo o segundo bloco tarifário.

Tabela 25 – Preços de primeiro e segundo bloco tarifário no Ponto C para os municípios em que o consumo superou o primeiro bloco tarifário (em R$/m³ e % de variação)

Consumidores Residenciais Não Sociais					
Regiões de Desenvolvimento	Municípios	Preço Ótimo C - Primeiro Bloco Tarifário	Variação de Preço Ótimo C em relação a COMPESA no 1º Bloco (em %)	Preço Ótimo C - Segundo Bloco tarifário	Variação de Preço Ótimo C em relação a COMPESA no 2º Bloco (em %)
Sertão do São Francisco	Petrolina	2,21	-9,71	2,26	-19,43
Agreste Meridional	Garanhuns	2,06	-15,99	2,11	-24,91
Agreste Central	Gravatá	2,35	-4,36	2,40	-14,77
Agreste Central	Pesqueira	1,65	-32,59	1,70	-39,40
Metropolitana	Abreu e Lima	1,62	-33,77	1,67	-40,43
Metropolitana	Cabo de Santo Agostinho	2,03	-17,05	2,08	-25,84
Metropolitana	Camaragibe	2,06	-15,95	2,11	-24,88
Metropolitana	Jaboatão dos Guararapes	2,21	-10,07	2,26	-19,75
Metropolitana	Olinda	2,14	-12,68	2,19	-22,03
Metropolitana	Paulista	2,07	-15,50	2,12	-24,48
Consumidores Comerciais					

Regiões de Desenvolvimento	Municípios	Preço Ótimo C - Primeiro Bloco Tarifário	Variação de Preço Ótimo C em relação a COMPESA no 1º Bloco (em %)	Preço Ótimo C - Segundo Bloco tarifário	Variação de Preço Ótimo C em relação a COMPESA no 2º Bloco (em %)
Agreste Setentrional	Santa Cruz do Capibaribe	11,17	209,79	11,22	56,98
Metropolitana	Cabo de Santo Agostinho	12,24	239,40	12,29	71,92
Metropolitana	Fernando de Noronha	22,93	535,60	23,33	226,24
Metropolitana	Jaboatão dos Guararapes	2,78	-23,01	5,16	-27,83
Metropolitana	Olinda	3,70	2,66	3,75	-47,51
Metropolitana	Recife	1,07	-70,34	1,12	-84,34
Consumidores Industriais					
Regiões de Desenvolvimento	Municípios	Preço Ótimo C - Primeiro Bloco Tarifário	Variação de Preço Ótimo C em relação a COMPESA no 1º Bloco (em %)	Preço Ótimo C - Segundo Bloco tarifário	Variação de Preço Ótimo C em relação a COMPESA no 2º Bloco (em %)
Sertão do São Francisco	Petrolina	12,95	186,55	22,31	132,89
Sertão do Araripe	Araripina	12,96	186,66	16,96	77,04
Sertão do Araripe	Bodocó	4,68	3,58	21,90	128,64
Sertão do Araripe	Exu	19,50	331,35	24,21	152,66
Sertão Central	Parnamirim	9,72	115,13	23,28	143,04
Sertão Central	Salgueiro	6,66	47,23	17,70	84,76
Sertão do Moxotó	Custódia	8,56	89,36	13,36	39,41
Agreste Meridional	Canhotinho	6,79	50,20	17,26	80,19
Agreste Central	Riacho das Almas	27,78	514,67	31,92	233,22
Agreste Central	Tacaimbó	6,83	51,11	19,99	108,62
Mata Sul	Pombos	36,67	711,35	37,06	286,86
Mata Sul	Sirinhaém	6,53	44,38	17,59	83,60
Mata Norte	Carpina	7,08	56,66	19,28	101,20
Mata Norte	Ferreiros	34,61	665,69	36,98	285,99
Metropolitana	Cabo de Santo Agostinho	42,39	837,79	42,44	342,99
Metropolitana	Camaragibe	2,35	-48,03	5,76	-39,89
Metropolitana	Ilha de Itamaracá	1,63	-64,03	6,54	-31,76
Metropolitana	Jaboatão dos Guararapes	8,88	96,46	9,16	-4,36
Metropolitana	Recife	15,78	249,03	15,83	65,20
Consumidores Públicos					

Regiões de Desenvolvimento	Municípios	Preço Ótimo C - Primeiro Bloco Tarifário	Variação de Preço Ótimo C em relação a COMPESA no 1º Bloco (em %)	Preço Ótimo C - Segundo Bloco tarifário	Variação de Preço Ótimo C em relação a COMPESA no 2º Bloco (em %)
Sertão de Itaparica	Petrolândia	20,05	475,22	20,10	280,00
Sertão do São Francisco	Cabrobó	19,42	457,06	19,47	268,03
Sertão do São Francisco	Petrolina	14,28	309,75	14,33	170,96
Sertão do São Francisco	Santa Maria da Boa Vista	20,09	476,31	20,14	280,72
Sertão do Moxotó	Arcoverde	22,27	538,96	22,32	322,00
Agreste Meridional	Garanhuns	26,79	668,39	26,84	407,30
Agreste Central	Caruaru	15,39	341,59	15,44	191,95
Agreste Central	Gravatá	8,17	134,31	8,22	55,35
Agreste Setentrional	Limoeiro	8,40	140,94	8,45	59,72
Mata Sul	Sirinhaém	8,76	151,18	8,81	66,47
Mata Norte	Carpina	13,76	294,72	14,88	181,19
Mata Norte	Lagoa do Itaenga	8,78	151,75	9,56	80,66
Metropolitana	Cabo de Santo Agostinho	16,39	370,22	16,44	210,81
Metropolitana	Olinda	16,85	383,45	16,90	219,53
Metropolitana	Paulista	7,82	124,33	7,87	48,77
Metropolitana	Recife	4,40	26,25	4,46	-15,69
Metropolitana	São Lourenço da Mata	23,77	581,96	23,82	350,34

Fonte: Elaboração própria.

Em comparação aos preços do primeiro e do segundo bloco tarifário praticados pela COMPESA em 2010, os preços ótimos da categoria Residencial Não Social indicam uma queda para todos os dez municípios que atingiram o segundo bloco tarifário, sendo as menores reduções em Abreu e Lima, com -33,77% nos preços do primeiro bloco e -40,43% no segundo bloco. Para as categorias não residenciais, verificou-se um aumento mais acentuado em diversos municípios da categoria Pública, enquanto os preços ótimos dos consumidores Comerciais e Industriais apresentaram crescimento em alguns municípios e redução em outros.

Os valores ótimos do Ponto C podem ser comparados com o Ponto D, que deve mostrar os *trade-offs* de aumentar o resultado financeiro, indicado pela Função Objetivo financeira (FO2) às custas de reduzir a Função Objetivo social (FO1).

Para o total dos 172 municípios considerados neste estudo, observou-se que dentre as categorias residenciais, o preço médio ótimo (em R$/m³), considerado como a receita direta de água (em R$) dividido pelo volume faturado (em m³) na categoria Residencial Não Social (2,61) é maior que o preço médio ótimo na categoria Social (2,38); os preços ótimos nas categorias não residenciais foram: Industrial (21,22), Pública (8,09) e Comercial (1,89), sendo que as duas últimas tem preços bem mais altos em praticamente todas as RD's, exceto a RD Metropolitana que tem maior impacto no preço médio do total dos municípios (ver Tabela 26).

Tabela 26 – Preços médios ótimos por metro cúbico no Ponto C (em R$/m³)

	Resid. Social	Resid. Não Social	Comerc.	Indust.	Pública	Total
TOTAL (ponto C)	2,38	2,61	1,89	21,22	8,09	2,69
RD 01 Sertão de Itaparica	1,87	4,48	8,89	20,25	23,91	5,32
RD 02 Sertão do S. Francisco	2,49	2,44	8,50	17,46	15,50	3,05
RD 03 Sertão do Araripe	2,32	4,31	9,21	14,07	16,93	4,37
RD 04 Sertão Central	2,14	4,36	8,32	10,53	18,10	4,48
RD 05 Pajeú	1,81	4,72	9,65	13,14	18,22	4,49
RD 06 Sertão do Moxotó	1,99	3,87	8,89	7,28	17,47	3,95
RD 07 Agreste Meridional	2,99	2,96	9,54	8,90	19,66	3,28
RD 08 Agreste Central	2,10	2,65	6,69	14,39	15,11	2,97
RD 09 Agreste Setentrional	2,08	3,40	10,05	9,32	15,28	3,78
RD 10 Mata Sul	2,54	2,97	7,67	20,38	15,44	3,27
RD 11 Mata Norte	2,40	4,57	8,68	16,99	18,65	4,67
RD 12 Metropolitana	2,82	2,35	1,39	23,40	5,73	2,33

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 27 apresenta o volume faturado ótimo no ponto C, sendo que a maior contribuição é da categoria Residencial Não Social com 141,488 milhões de metros cúbicos ao ano de volume faturado, sendo que a RD Metropolitana, nesta categoria reponde por 91,375 milhões de metros cúbicos. A segunda categoria com a maior contribuição é a Comercial, seguida de Residencial Social, Pública e Industrial.

Quanto ao volume faturado ótimo das RD's, a RD Agreste Central apresenta o segundo maior volume faturado, sendo o volume faturado na categoria Residencial Social próximo ao da RD Metropolitana e maior que a categoria Comercial, para esta RD. A maior participação do Volume Faturado da RD Agreste Central é na categoria Residencial Não Social.

Tabela 27 – Volume faturado ótimo em milhões de metros cúbicos no ponto C

	Resid. Social	Resid. Não Social	Comerc.	Indust.	Pública	Total
TOTAL (ponto C)	7,189	141,488	29,141	0,643	4,566	183,028
RD 01 Sertão de Itaparica	0,132	0,912	0,069	0,003	0,050	1,166
RD 02 Sertão do S. Francisco	0,368	7,548	0,365	0,012	0,211	8,503
RD 03 Sertão do Araripe	0,380	1,674	0,060	0,014	0,037	2,165
RD 04 Sertão Central	0,340	1,185	0,083	0,003	0,044	1,655
RD 05 Pajeú	0,608	1,849	0,072	0,004	0,058	2,590
RD 06 Sertão do Moxotó	0,255	1,475	0,057	0,004	0,024	1,815
RD 07 Agreste Meridional	0,537	5,574	0,110	0,006	0,075	6,304
RD 08 Agreste Central	1,420	18,111	0,895	0,065	0,243	20,733
RD 09 Agreste Setentrional	0,465	4,344	0,239	0,023	0,072	5,144
RD 10 Mata Sul	0,449	4,692	0,128	0,009	0,087	5,364
RD 11 Mata Norte	0,561	2,750	0,112	0,006	0,073	3,502
RD 12 Metropolitana	1,674	91,375	26,952	0,496	3,591	124,088

Fonte: Elaboração própria.

4.3.2 Preços e consumo no ponto ótimo D e o *trade-off* entre o ponto C e o ponto D

Os preços ótimos (do primeiro e segundo bloco tarifário) dos municípios em que o consumo ótimo no ponto D superaram o primeiro bloco de consumo (mais de 10 metros cúbicos por mês) estão apresentados na Tabela 28. Observou-se que diferenciar preços significativamente entre o primeiro e segundo bloco tarifário é uma estratégia ótima apenas para a categoria Industrial, em três dos seis municípios que atingiram o segundo bloco de consumo, pois nos demais casos, a diferença de preços ficou igual à restrição mínima imposta de preços crescentes (maior que R$ 0,05 em relação ao preço do bloco anterior).

Ao compararmos os valores do ponto D e C, obtêm-se o *trade-off* de passar para um ponto de maior resultado financeiro. Como era de se esperar, os aumentos de preços médios ótimos do ponto C para o ponto D são generalizados e significativos percentualmente em todas as RD´s para o consumidor da categoria Residencial Social (crescimento de 97,53% para o total de municípios).

Tabela 28 – Preços de primeiro e segundo bloco tarifário no Ponto D para os municípios em que o consumo superou o primeiro bloco tarifário

Consumidores Residenciais Não Sociais					
Regiões de Desenvolvimento	Municípios	Preço Ótimo D - Primeiro Bloco Tarifário	Variação de Preço Ótimo D em relação a COMPESA no 1º Bloco (em %)	Preço Ótimo D - Segundo Bloco tarifário	Variação de Preço Ótimo D em relação a COMPESA no 2º Bloco (em %)
Sertão do São Francisco	Petrolina	1,39	-43,43	1,44	-48,86
Mata Sul	Ribeirão	1,86	-24,02	1,91	-31,92
Metropolitana	Abreu e Lima	1,59	-35,03	1,64	-41,53
Consumidores Comerciais					
Regiões de Desenvolvimento	Municípios	Preço Ótimo D - Primeiro Bloco Tarifário	Variação de Preço Ótimo D em relação a COMPESA no 1º Bloco (em %)	Preço Ótimo D - Segundo Bloco tarifário	Variação de Preço Ótimo D em relação a COMPESA no 2º Bloco (em %)
RD 01 Sertão de Itaparica	Jatobá	4,92	36,46	4,97	-30,46
Sertão do São Francisco	Petrolina	3,23	-10,42	3,28	-54,11
Consumidores Industriais					
Regiões de Desenvolvimento	Municípios	Preço Ótimo D - Primeiro Bloco Tarifário	Variação de Preço Ótimo D em relação a COMPESA no 1º Bloco (em %)	Preço Ótimo D - Segundo Bloco tarifário	Variação de Preço Ótimo D em relação a COMPESA no 2º Bloco (em %)
Pajeú	Tuparetama	1,49	-67,08	6,35	-33,75
Agreste Meridional	Garanhuns	2,98	-34,12	4,58	-52,21
Agreste Central	Bonito	1,40	-69,00	6,29	-34,30
Agreste Central	Caruaru	9,64	113,21	9,69	1,12
Agreste Setentrional	Santa Cruz do Capibaribe	6,02	33,21	6,07	-36,63
Metropolitana	Cabo de Santo Agostinho	5,09	12,59	5,14	-46,36
Consumidores Públicos					
Regiões de Desenvolvimento	Municípios	Preço Ótimo D - Primeiro Bloco Tarifário	Variação de Preço Ótimo D em relação a COMPESA no 1º Bloco (em %)	Preço Ótimo D - Segundo Bloco tarifário	Variação de Preço Ótimo D em relação a COMPESA no 2º Bloco (em %)
RD 01 Sertão de Itaparica	Petrolândia	4,73	35,66	4,78	-9,66

Sertão do São Francisco	Petrolina	5,29	51,64	5,34	0,87
Sertão Central	Terra Nova	6,06	73,75	6,11	15,44
Pajeú	Afogados da Ingazeira	20,75	495,30	20,80	293,23
Pajeú	Solidão	7,08	103,18	7,13	34,84
Mata Sul	Maraial	6,60	89,24	6,65	25,65
Mata Sul	Ribeirão	6,20	77,85	6,25	18,15
Mata Norte	Vicência	8,20	135,28	8,25	55,99
Metropolitana	Cabo de Santo Agostinho	5,02	44,12	5,07	-4,08
Metropolitana	Recife	10,23	193,57	10,28	94,40

Fonte: Elaboração própria.

Para a categoria Social, no total de municípios, a única RD com redução de preços é a RD Sertão do São Francisco e o no total de municípios, o aumento de preços é percentualmente maior que na categoria Não Social (121,98%). Para as categorias não residenciais, observou-se crescimentos positivos e negativos de acordo com cada RD e no geral houve acentuado crescimento na categoria Comercial (402,39%), crescimento mais discreto na Pública (55,46%) e redução na Indústria (-66,18%).

Tabela 29 – Variação (em %) de preços médios ótimos do ponto C para o ponto D

	Resid. Social	Resid. Não Social	Comerc.	Indust.	Pública	Total
TOTAL (ponto D-C)	97,53	121,98	402,39	-66,18	55,46	134,13
RD 01 Sertão de Itaparica	55,83	35,97	48,45	335,09	-65,31	22,40
RD 02 Sertão do S. Francisco	101,63	-34,79	-58,59	325,98	-59,97	-35,23
RD 03 Sertão do Araripe	94,98	15,25	-8,90	741,32	294,48	24,15
RD 04 Sertão Central	91,50	110,93	85,49	739,87	124,08	105,19
RD 05 Pajeú	93,73	18,20	121,37	100,86	108,32	31,86
RD 06 Sertão do Moxotó	202,67	81,87	122,24	539,56	222,06	94,06
RD 07 Agreste Meridional	52,46	131,05	76,46	-20,83	254,00	118,59
RD 08 Agreste Central	97,50	162,80	84,36	-7,13	331,38	150,98
RD 09 Agreste Setentrional	97,11	23,41	41,79	35,38	146,13	27,97
RD 10 Mata Sul	94,04	88,09	129,81	163,45	146,02	88,58
RD 11 Mata Norte	77,70	53,68	123,85	604,65	89,16	57,74
RD 12 Metropolitana	125,97	201,20	629,42	-71,60	91,08	222,56

Fonte: Elaboração própria.

O aumento dos preços médios ótimos tem como consequências alterações nas quantidades demandas (Tabela 30). Os crescimentos (em %) no volume faturado ótimo médio do ponto C para o ponto D, são inversamente proporcionais aos crescimentos (em %) nos preços indicados na Tabela 29, conforme esperado pela teoria econômica e representado no modelo de otimização através das funções demandas.

Para o total de municípios e considerando o preço médio ótimo de todas as categorias, verifica-se que o aumento de preços provoca uma redução no volume faturado. Neste caso, a demanda mínima necessária para o uso da água pode nãos ser atendida, conforme o Modelo de otimização foi desenvolvido, porém esta questão pode ser incluída como uma restrição do Modelo que garanta uma certa demanda mínima. No entanto, o resultado financeiro melhora, pois com a redução no volume faturado, as receitas e os custos diminuem, mas devido ao aumento nos preços, a redução das receitas é menor que a redução dos custos totais.

Tabela 30 – Variação (em %) de volume faturado ótimo do ponto C para o ponto D

	Resid. Social	Resid. Não Social	Comerc.	Indust.	Pública	Total
TOTAL (ponto D)	-54,90	-60,18	-83,60	246,36	-43,81	-62,21
RD 01 Sertão de Itaparica	-41,50	-30,84	-45,75	-82,51	182,00	-23,90
RD 02 Sertão do S. Francisco	-56,08	60,82	172,46	-76,48	170,21	63,07
RD 03 Sertão do Araripe	-54,63	-18,82	7,32	-90,78	-80,12	-25,90
RD 04 Sertão Central	-54,01	-59,77	-52,19	-86,57	-62,56	-58,32
RD 05 Pajeú	-54,89	-20,30	-61,48	-61,81	-62,07	-30,55
RD 06 Sertão do Moxotó	-72,87	-51,83	-61,43	-88,03	-76,26	-55,49
RD 07 Agreste Meridional	-38,19	-61,44	-49,34	4,15	-77,53	-59,38
RD 08 Agreste Central	-54,52	-67,50	-51,19	3,02	-82,30	-65,86
RD 09 Agreste Setentrional	-55,36	-22,22	-34,79	-35,69	-68,19	-26,51
RD 10 Mata Sul	-54,00	-53,04	-62,81	-70,59	-67,56	-53,61
RD 11 Mata Norte	-48,43	-38,53	-61,70	-89,54	-56,56	-41,33
RD 12 Metropolitana	-61,19	-73,46	-89,41	329,56	-53,76	-74,58

Fonte: Elaboração própria.

Ao sair do ponto C para o ponto D, a queda no volume faturado é de 62,21%, mas as receitas diminuem de R$ 493 milhões para R$ 447 milhões e os custos diminuem de R$ 333 milhões para 103 milhões, conforme tinha sido mostrado na Tabela 23.

Tabela 31 – Variação (em %) da Receita Direta de Água e do Custo Total do Serviço do ponto C para o ponto D

	Variação percentual da Receita Direta de Água no Ponto Ótimo C ao Ponto Ótimo D						Variação percentual do Custo Total do Serviço do Ponto Ótimo C ao D
	Resid. Social	Resid. Não Social	Comercial	Industrial	Pública	Total	
Total	-10,92	-11,60	-17,61	17,14	-12,65	-9,19	-68,90
RD 01 Sertão de Itaparica	-8,84	-5,97	-19,46	-23,91	-2,18	-6,85	-22,91
RD 02 Sertão do S. Francisco	-11,44	79,47	12,84	0,19	8,15	58,63	28,72
RD 03 Sertão do Araripe	-11,54	-6,44	-2,23	-22,40	-21,57	-8,01	-50,56
RD 04 Sertão Central	-11,93	-15,14	-11,32	12,80	-16,11	-14,48	-78,65
RD 05 Pajeú	-12,61	-5,80	-14,73	-23,28	-20,98	-8,42	-59,82
RD 06 Sertão do Moxotó	-17,89	-12,40	-14,29	-23,43	-23,56	-13,62	-77,31
RD 07 Agreste Meridional	-5,76	-10,92	-10,60	-17,55	-20,45	-11,20	-64,07
RD 08 Agreste Central	-10,17	-14,59	-10,01	-4,33	-23,64	-14,32	-72,49
RD 09 Agreste Setentrional	-12,01	-4,02	-7,54	-12,94	-21,70	-5,95	-42,81
RD 10 Mata Sul	-10,73	-11,67	-14,53	-22,51	-20,19	-12,53	-74,49
RD 11 Mata Norte	-8,36	-5,54	-14,26	-26,26	-17,84	-7,45	-42,88
RD 12 Metropolitana	-12,31	-20,06	-22,75	22,01	-11,65	-18,00	-80,58

Fonte: Elaboração própria.

A perda nas receitas diretas de água ao sair do ponto ótimo C para o ponto ótimo D (com melhor resultado financeiro) foi de -9,19%, enquanto a redução nos custos foi de -68,90%. A RD com maior impacto no resultado financeiro na COMPESA é a Metropolitana e apresentou uma redução das receitas de apenas de -18%, enquanto seus custos foram reduzidos em 80,58%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo desenvolveu um problema de otimização multiobjetivo para identificar preços ótimos em 172 municípios do estado de Pernambuco, considerando dois critérios conflitantes representados por duas funções-objetivo: i) diferença entre os valores pagos pela água e a capacidade de pagamento de consumidores representativos de cada categoria e ii) a diferença entre receitas diretas de água obtidas e o custo operacional da COMPESA. Foram obtidos preços ótimos para os cinco tipos de consumidores da COMPESA em cada município, com os resultados agrupados e apresentados por regiões de desenvolvimento (RDs), que são 12 no estado.

Foram desenvolvidas duas versões, sendo nomeado como Modelo 1, a versão construída usando como variáveis de decisão os preços como tarifas médias; e o nomeado como Modelo 2, a versão que considerou a estrutura de blocos tarifários. Esta última versão usou os mesmos limites quantitativos para os blocos usados pela COMPESA em 2010 como parâmetros. A partir desta abordagem, foi possível obter Fronteiras de Pareto que revelaram um conjunto de soluções não dominadas.

Os resultados ótimos obtidos no Modelo 1 revelam que a situação real da COMPESA de 2010 é uma solução Pareto dominada, ou seja, ambos os objetivos podem ser melhorados através de uma nova estratégia de precificação. Foi possível mensurar através da fronteira de Pareto, *trade-offs* entre os dois objetivos, além de se obter o conjunto de preços e quantidades que definiram cada um dos pontos ótimos ao longo desta fronteira. Dois destes pontos dominantes foram analisados e seus *trade-offs* calculados.

Esses *trade-offs* obtidos com o Modelo 1 revelam que é possível alterar significativamente os resultados financeiros da Companhia (mensurados pela Função Objetivo Financeira (FO2)) com uma pequena alteração na diferença entre os gastos com água e a capacidade de pagamento do consumidor representativo (Função Objetivo Social (FO1) no ponto em que a COMPESA atua.

Na versão do modelo usando blocos tarifários (Modelo 2) foi possível identificar preços ótimos para cada categoria de consumidor e em cada bloco. Dois pontos ótimos da Fronteira de Pareto foram analisados: o ponto C e o ponto D. Comparativamente, o ponto C apresenta maior resultado na Função Objetivo Social (FO1) e menor resultado na Função Objetivo Financeira

(FO2) em relação ao ponto D. O *trade-off* para se deslocar do ponto C para o D e assim obter melhores resultados financeiros, associado a uma elevação no preço médio ótimo e uma redução no volume faturado ótimo total. Dentre as categorias residenciais, o aumento nos preços ótimos do ponto D em relação ao ponto C indica que os consumidores não sociais devem ter um aumento de preços maior que os consumidores residenciais para o total de consumidores da COMPESA, porém na análise por RD's, verifica-se que isto ocorre apenas em 4 das 12 RD's, a saber: Sertão Central, Agreste Meridional, Agreste Central e Metropolitana. Em todas as demais RD's, os consumidores residências sociais teriam, portanto, um aumento de preços maiores que os consumidores não sociais, e, consequentemente, reduziriam os seus níveis de consumo, portanto futuramente o modelo pode incorporar uma política de demanda mínima como restrição ao problema de otimização.

Tanto o ponto C quanto o ponto D são apenas possibilidades de precificações isoladas dentro de uma fronteira de Pareto, existindo diversos outras soluções não dominadas que podem ser consideradas, assim como também é possível incluir novos critérios usando outras Funções Objetivo, representativas de objetivos desejáveis por uma regulação eficiente do ponto de vista econômico e financeiro.

A metodologia de otimização multiobjetivo desenvolvida neste estudo foi boa, pois permitiu verificar os conflitos existentes entre as duas funções objetivo. O uso do *software GAMS* foi fundamental para o objetivo proposto neste trabalho, pois permitiu resolver os dois modelos, sendo o Modelo 1 resolvido através do método NLP (programação não linear), que atende a não linearidade do modelo proposto e contou com 3.444 equações e 4.131 variáveis para cada ponto da fronteira de Pareto. o Modelo 2 resolvido através do método DNLP (programação não linear com derivadas descontínuas), que atende a não linearidade do modelo proposto e a descontinuidade dos blocos tarifários e contou com 9.419 equações e 10.152 variáveis para cada ponto da fronteira de Pareto.

Ao usar a metodologia multiobjetivo para problemas de precificação de água para uso urbano, espera-se ter contribuído com a literatura existente, especialmente como um ponto de partida para a aplicação de otimização multiobjetivo. As diversas dimensões do problema de precificação da água para uso urbano já tinham sido identificadas em estudo separados, contudo, ao se considerar na definição dos preços de água e da estrutura tarifária da água, a aplicação matemática de otimização multiobjetivo, permite-se incorporar um conjunto de soluções com os respectivos *trade-offs* existentes ao se sair de uma solução ótima para outra.

Pernambuco apresenta características hídricas e socioeconômicas desafiadoras. Por um lado, o problema da escassez hídricas requer investimentos em infraestrutura para a universalização e melhoria dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, que, em parte, já foram efetuados ou estão em andamento; e por outro lado, precisa considerar a baixa capacidade de pagamento de vários de seus municípios. Deste modo, o que se verifica na prática é a adoção de um sistema de preços que inclui uma série de subsídios cruzados entre os tipos de consumidores e entre os municípios (também entre água e esgotamento sanitário), que atendem a questão da capacidade de pagamento, principalmente por se incluir a tarifa diferenciada para os consumidores residenciais sociais. mas que não permite financiar os investimentos necessários para universalizar os serviços.

Somando-se a estes fatores, a recente mudança no marco regulatório do setor de saneamento e a restrição orçamentária do governo federal e estadual no aporte de recursos para investimentos no setor, a definição de estudos de revisões tarifárias, no âmbito da regulação econômica devem contribuir para que as metas de universalização sejam ou não atendidas (ou que percentual seja alcançado) dentro do prazo já estabelecido. O presente trabalho, ao mostrar que existem diversas possibilidades de tarifas a serem praticadas e apresentar alguns conflitos de um objetivo em detrimento do outro, pretende contribuir mostrando o potencial da metodologia multiobjetivo como suporte à tomada de decisão na precificação da água.

Dos resultados ótimos, foi possível identificar que uma elevação de tarifa está associada, conforme era de se esperar, a uma redução no consumo, o que pode melhorar a disponibilização dos serviços, por pressionar menos a escassa oferta hídrica e por ampliar a disponibilidade financeira, que permite financiar investimentos, inclusive naqueles necessários para a universalização dos serviços de abastecimento de água e dos serviços de esgotamento sanitário.

A partir da plataforma desenvolvida neste estudo, outros critérios e restrições podem ser introduzidos na definição de estruturas tarifárias que possam efetivamente atender a população adequadamente, protegendo os mais vulneráveis e ao mesmo tempo incentivando o uso racional e eficiente.

Recomenda-se como continuidade dessa pesquisa os seguintes pontos: i) uso de dados em nível de consumidor e não de municípios, mesmo que seja através de histogramas de consumo por faixas. Isto permitiria tratar o problema com impacto mais apropriado nas finanças

da fornecedora dos serviços ao invés de considerar os consumidores representativos.[27] A desvantagem aqui é a dificuldade aumentada na formulação do problema de otimização multiobjetivo, na obtenção da viabilidade e do alcance do ótimo no *software* de otimização.; ii) consideração de outros critérios no modelo de otimização com inclusão de nova(s) função(ões) objetivo e adaptação do problema proposto. Para tratar com mais de duas funções-objetivo não é mais possível resolver o problema unicamente com o GAMS. Neste caso, será necessário o uso de um algoritmo que consiga lidar com mais de dois objetivos e seja possível a interação com o GAMS, como o BORG, ao invés do se usar o método das restrições. O planejamento desta etapa foi iniciado, em parceria com o Professor João Vieira, da Universidade de Coimbra, porém necessita de mais tempo para implementação; iii) construção de cenários com alterações nos limites quantitativos estabelecidos para blocos tarifários; iv) incorporar novas metodologias que definam mais acuradamente a capacidade de pagamento dos consumidores não residenciais.

[27] Ao adotar o conceito de consumidores representativos, usa-se a média do município para cada categoria de consumo. Sabe-se que a média não é a melhor representação, o que pode impactar especialmente nos municípios que apresentem elevadas heterogeneidades de consumo entre os diversos consumidores de cada categoria. Contudo, na ausência da distribuição de consumo, o uso da média é o que viabiliza a execução deste estudo com os dados que foram disponibilizados.

6 REFERÊNCIAS

AHMAD, I.; TANG, D. Multi-objective Linear Programming for Optimal Water Allocation Based on Satisfaction and Economic Criterion. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 41, p. 1421–1433, 2016.

ALCOFORADO DE MORAES, M. G. M. *et al*. Integrated economic models to support decisions on water pricing in biofuel production river basins: three case studies from Brazil. **Biofuel, Bioproducts & Biorefining**, v. 10, n. 3, 2015.

ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G. **Otimização estática ou técnicas de programação matemática**. Recife. No prelo. 2003.

ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G. O Agreste empreendedor e a gestão de demanda. **Diário de Pernambuco**, 20 nov. 2017. Disponível em: http://www.diariodepernambuco.com.br/app/noticia/politica/2017/11/23/interna_politica,731866/marcia-m-g-alcoforado-de-moraes-o-agreste-empreendedor-e-a-gestao-d.shtml.

ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G.; CIRILO, J. A.; SAMPAIO, Y. Integração dos Componentes Econômico e Hidrológico na Modelagem de Alocação Ótima de Água para Apoio a Gestão de Recursos: Uma Aplicação na bacia do Pirapama. **Revista Economia**, v. 7, n. 2, p. 332-364, 2006.

ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G.; CUNHA, M. P. D. **Integração de modelos econômicos para apoio à decisão em políticas de alocação de águas.** [Projeto do Edital de nº 16/ 2017 - Pró-Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas (ANA) e da CAPES]. 2018.

ANA. **Atlas esgoto:** despoluição de bacias hidrográficas. Brasília. 2017.

ANA. **ODS6 no Brasil:** visão da ANA sobre os indicadores. Brasília. 2019.

ANA. **Atlas águas:** segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília. 2021.

ANA *et al*. **Diálogos sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e os Desafios para a Gestão da Água e do Saneamento no Brasil.** Documento apresentado no 8º Fórum Mundial da Água Brasília, 18 a 23 de março de 2018. [S.l.]. 2018.

APAC. **Relatório de situação de recursos hídricos**. Recife. 2013.

APAC. **Estudos de mecanismos de cobrança pelo uso: produto 4, consolidação da metodologia de cobrança junto aos comitês de bacias hidrográficas, câmara técnica de águas subterrâneas e ao conselho estadual de recursos hídricos**. APAC. Recife. 2018.

APAC. A**tualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco - PERH-PE.** Nota técnica: unidades de planejamento. Apac. Recife, 2020.

ARAÚJO, F. C. D.; BERTUSSI, G. L. Saneamento básico no Brasil: estrutura tarifária e regulação. **Planejamento e políticas públicas**, v. 51, p. 165-202, 2018.

ARPE. **Resolução ARPE nº 88, de 05 de fevereiro de 2014**. Recife. 2014a.

ARPE. **Nota Técnica ARPE/DEF/CT nº 01/2014: Metodologia Tarifária para a COMPESA**. Recife. 2014b.

ARPE. **Nota Técnica DEF/CTEEF Nº02/2018 - Revisão Tarifária Ordinária Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa)**. Recife. 2018.

ARPE. **Resolução ARPE nº 147, de 13 de julho de 2019**. Recife. 2019.

ARSAE-MG. **NOTA TÉCNICA CRFEF 63/2017**. Belo Horizonte. 2017.

BAISA, B. *et al*. The welfare costs of unreliable water service. **Journal of Development Economics**, v. 92, p. 1-12, 2010.

BARBOSA, A.; LIMA, S. C.; BRUSCA, I. Governance and efficiency in the Brazilian water utilities: A dynamic analysis in the process of universal access. **Utilities Policy**, v. 43, p. 82-96, 2016.

BLACK, R. E.; MORRIS, S. S.; BRYCE, J. Where and why are 10 million children dying? **Lancet**, v. 361, p. 2226-2234, 2003.

BOLAND, J. J.; WHITTINGTON, D. **The Political Economy of Water Tariff Design in Developing Countries:** Increasing Block Tariffs versus Uniform Price with Rebate (UPR) designs. New York: Oxford University Press, 2000.

BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 22 jun. 2010.

BRASIL. Decreto nº 82.587, de 6 de Novembro de 1978. Regulamenta a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978, que dispõe sobre as tarifas dos serviços públicos de saneamento e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 07 nov. 1978.

BRASIL. Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União. 8 jan 2007.**

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** 16 jul. 2020.

BRASIL. Lei nº 6.528/78, de 11 de maio de 1978. Dispõe sobre as tarifas dos serviços públicos de saneamento básico, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 11 Maio 1978.

CANDIDO, L. A. *et al*. **Review of Decision Support Systems and Allocation Models for Integrated Water Resources Management Focusing on Joint Water Quantity-Quality**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 148, n. 2, 2022.

CARDELL-OLIVER, R.; WANG, J.; GIGNEY, H. . Smart meter analytics to pinpoint for reducing household water use. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 142, n. 6, 2016.

CARDOSO, E. R.; MELO, A. S. S. A. Demanda residencial urbana de água sob uma estrutura de preços não lineares para Recife-PE e Cuiabá-MT. **Anais do 44º Encontro Nacional de Economia da ANPEC**, 2016.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R. S. Instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: uma análise dos estudos no Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 31, p. 604-628, 2000.

CARVALHO, A. E. C.; SAMPAIO, L. M. B. Paths to universalize water and sewage services in Brazil: the role of regulatory authorities in promoting efficient service. **Utilities Policy**, v. 34, p. 1-10, 2015.

CLARKE, A. J.; COLBY, B. G.; THOMPSON, G. D. Household Water Demand Seasonal Elasticities: A Stone-Geary Model under an Increasing Block Rate Structure. **Land Economics**, v. 93, n. 4, p. 608-630, 2017.

COMPESA. **Compesa - História e Perfil** Disponivel em: <https://servicos.compesa.com.br/historia-e-perfil/>. Acesso em: 22 Agosto 2021, 2021.

COMPESA. **Como me cadastro na Tarifa Social?** Disponível em: < https://servicos.compesa.com.br/perguntas-frequentes/ >. Acesso em: 22 de agosto de 2017, 2017.

CORDEIRO NETTO, O. M. **Desafios da governança de recursos hídricos.** Foz do Iguaçu - PR. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 24 nov. 2019. Apresentação de Power Point. 49 slides. color. Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em: <https://eventos.abrh.org.br/xxiiisbrh/pdf/20191127_abrh_oscarcordeironetto.pdf.. Acesso em: 10 dez. 2021, 2019.

CRUZ, K. A.; RAMOS, F. S. Evidências de subsídio cruzado no setor de saneamento básico nacional e suas consequências. **Nova Economia**, v. 26, n. 2, p. 623-651, 2016.

DANTIZG, G. B. **Maximization of a Linear Function of Variables Subject to Linear Inequalities. Activity Analysis of Production and Allocation.** New York: John Wiley & Sons, p. 339-347, 1951.

DIAKITÉ, D.; SEMENOV, A.; THOMAS, A. A proposal for social pricing of water supply in Côte d'Ivoire. **Journal of Development Economics**, v. 88, p. 258-268, 2009.

DIGE, G. *et al*. **Assessment of cost recovery through water pricing.** EEA Technical report No 16/2013. Copenhagen. 2013.

FARIA, R. C.; NOGUEIRA, J. M.; MULLER, B. Políticas de precificação do setor de saneamento urbano no Brasil: as evidências do equilíbrio de baixo nível. **Estudos Econômicos**, v. 35, n. 3, p. 481-518, 2005.

FARIA, S. A. D.; FARIA, R. C. D. Cenários e perspectivas para o setor de saneamento e sua interface com os recursos hídricos. **Engenharia sanitaria e ambiental**, v. 9, n. 3, p. 202-210, 2004.

FIPE. **Estimação da elasticidade-preço da demanda dos clientes comerciais e industriais da SABESP**. São Paulo. 2009.

GAMPER-RABINDRAN, S.; KHAN, S.; TIMMINS, C. The impact of piped water provision on infant mortality in Brazil: A quantile panel. **Journal of Development Economics**, v. 92, n. 2, p. 188-200, 2010.

GRIFFIN, C. G. Effective water pricing. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 37, n. 5, p. 1335-1347, 2001.

GRIFFIN, C. G. **Water Resource Economics:** the analysis of scarcity, policies, and projects. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2006.

HADKA, D.; REED, P. Diagnostic assessment of search controls and failure modes in many-objective evolutionary optimization. **Evolutionary Computation**, v. 20, n. 3, p. 423-452, 2012.

HADKA, D.; REED, P. Borg: an auto-adaptive many-objective evolutionary computing framework. **Evolutionary Computation**, v. 21, n. 2, p. 231-259, 2013.

HADKA, D.; REED, P.; SIMPSON, T. W. **Diagnostic assessment of the Borg MOEA for many-objective product family design problems**. Brisbane, Australia: IEEE World Congress on Computational Intelligence. 2012.

HOQUE, S. F.; WICHELNS, D. State-of-the-art review: designing urban water. **International Journal of Water Resources Development**, v. 29, p. 472-491, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JAMES, L. D.; LEE, R. R. **Economics of Water Resources Planning**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1971.

KOSEK, M.; C., B.; GUERANT, R. L. The Global Burden of Diarrheal Disease, As Estimated from Studies Published between 1992 and 2000. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 81, n. 3, p. 197-204, 2003.

LOPEZ-NICOLAS, A. *et al*. Design and assessment of an efficient and equitable dynamic urbanwater tariff. Application to the city of Valencia, Spain. **Environmental Modelling & Software**, v. 101, p. 147-145, 2018.

MACIAN-SORRIBES, H.; PULIDO-VELAZQUEZ, M.; TILMANT, A. Definition of efficient scarcity-based water pricing policies through stochastic programming. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, p. 3925-2935, 2015.

MADHOO, Y. N. Redistributive impact of increasing block residential water rates: some empirical evidence from Mauritius. **Water Policy**, v. 13, p. 471-489, 2011.

MANSUR, E. T.; OLMSTEAD, S. M. The value of scarce water: Measuring the inefficiency of municipal regulations. **Journal of Urban Economics**, v. 71, p. 332–346, 2012.

MARQUES, J.; CUNHA, M.; VIEIRA, J. Otimização multiobjetivo do dimensionamento de redes de distribuição de água utilizando dois métodos distintos. Lisboa: **Atas do 13.º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos.** 2016.

MARTINS, R. *et al*. Water pricing and social equity in portuguese municipalities. **Textos da FEUC COIMBRA**, v. 17, p. 1-27, 2010.

MARTINS, R.; FORTUNATO, A. Residential water demand under block rates - a Portuguese case study. **Water Policy**, v. 9, p. 217-230, 2007.

Martins, R. *et al*. Water affordability issues in developed countries - The relevance of micro approaches. **Utilities Policy**, v. 43, p. 117-123, 2016.

MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M. D.; GREEN, J. R. **Microeconomic**. New York: Oxford University Press, 1995.

MAYER, A. **Personal Communication**. [S.l.]. 2019.

MIT. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY - **Lecture Notes 15 - Department of Civil and Environmental Engineering - Multiobjective Optimization and Utility.**, Disponivel em: < https://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-731-water-resource-systems-fall-2006/lecture-notes/lect15.pdf>. Acesso em: junho de 2020, 2006.

MOLINOS-SENANTE, M. Water rate to manage residential water demand with seasonality: peak-load pricing and increasing block rates approach. **Water Policy**, v. 16, n. 5, p. 930-944, 2014.

PAGNOCCHESCHI, B. A Política Nacional de Recursos Hídricos no cenário da integração das políticas públicas. In: MUÑOZ, H. R. **Interfaces da gestão de recursos Hídricos - Desafios da Lei de Águas de 1997.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos., 2000.

PEDROSA, V. A. Práticas tarifárias do setor de saneamento brasileiro. **Revista brasileira de recursos hídricos**, v. 6, p. 59-71, 2001.

PERNAMBUCO. **Atlas de Bacias Hidrográficas de Pernambuco**. Recife. 2006.

PERNAMBUCO. Decreto n. 40.256, de 3 de janeiro de 2014. Altera o Anexo Único do Decreto nº 18.251, de 21 de dezembro de 1994, que aprova o Regulamento Geral do Fornecimento de Água e da Coleta de Esgotos, realizados pela Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**, 2014.

PERNAMBUCO. Lei nº 12.984, de 30 de dezembro de 2005. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco,** 2005.

PERNAMBUCO. Lei nº 455, de 13 de julho de 2021. Institui as Microrregiões de Água e Esgoto do Sertão e da RMR Pajeú e respectivas estruturas de governança. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco,** 2021.

PULIDO-VELAZQUEZ, M.; ALVAREZ-MENDIOLA, E.; ANDREU, J. Design of efficient water pricing policies integrating. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 139, n. 5, p. 583-592, 2013.

RAFTELIS, G. A. **Comprehensive Guide to Water and Wastewater Finance and Pricing.** 2nd. ed. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1993.

RANDALL, A. Property entitlements and pricing policies for a maturing water economy. **The Australian Journal of Agricultural Economics**, v. 25, n. 3, p. 195-220, 1981.

RAO, S. S. **Engineering Optimization:** Theory and Practice. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

REED, P. M. *et al*. Evolutionary multiobjective optimization in water resources: the past, present, and future. **Advances in Water Resources**, v. 51, p. 438-456, 2013.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E.; PEREIRA, J. S. Elasticidade-preço da demanda e a cobrança pelo uso da água. **Simpósio brasileiro de recursos hídricos da ABRH**, 1999.

ROGERS, P.; SILVA, R.; BHATIA, R. Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. **Water Policy**, v. 4, p 1-17, 2002.

ROSENTHAL, R. E. **GAMS — A User's Guide**. Disponivel em: <https://www.un.org/en/development/desa/policy/mdg_workshops/eclac_training_mdgs/brookeetal2008_gamsusersguide.pdf>. Acesso em: 2020. 2008.

ROUGÉ, C. *et al*. Assessment of smart-meter-enabled dynamic pricing at utility and river basin scale. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 144, n. 5, 2018.

RTI INTERNATIONAL. **Pernambuco Food-Energy-WaterNexus: Integrating Hydro-BID into an Economic Valuation Framework**. Washington, D.C. 2016.

SAHIN, O.; STEWART, R. A.; PORTER, M. G. Water security through scarcity pricing and reverse osmosis: a system dynamics approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 88, p. 160-171, 2015.

SALAZAR, J. Z. *et al*. A diagnostic assessment of evolutionary algorithms for multi-objective surface water reservoir control. **Advances in Water Resources**, v. 92, p. 172-185, 2016.

SANTOS, M. R. M. O princípio poluidor-pagador e a gestão de recursos hídricos: a experiência europeia e brasileira. In: MAY, P. H. **Economia do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 333-352.

SANTOS, R. R. S. **Acoplamento de modelo de alocação de água baseado em rede à modelagem de insumo-produto: uma proposta metodológica e aplicação em bacias hidrográficas interligadas do agreste pernambucano**. Tese (Doutorado em Economia) – Pimes, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2020.

SAVIć, D. **Single-objective vs. multiobjective optimisation for integrated decision support. In:** International Congress on Environmental Moddeling and Software, 1, p. 7-12. Lugano, Switzerland.: Integrated Assessment and Decision Support. Disponível em:. Acesso em: 01 mar. 2018. 2002.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ano base 2020. **Série histórica.** Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. 2021.

SOUSA, A.; RIBEIRO, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. C. L. Gestão das águas subterrâneas no Estado da Paraíba: proposta de modelo de cobrança. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 4, p. 121-132, 2010.

STRONG, A. . G. C. The impact of real-time quantity information on residential water demand. **Journal ofWater Resources and Economics**, v. 10, p. 1-13, 2015.

STRONG, A.; GOEMANS, C. Quantity Uncertainty and demand: the case of watersmart reader ownership. **The B. E. Journal of Economic Analysis and Policy**, v. 14, p. 669-694, 2014.

SZABÓ, A. The value of free water: analyzing South Africa's free basic water policy. **Econometrica**, v. 83, n. 5, p. 1913-1961, September 2015.

SZABÓ, A.; UJHELYI, G. Reducing nonpayment for public utilities: Experimental evidence from South Africa. **Journal of Development Economics**, v. 117, p. 20-31, 2015.

UHLENBROOK, S. **Universalização do saneamento está lenta demais na maior parte dos países**. Disponível em: < https://www.estrategiaods.org.br/universalizacao-do-saneamento-esta-lenta-demais-na-maior-parte-dos-paises/> 2018.

UNITED NATIONS. **The Millenium Development Goals Report 2005.** New York. 2005.

UNITED NATIONS. **Human Right to Water and Sanitation**. Genebra. 2015.

UNITED NATIONS. **Progress Towards the Sustainable Development Goals: Report of the Secretary-General**. Disponível em: < https://www.un.org/sustainabledevelopment/progress-report/>, 2017.

VARIAN, H. R. **Microeconomic analysis**. 3. ed. New York: Norton & Company, 1992.

VÁSQUEZ, W. F. Nonpayment of water bills in Guatemala: Dissatisfaction or inability to pay? **Water Resources Research**, 2015.

VÁSQUEZ, W. F.; ALICEA-PLANAS, J. Factors associated with nonpayment behavior in the water sector of Nicaragua. **Utilities Policy**, v. 47, p. 50-57, 2017.

VIEIRA, J.; CUNHA, M. C. Multi-objective analysis of the conjunctive use of surface water and groundwater in a multisource water supply system. **19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings** from the conference held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria.,2017.

WALSKI, T. M. The wrong paradigm-why water distribution optimization doesn't work. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 127, n. 4, p. 203-205, 2001.

WARD, F. A.; PULIDO-VELAZQUEZ, M. Incentive pricing and cost recovery at the basin scale. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 1, p. 293-313, 2009.

WARD, V. L. *et al*. Confronting tipping points: can multi-objective evolutionary algorithms discover pollution control tradeoffs given environmental thresholds? **Environmental Modelling & Software**, v. 73, p. 27-43, 2015.

WHITTINGTON, D. Possible adverse effects of increasing block water tariffs in developing countries. **Economic Development and Cultural Change**, v. 41, n. 1, p. 75-87, 1992.

WHITTINGTON, D. *et al*. A diagnostic tool for estimating the incidence of subsidies delivered by water utilities in low- and medium-income countries, with illustrative simulations. **Utilities Policy**, v. 34, p. 70-81, 2015.

WHITTINGTON, D.; BOLAND, J.; FOSTER, V. **Water Tariffs and Subsidies in South**. Washington, D.C. 2002.

WOO, C. Managing water supply shortage: interruption vs. pricing. **Journal of Public Economics**, v. 54, p. 145-160, 1992.

ZWANE, A. P.; KREMER, M. What Works in Fighting Diarrheal Diseases in Developing Countries? A Critical Review. **NBER Working Papers**, v. 12987, National Bureau of Economic Research, Inc., 2007.

APÊNDICE A (parte 1): Parâmetros usados nos modelos multiobjetivo

Municípios e RD's	VF_RS	VF_RNS	VF_C	VF_I	VF_G	VF_TOTAL	TM_RS	TM_RNS	TM_C	TM_I	TM_G	TM_TOTAL
COMPESA	35681367	202761670	14582003	6876885	9271158	269173083	0.78	2.36	4.59	3.41	4.75	2.38
RD 01 Sertão de Itaparica	453479	2344280	179959	8739	334263	3320720	0.78	2.42	4.60	7.62	4.84	2.57
RD 02 Sertão do S. Francisco	1628781	9459286	823116	186572	832165	12929920	0.81	2.42	4.90	2.62	4.86	2.54
RD 03 Sertão do Araripe	1666722	4164528	169692	81365	207048	6289355	0.78	2.33	4.50	3.92	4.23	2.06
RD 04 Sertão Central	1355556	3036823	228772	7825	237721	4866697	0.80	2.40	4.25	7.30	4.63	2.16
RD 05 Pajeú	2278449	5439524	260293	10853	306094	8295213	0.73	2.36	4.23	5.91	4.61	2.06
RD 06 Sertão do Moxotó	1121927	2928674	147480	6912	125924	4330917	0.69	2.60	4.62	5.35	4.62	2.24
RD 07 Agreste Meridional	3370631	9263463	388051	25111	444797	13492053	0.77	2.36	4.21	4.13	4.60	2.10
RD 08 Agreste Central	6148878	26908543	1943469	264175	1047185	36312250	0.76	2.38	4.42	5.07	4.56	2.30
RD 09 Agreste Setentrional	2098639	9202259	503008	45185	330557	12179648	0.73	2.30	6.78	6.46	4.49	2.29
RD 10 Mata Sul	2593177	8716934	397982	359671	384019	12451783	0.77	2.30	3.85	1.88	4.62	2.09
RD 11 Mata Norte	2952900	8211705	373271	21463	408676	11968015	0.75	2.29	4.08	7.26	4.63	2.06
RD 12 Metropolitana	10012228	113085651	9166910	5859014	4612709	142736512	0.83	2.36	4.57	3.38	4.86	2.52
Belém de São Francisco	71189	386841	44458	1135	35276	538899	0.68	2.37	3.92	7.50	4.77	2.44
Floresta	105355	543266	51397	2724	44363	747105	0.82	2.34	5.09	7.53	4.70	2.47
Itacuruba	16824	136150	5942	358	23662	182936	0.83	2.40	4.11	7.04	4.82	2.64
Jatobá	46266	413460	32851	820	82972	576369	0.96	2.62	5.26	7.92	4.83	2.96
Petrolândia	158405	621894	39377	3580	132842	956098	0.74	2.40	4.42	7.82	4.94	2.58
Tacaratu	55440	242669	5934	122	15148	319313	0.80	2.40	3.62	4.40	4.53	2.24
Afrânio	84798	159377	19445	0	42033	305653	0.78	2.42	3.30		4.01	2.24
Cabrobó	231283	588012	52322	624	47970	920211	0.69	2.36	4.65	4.04	4.81	2.20
Dormentes	69729	160336	9378	0	19495	258938	0.76	2.38	4.15		4.55	2.17
Lagoa Grande	193154	373731	18420	153	27520	612978	0.75	2.37	3.00	5.43	4.62	1.98
Orocó	79065	83561	5404	0	20360	188390	0.76	2.47	2.64		4.83	2.01
Petrolina	775455	7761986	695891	185555	623199	10042086	0.89	2.43	5.06	2.59	4.94	2.65
Santa Maria da Boa Vista	195297	332283	22256	240	51588	601664	0.75	2.43	4.18	14.81	4.84	2.16
Araripina	326465	1185822	79045	53778	33469	1678579	0.71	2.34	4.73	2.87	4.51	2.19
Bodocó	143254	361349	11427	5955	21427	543412	0.71	2.33	3.97	7.50	4.60	2.08

Municípios e RD's	VF_RS	VF_RNS	VF_C	VF_I	VF_G	VF_TOTAL	TM_RS	TM_RNS	TM_C	TM_I	TM_G	TM_TOTAL
Exu	159885	306930	5398	2449	14884	489546	0.84	2.36	4.49	8.28	4.50	1.99
Granito	37340	71633	605	0	12327	121905	0.70	2.34	2.65		4.47	2.05
Ipubi	195579	259223	4615	968	30272	490657	0.70	2.34	4.73	3.10	2.99	1.75
Moreilândia	58271	107443	1556	0	10901	178171	0.67	2.22	3.18		4.43	1.85
Ouricuri	432369	1038946	35622	4516	58510	1569963	0.92	2.34	4.72	2.95	4.41	2.08
Santa Cruz	90194	107597	1152	0	9893	208836	0.70	2.33	3.80		4.42	1.73
Santa Filomena	41319	56687	4150	0	1493	103649	0.73	2.35	2.70		4.12	1.75
Trindade	182046	668898	26122	13699	13872	904637	0.73	2.31	4.14	6.04	4.20	2.13
Cedro	112804	125749	2168	0	9940	250661	0.70	2.35	3.00		4.27	1.69
Mirandiba	101267	219296	8202	0	9135	337900	0.72	2.30	3.95		4.31	1.92
Parnamirim	112404	229761	18256	1533	23893	385847	0.79	2.34	4.66	14.95	4.52	2.19
Salgueiro	491964	1618480	153637	5485	125330	2394896	0.89	2.47	4.64	5.63	4.81	2.42
São José do Belmonte	217192	365172	30895	0	23702	636961	0.73	2.36	2.37		4.48	1.88
Serrita	89865	165097	8072	360	16243	279637	0.71	2.25	3.80	3.92	4.29	1.92
Terra Nova	107783	148941	3953	120	7551	268348	0.72	2.24	3.73	4.32	4.15	1.71
Verdejante	122277	164327	3589	327	21927	312447	0.84	2.33	4.64	4.29	4.63	1.94
Afogados da Ingazeira	351176	764385	45596	4092	59708	1224957	0.68	2.33	4.07	6.43	4.77	2.05
Brejinho	35230	109342	2677	0	10821	158070	0.69	2.37	2.88		4.42	2.14
Calumbi	24733	59256	1349	0	2039	87377	0.69	2.29	3.78		4.10	1.90
Carnaíba	80583	211101	8442	690	20911	321727	0.73	2.38	3.29	5.05	4.70	2.14
Flores	120189	286916	10250	1059	22771	441185	0.74	2.34	3.99	6.78	4.63	2.07
Iguaraci	93079	183256	6204	0	13722	296261	0.75	2.39	2.53		4.44	1.97
Ingazeira	16693	47598	1645	128	11425	77489	0.73	2.34	3.21	4.59	3.94	2.25
Itapetim	151322	179405	7225	242	13014	351208	0.72	2.37	3.41	4.36	4.51	1.76
Quixaba	32278	64642	874	0	4189	101983	0.72	2.36	2.40		4.15	1.92
Santa Terezinha	106168	138748	6973	0	6712	258601	0.73	2.25	4.51		4.36	1.74
São José do Egito	276589	611911	29674	1487	32401	952062	0.72	2.36	4.32	5.17	4.66	2.02
Serra Talhada	624388	1806913	110175	2092	70126	2613694	0.76	2.39	4.70	5.72	4.77	2.17
Solidão	13665	27105	410	0	4533	45713	0.67	2.31	1.41		4.29	2.01
Tabira	237773	479830	17986	361	7147	743097	0.71	2.34	3.74	4.33	4.33	1.87
Triunfo	52165	228409	3208	0	14356	298138	0.76	2.37	3.58		4.53	2.21
Tuparetama	62418	240707	7605	702	12219	323651	0.72	2.35	4.02	6.08	4.54	2.16

Municípios e RD's	VF_RS	VF_RNS	VF_C	VF_I	VF_G	VF_TOTAL	TM_RS	TM_RNS	TM_C	TM_I	TM_G	TM_TOTAL
Arcoverde	590428	1417300	102771	4823	98405	2213727	0.70	2.32	5.00	5.21	4.79	2.13
Betânia	39040	107105	2302	0	1947	150394	0.73	2.17	2.83		3.67	1.83
Custódia	205432	352648	17282	1317	4785	581464	0.67	2.20	3.61	6.90	3.98	1.73
Ibimirim	132436	274755	9266	170	8750	425377	0.69	2.26	4.45	3.88	4.23	1.86
Manari	49800	59787	1120	0	1020	111727	0.66	2.35	3.44		3.32	1.62
Sertânia	104791	717079	14739	602	11017	848228	0.70	3.58	3.60	3.47	4.02	3.23
Águas Belas	69041	588932	18809	509	20788	698079	0.69	2.31	3.99	4.14	4.74	2.27
Angelim	58568	129715	3529	362	4840	197014	0.68	2.27	3.59	19.14	3.97	1.89
Bom Conselho	249353	628062	26901	929	19538	924783	0.72	2.32	4.32	4.34	4.55	2.00
Brejão	24466	86205	1885	0	3354	115910	0.72	2.32	3.06		3.80	2.04
Buíque	104697	299746	7509	240	15771	427963	0.79	2.24	4.24	4.31	4.58	2.01
Caetés	51144	138880	2118	0	2263	194405	0.67	2.17	3.28		3.65	1.81
Calçado	42659	87808	2296	153	2707	135623	0.69	2.25	3.53	5.05	3.81	1.81
Canhotinho	157467	276505	8079	866	22560	465477	0.74	2.35	4.22	7.33	4.55	1.95
Capoeiras	60533	136169	8064	157	5947	210870	0.69	2.21	3.40	8.31	3.97	1.87
Correntes	116478	190001	7283	603	18352	332717	0.85	2.37	2.86	4.93	4.60	1.98
Garanhuns	735130	4122042	203115	5465	169719	5235471	0.96	2.46	4.68	5.94	4.82	2.41
Itaíba	247960	256653	9288	121	21221	535243	0.68	2.37	4.98	4.36	4.57	1.72
Jucati	54231	78880	1951	240	2036	137338	0.71	2.28	3.26	6.25	3.82	1.70
Jupi	33866	75442	2296	190	2181	113975	0.68	2.25	2.35	3.59	4.21	1.83
Jurema	132173	227551	5808	70	15150	380752	0.70	2.31	3.43	4.33	4.29	1.85
Lagoa do Ouro	69506	134738	6098	32	12214	222588	0.70	2.34	2.73	5.33	4.61	1.96
Lajedo	407199	831171	42120	1398	29884	1311772	0.76	2.21	3.84	5.77	4.58	1.87
Palmeirina	59116	106909	4318	123	9771	180237	0.70	2.27	2.89	4.41	4.34	1.88
Paranatama	13874	34092	597	0	4648	53211	0.71	2.31	2.62		4.18	2.06
Pedra	200858	98413	2385	12171	5056	318883	0.67	2.14	2.83	2.05	4.02	1.25
Saloá	40140	120683	2188	0	4779	167790	0.71	2.30	2.48		4.64	1.99
São João	170001	211794	13240	642	32752	428429	0.76	2.39	2.83	8.77	4.65	1.94
Terezinha	30952	76994	2105	120	6500	116671	0.72	2.34	3.25	4.31	4.19	2.03
Tupanatinga	109104	189389	2613	0	7329	308435	0.69	2.39	3.79		4.18	1.84
Venturosa	132115	136689	3456	720	5437	278417	0.68	2.15	2.59	3.98	3.97	1.50
Agrestina	160449	534737	19055	752	28471	743464	0.74	2.34	3.30	9.29	4.61	2.11

Municípios e RD's	VF_RS	VF_RNS	VF_C	VF_I	VF_G	VF_TOTAL	TM_RS	TM_RNS	TM_C	TM_I	TM_G	TM_TOTAL
Alagoinha	38050	176316	2267	0	3452	220085	0.78	2.20	3.01		3.35	1.98
Altinho	212145	328807	20418	820	8298	570488	0.69	2.34	2.53	5.68	4.41	1.77
Barra de Guabiraba	110990	148541	7614	217	13813	281175	0.70	1.99	3.53	5.42	4.61	1.65
Belo Jardim	691149	2155261	144629	7283	99463	3097785	0.83	2.38	3.64	6.85	4.72	2.18
Bezerros	592204	1271799	55249	6855	41499	1967606	0.78	2.25	4.36	5.48	4.15	1.92
Bonito	344765	690200	41853	344	55922	1133084	0.71	2.30	4.00	4.73	4.74	2.00
Brejo da Madre de Deus	260945	462377	22249	240	11817	757628	0.68	2.33	4.94	4.31	4.12	1.86
Cachoeirinha	167492	370981	10671	240	13403	562787	0.68	2.26	4.56	4.31	4.44	1.89
Camocim de São Félix	182170	212070	5849	620	18913	419622	0.67	2.21	3.96	5.60	4.71	1.68
Caruaru	883445	12009922	1101548	132080	378550	14505545	0.91	2.40	4.76	5.90	4.84	2.58
Cupira	264474	535268	47798	2044	27797	877381	0.79	2.50	3.39	6.11	5.60	2.14
Gravatá	487757	3444714	247240	97725	100667	4378103	0.81	2.58	3.84	3.45	4.81	2.52
Ibirajuba	55330	67103	1499	0	3195	127127	0.69	2.28	3.24		3.84	1.64
Jataúba	3009	109012	2029	0	6684	120734	0.67	2.34	3.51		4.58	2.44
Lagoa dos Gatos	40127	264624	4955	120	17657	327483	0.71	2.34	3.25	4.31	4.65	2.28
Panelas	173139	320891	10505	409	18152	523096	0.73	2.34	3.93	6.35	4.50	1.92
Pesqueira	437066	1006669	48081	2403	41917	1536136	0.69	2.23	4.29	4.78	4.61	1.92
Poção	58642	117559	2876	532	3916	183525	0.69	2.22	3.66	5.13	4.01	1.80
Riacho das Almas	49729	318587	12466	3969	13694	398445	0.67	2.00	2.71	8.46	3.29	1.97
Sairé	72546	134518	4399	10	12768	224241	0.74	2.34	4.12	4.31	4.55	1.98
Sanharó	198831	425611	11115	3119	23702	662378	0.72	2.28	3.98	7.51	3.69	1.91
São Bento do Una	154624	770976	85263	2006	55454	1068323	0.76	2.26	5.27	5.51	2.79	2.31
São Caitano	211715	565761	13675	845	11280	803276	0.69	2.28	4.63	5.95	3.64	1.92
São Joaquim do Monte	213281	284058	11713	0	21644	530696	0.67	2.30	4.12		4.51	1.78
Tacaimbó	84804	182181	8453	1542	15057	292037	0.70	2.19	2.81	8.32	3.39	1.87
Bom Jardim	330722	429106	13409	725	39679	813641	0.71	2.34	4.21	4.89	4.65	1.82
Casinhas	26361	22014	545	0	8948	57868	0.80	2.13	4.83		4.50	1.92
Cumaru	8385	171264	5400	611	37921	223581	0.74	2.15	2.65	1.27	4.06	2.43
Feira Nova	266475	250285	3848	0	10932	531540	0.75	2.38	3.91		4.50	1.62
Frei Miguelinho	3648	54810	2542	0	5483	66483	0.69	2.26	3.95		4.47	2.42
João Alfredo	128306	513212	15606	3663	10086	670873	0.69	2.33	4.15	5.92	4.31	2.11
Limoeiro	289911	1054831	67139	3312	28210	1443403	0.71	2.22	3.81	5.11	4.48	2.04

Municípios e RD's	VF_RS	VF_RNS	VF_C	VF_I	VF_G	VF_TOTAL	TM_RS	TM_RNS	TM_C	TM_I	TM_G	TM_TOTAL
Machados	85089	178119	3397	0	10789	277394	0.69	2.33	4.17		4.38	1.93
Orobó	45729	148225	8796	369	10678	213797	0.68	2.29	4.29	8.60	4.57	2.15
Passira	154017	373707	10527	120	22013	560384	0.75	2.32	3.96	4.31	4.68	2.02
Salgadinho	3333	116886	3349	140	9313	133021	0.77	2.37	4.97	4.32	4.52	2.55
Santa Cruz do Capibaribe	3920	2818370	229090	13858	24406	3089644	0.77	2.32	9.82	7.16	4.45	2.91
Santa Maria do Cambucá	21200	78161	1778	0	12147	113286	0.66	2.26	3.88		4.66	2.25
São Vicente Ferrer	67348	158364	4553	415	19484	250164	0.69	2.36	3.83	4.93	4.62	2.12
Surubim	561509	1278395	62987	5142	53174	1961207	0.78	2.35	4.86	8.91	4.69	2.06
Taquaritinga do Norte	16383	105568	1130	0	2830	125911	0.67	2.32	3.45		3.32	2.14
Toritama	612	1096578	60414	16710	11656	1185970	0.70	2.22	4.36	5.81	4.51	2.40
Vertente do Lério	4560	17160	1610	0	1390	24720	0.66	1.91	2.08		3.71	1.79
Vertentes	81131	337204	6888	120	11418	436761	0.67	2.31	4.60	4.32	4.39	2.10
Barreiros	196784	632248	29353	263	43814	902462	0.81	2.16	3.90	5.67	4.81	2.05
Belém de Maria	65274	127538	5168	0	8216	206196	0.73	2.26	3.53		4.35	1.89
Chã Grande	192755	192725	8970	360	20762	415572	0.70	2.37	4.51	16.57	4.67	1.77
Escada	281945	1056764	47763	3493	35235	1425200	0.74	2.31	4.28	6.43	4.66	2.13
Joaquim Nabuco	80065	124733	4170	0	14946	223914	0.72	2.03	3.31		4.65	1.76
Maraial	40165	96157	3508	0	8091	147921	0.72	2.26	3.28		4.24	1.98
Pombos	221648	411962	13486	7653	14027	668776	0.85	2.38	4.24	8.86	4.66	2.04
Primavera	64085	92053	6594	0	14049	176781	0.73	2.35	3.87		4.60	2.00
Quipapá	87619	304444	11205	0	17325	420593	0.78	2.37	3.06		4.57	2.15
Ribeirão	233442	794624	40766	946	13954	1083732	0.73	2.34	3.69	6.60	4.07	2.07
Rio Formoso	63588	247586	10866	375	30555	352970	0.82	2.37	3.69	7.45	4.68	2.34
São Benedito do Sul	21873	100274	2591	108	7648	132494	0.76	1.93	3.27	4.75	4.53	1.92
São José da Coroa Grande	39660	369191	7527	450	13275	430103	0.80	2.28	4.15	4.66	4.11	2.23
Sirinhaém	120698	530726	22485	1735	53442	729086	0.81	2.38	4.33	7.80	4.78	2.37
Tamandaré	51772	693397	30881	2121	24204	802375	0.94	2.41	5.42	9.19	4.54	2.52
Vitória de Santo Antão	831804	2942512	152649	342167	64476	4333608	0.77	2.27	3.39	1.56	4.63	2.00
Aliança	177458	323000	15897	40	13462	529857	0.69	2.24	4.22	10.95	3.92	1.82
Buenos Aires	111218	136175	2650	0	4785	254828	0.70	2.32	3.10		4.24	1.66
Camutanga	51794	93661	1169	0	7489	154113	0.69	2.34	4.90		4.65	1.92
Carpina	340309	1732687	93080	3858	45448	2215382	0.81	2.31	3.86	7.99	4.65	2.20

Municípios e RD's	VF_RS	VF_RNS	VF_C	VF_I	VF_G	VF_TOTAL	TM_RS	TM_RNS	TM_C	TM_I	TM_G	TM_TOTAL
Chã de Alegria	76323	133642	4052	0	1687	215704	0.72	2.30	3.84		4.06	1.78
Condado	82219	200641	4312	120	10428	297720	0.69	2.19	3.52	9.14	4.54	1.88
Ferreiros	85893	191602	4649	3921	8741	294806	0.69	2.36	4.03	8.57	4.45	2.04
Glória do Goitá	184562	321058	13240	175	17315	536350	0.89	2.35	3.73	5.15	4.67	1.96
Goiana	317731	1321002	64811	1198	83887	1788629	0.70	2.35	4.26	5.14	4.64	2.24
Itaquitinga	98709	143215	3623	0	5500	251047	0.73	2.21	3.61		4.21	1.69
Lagoa do Itaenga	196756	343720	5777	860	13337	560450	0.73	2.28	4.17	5.22	4.81	1.82
Lagoa do Carro	68430	158717	2586	0	6202	235935	0.69	1.98	3.45		4.39	1.69
Macaparana	203027	340692	12890	1301	41546	599456	0.73	2.42	4.16	7.30	4.84	2.06
Nazaré da Mata	214346	699151	31450	1452	44765	991164	0.76	2.21	4.16	4.89	4.74	2.07
Paudalho	203890	605294	35756	1164	25665	871769	0.71	2.17	2.67	4.50	4.54	1.92
Timbaúba	443048	980688	63834	6974	47042	1541586	0.82	2.37	5.06	7.81	4.74	2.13
Tracunhaém	75531	176504	5144	280	7097	264556	0.69	2.14	4.22	5.55	4.09	1.82
Vicência	21656	310256	8351	120	24280	364663	0.76	2.33	4.17	4.31	4.70	2.44
Abreu e Lima	694712	1884266	67383	4157	38724	2689242	0.73	2.10	3.70	4.56	4.68	1.82
Araçoiaba	54720	136057	3034	240	6226	200277	0.72	2.13	3.72	4.31	4.43	1.84
Cabo de Santo Agostinho	529555	4792691	568720	5035783	402979	11329728	0.81	2.37	5.83	2.78	4.89	2.74
Camaragibe	601811	4299206	174425	11561	115523	5202526	0.94	2.35	4.22	5.95	4.81	2.31
Fernando de Noronha	10	208468	33288	0	24140	265906	0.50	2.65	10.13		4.68	3.77
Igarassu	290227	2167371	95019	6510	101946	2661073	0.73	2.23	3.67	5.68	4.70	2.22
Ipojuca	216335	1338780	104227	11221	85019	1755582	0.75	2.37	4.77	8.20	4.74	2.46
Itamaracá	33361	1234064	29350	2454	24348	1323577	0.71	2.34	3.84	6.69	4.58	2.38
Itapissuma	130236	442758	16827	422	54088	644331	0.71	2.09	3.95	5.13	4.82	2.09
Jaboatão dos Guararapes	996289	12808308	672194	187745	224349	14888885	0.80	2.39	4.68	6.13	4.79	2.47
Moreno	374695	1267558	64106	3473	60093	1769925	0.75	2.29	3.30	9.94	4.66	2.10
Olinda	879752	13007687	627267	65175	242123	14822004	0.83	2.32	4.61	7.48	4.70	2.39
Paulista	815942	9347380	357710	20902	247953	10789887	0.82	2.33	3.80	6.99	4.81	2.33
Recife	3952552	57936212	6262594	501798	2903645	71556801	0.86	2.39	4.50	7.45	4.91	2.63
São Lourenço da Mata	442031	2214845	90766	7573	81553	2836768	0.88	2.32	4.27	6.46	4.79	2.24

Fonte: Elaborado a partir de dados da COMPESA, SNIS e IBGE.

APÊNDICE A (parte 2): Parâmetros usados nos modelos multiobjetivo

Municípios e RD's	a_RS	a_RNS	a_C	a_I	a_G	n_RS	n_RNS	n_C	n_I	n_G	DTSPM3F
COMPESA						293387	1425425	71353	3683	11557	
RD 01 Sertão de Itaparica						3866	16741	911	34	339	
RD 02 Sertão do S. Francisco						13089	61739	3447	55	579	
RD 03 Sertão do Araripe						13555	31041	850	110	477	
RD 04 Sertão Central						10856	21228	1034	19	472	
RD 05 Pajeú						19479	42422	1591	69	618	
RD 06 Sertão do Moxotó						9414	21493	773	43	261	
RD 07 Agreste Meridional						27406	68633	2318	91	938	
RD 08 Agreste Central						50844	192382	9989	732	1586	
RD 09 Agreste Setentrional						18190	71791	2966	292	750	
RD 10 Mata Sul						22055	68194	2764	105	795	
RD 11 Mata Norte						24035	60799	2199	75	798	
RD 12 Metropolitana						80598	768962	42511	2058	3944	
Belém de São Francisco	87.48	610.61	813.43	1419.27	2950.36	623	2750	214	6	57	0.84
Floresta	110.21	574.30	1152.47	2280.18	2975.78	854	4133	227	9	70	1.82
Itacuruba	114.62	495.99	698.07	2521.34	4385.74	131	963	35	1	26	0.04
Jatobá	90.67	615.66	955.58	1298.06	4603.52	501	2483	181	5	87	0.51
Petrolândia	106.76	579.86	820.13	2334.05	10259.40	1321	4580	212	12	64	0.93
Tacaratu	87.91	453.45	511.97	536.25	1961.37	436	1832	42	1	35	0.77
Afrânio	98.79	483.52	568.49	0.00	3589.47	679	1178	113	0	47	2.81
Cabrobó	102.29	526.08	875.34	504.31	4116.39	1938	4365	278	5	56	7.97
Dormentes	114.82	449.76	695.43	0.00	1740.65	564	1269	56	0	51	1.05
Lagoa Grande	107.97	474.83	718.75	831.45	2400.80	1641	2803	77	1	53	1.35
Orocó	90.76	458.95	1017.29	0.00	4686.33	650	552	14	0	21	2.12
Petrolina	126.80	780.77	1271.88	10239.62	10235.45	6016	49328	2768	47	301	0.94
Santa Maria da Boa Vista	95.96	514.33	659.07	1776.98	4995.59	1601	2244	141	2	50	1.19
Araripina	102.95	562.17	996.45	5151.28	1733.60	2729	8862	375	30	87	1.46
Bodocó	100.25	482.34	604.73	5582.81	2012.71	1184	2549	75	8	49	1.95
Exu	97.87	495.82	807.74	10133.30	1718.77	1227	2212	30	2	39	2.29
Granito	98.35	466.07	320.10	0.00	1671.45	317	568	5	0	33	0.56
Ipubi	106.56	456.22	1984.83	1499.96	3477.05	1776	2307	11	2	26	1.77

Municípios e RD's	a_RS	a_RNS	a_C	a_I	a_G	n_RS	n_RNS	n_C	n_I	n_G	DTSPM3F
Moreilândia	93.68	438.46	449.44	0.00	1418.88	511	889	11	0	34	0.06
Ouricuri	96.47	537.23	978.10	784.38	2204.01	3236	7111	172	17	117	4.39
Santa Cruz	85.67	437.73	547.46	0.00	1509.38	743	868	8	0	29	0.02
Santa Filomena	86.68	416.00	589.34	0.00	878.54	336	469	19	0	7	2.17
Trindade	121.09	541.31	751.34	1623.37	1040.40	1496	5206	144	51	56	0.54
Cedro	97.48	503.78	463.87	0.00	1087.14	942	956	14	0	39	0.93
Mirandiba	92.39	510.00	599.82	0.00	1230.89	833	1808	54	0	32	0.74
Parnamirim	103.28	534.37	809.74	4583.95	2205.78	901	1629	105	5	49	1.25
Salgueiro	112.46	699.93	1121.97	3860.69	4340.24	3768	10358	636	8	139	6.23
São José do Belmonte	100.20	518.19	609.01	0.00	1633.95	1793	2796	120	0	65	1.08
Serrita	100.97	478.86	537.49	470.73	1160.88	748	1320	57	3	60	1.11
Terra Nova	92.38	468.62	461.00	518.07	948.76	895	1176	32	1	33	1.07
Verdejante	100.33	503.55	1041.83	701.57	1845.13	976	1185	16	2	55	0.31
Afogados da Ingazeira	110.55	577.70	600.70	1252.22	3428.14	2991	5986	309	21	83	5.46
Brejinho	96.07	451.51	405.26	0.00	1405.57	418	941	19	0	34	0.88
Calumbi	96.05	482.26	509.80	0.00	929.50	208	477	10	0	9	1.48
Carnaíba	87.99	453.14	433.97	697.15	2657.80	676	1633	64	5	37	19.9
Flores	95.36	441.51	692.70	2392.70	2343.34	1004	2267	59	3	45	2.07
Iguaraci	110.50	464.18	412.61	0.00	1524.70	754	1377	38	0	40	1.26
Ingazeira	102.66	461.52	376.64	587.05	1733.32	137	337	14	1	26	0.86
Itapetim	98.39	501.87	448.19	527.12	1777.86	1242	1502	55	2	33	1.29
Quixaba	89.35	412.08	299.88	0.00	966.22	279	511	7	0	18	1.05
Santa Terezinha	94.97	463.22	699.41	0.00	1219.60	863	1078	45	0	24	2.61
São José do Egito	111.28	539.56	700.06	699.26	2477.16	2330	4648	183	11	61	0.78
Serra Talhada	116.68	627.45	905.28	664.90	3413.28	5019	13513	572	18	98	2.1
Solidão	83.61	460.73	192.58	0.00	1142.70	128	300	3	0	17	1.96
Tabira	109.95	491.17	484.29	520.82	1238.64	2495	4268	139	3	25	0.67
Triunfo	112.22	604.95	478.77	0.00	1807.19	427	1701	24	0	36	1.66
Tuparetama	121.58	492.81	612.13	854.27	1734.96	508	1883	50	5	32	0.89
Arcoverde	112.46	703.37	1124.41	785.24	3800.57	4935	11104	457	32	124	6.01
Betânia	94.51	436.20	325.94	0.00	650.07	357	921	20	0	11	1.61
Custódia	98.86	533.94	480.15	2271.83	731.64	1725	2916	130	4	26	0.99

Municípios e RD's	a_RS	a_RNS	a_C	a_I	a_G	n_RS	n_RNS	n_C	n_I	n_G	DTSPM3F
Ibimirim	99.66	478.72	841.33	329.89	1058.64	1110	2190	49	2	35	1.65
Manari	71.54	434.58	350.25	0.00	376.27	419	492	11	0	9	2.82
Sertânia	117.72	535.75	500.32	417.24	791.40	868	3870	106	5	56	1.5
Águas Belas	92.98	497.45	555.78	526.47	3180.38	575	4670	135	4	31	1.1
Angelim	100.19	499.06	487.52	2309.45	769.12	490	1005	26	3	25	1.09
Bom Conselho	106.77	556.83	659.74	575.74	1850.56	2041	4857	176	7	48	1.31
Brejão	103.03	447.56	360.93	0.00	850.70	199	672	16	0	15	1.81
Buíque	93.10	455.39	724.06	517.64	2122.34	884	2424	44	2	34	2.23
Caetés	80.30	432.00	347.45	0.00	590.73	425	1161	20	0	14	8.23
Calçado	89.78	450.98	476.63	773.21	607.12	366	751	17	1	17	0.7
Canhotinho	100.40	485.16	577.48	3173.50	2094.44	1285	2135	59	2	49	0.49
Capoeiras	98.87	446.17	421.36	1304.53	760.73	499	1121	65	1	31	1.63
Correntes	108.58	542.02	335.42	495.19	2164.59	1101	1637	62	6	39	1.34
Garanhuns	120.42	739.08	890.72	954.48	4547.27	5477	27579	1067	34	180	1.94
Itaíba	92.01	455.90	1156.78	527.45	2061.76	2064	2038	40	1	47	0.59
Jucati	93.39	444.24	423.43	749.40	598.27	447	768	15	2	13	1.75
Jupi	102.99	490.99	317.14	341.05	1021.32	295	646	17	2	9	2.39
Jurema	97.23	429.49	443.17	302.87	1182.20	1106	1838	45	1	55	0.95
Lagoa do Ouro	107.13	417.40	463.20	170.40	2166.92	596	1108	36	1	26	0.82
Lajedo	117.16	520.25	549.88	733.78	2073.77	3324	6453	294	11	66	2.18
Palmeirina	103.61	458.18	402.80	542.54	1283.96	486	844	31	1	33	0.69
Paranatama	88.70	421.71	390.82	0.00	1022.56	114	292	4	0	19	1.22
Pedra	106.94	484.97	355.58	12453.15	782.44	1674	812	19	2	26	1.85
Saloá	98.31	518.93	387.16	0.00	2465.29	333	978	14	0	9	0.53
São João	100.50	471.98	657.35	1876.59	2271.75	1362	1587	57	3	67	1.19
Terezinha	93.65	447.29	489.34	517.20	1008.27	256	624	14	1	27	1.27
Tupanatinga	81.42	450.05	521.35	0.00	1020.06	902	1512	19	0	30	2.32
Venturosa	108.13	485.70	344.75	477.93	771.60	1105	1121	26	6	28	1.16
Agrestina	112.34	456.07	675.59	1746.35	2083.76	1312	4140	93	4	63	0.9
Alagoinha	104.45	473.30	358.92	0.00	398.66	328	1449	19	0	29	0.78
Altinho	111.84	455.03	487.16	932.27	1407.18	1896	2636	106	5	26	0.89
Barra de Guabiraba	118.05	528.70	316.54	588.34	1719.16	1416	1696	85	2	37	2.12

Municípios e RD's	a_RS	a_RNS	a_C	a_I	a_G	n_RS	n_RNS	n_C	n_I	n_G	DTSPM3F
Belo Jardim	120.81	566.53	756.58	1347.44	2934.72	5356	15440	696	37	160	1.58
Bezerros	114.13	514.82	792.22	1212.59	2126.18	4715	9162	304	31	81	1.5
Bonito	106.25	490.56	556.19	812.78	3356.61	2830	5309	301	2	79	1.24
Brejo da Madre de Deus	107.76	469.99	1017.12	517.53	918.81	2341	3736	108	2	53	1.06
Cachoeirinha	111.08	488.22	838.29	517.53	1566.68	1421	3037	58	2	38	0.69
Camocim de São Félix	114.90	485.78	492.92	1158.27	2970.49	1528	1785	47	3	30	1.42
Caruaru	127.03	726.39	909.75	1659.05	5655.94	6920	82265	5769	470	324	2.95
Cupira	113.04	501.23	627.71	693.31	4576.10	2213	4466	258	18	34	1.64
Gravatá	121.16	587.07	967.10	3471.21	4245.84	3874	20950	981	97	114	1.83
Ibirajuba	112.14	423.13	404.28	0.00	645.57	457	551	12	0	19	1.24
Jataúba	101.04	443.64	395.25	0.00	1911.40	25	926	18	0	16	2.23
Lagoa dos Gatos	108.41	431.49	460.11	517.20	2488.52	351	2074	35	1	33	3.26
Panelas	96.18	465.98	566.20	865.22	1739.71	1417	2496	73	3	47	0.77
Pesqueira	110.69	551.57	681.47	638.01	1992.92	3652	7969	303	18	97	1.2
Poção	88.07	456.07	339.72	910.20	653.71	605	1106	31	3	24	32.87
Riacho das Almas	116.98	469.54	648.80	16788.87	1287.24	426	2324	52	2	35	0.1
Sairé	124.33	447.21	490.05	43.10	1814.72	589	1057	37	1	32	0.32
Sanharó	116.81	479.60	597.67	3347.46	1681.10	1654	3381	74	7	52	1.5
São Bento do Una	112.45	488.08	1432.24	737.24	3092.32	1269	6070	314	15	50	1.04
São Caitano	107.61	491.66	744.89	838.09	1324.82	1763	4528	85	6	31	1.5
São Joaquim do Monte	103.85	432.69	554.56	0.00	1743.47	1790	2306	87	0	56	0.55
Tacaimbó	104.19	414.82	551.50	4276.95	1962.15	696	1523	43	3	26	1.63
Bom Jardim	112.46	436.65	600.94	590.33	2495.78	3243	3766	94	6	74	2.01
Casinhas	105.12	409.74	658.09	0.00	1751.40	208	177	4	0	23	1.07
Cumaru	101.84	452.02	682.60	775.97	4280.48	71	1565	21	1	36	8.21
Feira Nova	109.63	455.92	557.12	0.00	1756.93	2154	2012	27	0	28	1.56
Frei Miguelinho	118.77	441.90	558.21	0.00	1634.93	31	453	18	0	15	2.33
João Alfredo	109.09	460.36	405.05	416.89	1087.91	1585	4512	160	52	40	0.74
Limoeiro	123.86	579.17	540.42	890.44	1435.85	2382	7995	473	19	88	1.62
Machados	106.86	442.61	488.68	0.00	1350.45	705	1428	29	0	35	0.96
Orobó	94.16	479.76	531.25	1586.53	1809.15	422	1326	71	2	27	1.32
Passira	108.75	441.25	502.71	517.53	2708.44	1249	3000	83	1	38	0.62

Municípios e RD's	a_RS	a_RNS	a_C	a_I	a_G	n_RS	n_RNS	n_C	n_I	n_G	DTSPM3F
Salgadinho	99.30	441.64	924.70	302.34	1912.24	28	881	18	2	22	1.02
Santa Cruz do Capibaribe	123.08	607.46	1987.15	1128.25	1529.05	34	20739	1132	88	71	1.17
Santa Maria do Cambucá	111.02	468.72	530.42	0.00	2458.69	179	652	13	0	23	1.04
São Vicente Ferrer	115.48	484.41	483.93	682.36	2499.46	570	1261	36	3	36	2.72
Surubim	120.67	561.55	897.37	3817.16	2740.51	4453	9593	341	12	91	2.87
Taquaritinga do Norte	136.57	545.01	389.65	0.00	391.48	139	866	10	0	24	1.64
Toritama	125.42	595.49	689.40	924.04	1695.76	5	8552	382	105	31	0.71
Vertente do Lério	113.28	395.17	238.89	0.00	429.43	38	143	14	0	12	10.97
Vertentes	117.95	527.98	792.28	517.96	1393.23	694	2870	40	1	36	0.64
Barreiros	108.27	486.67	420.87	497.07	2966.19	2007	5956	272	3	71	2.07
Belém de Maria	116.33	417.03	468.13	0.00	1277.48	557	1020	39	0	28	1.18
Chã Grande	122.03	534.95	603.31	1988.73	2550.55	1623	1457	67	3	38	0.74
Escada	131.76	482.27	709.06	1182.94	2489.75	2401	8155	288	19	66	2.53
Joaquim Nabuco	109.85	461.81	510.79	0.00	2575.04	655	988	27	0	27	2.81
Maraial	106.26	449.92	426.63	0.00	1071.14	327	751	27	0	32	0.84
Pombos	118.62	476.67	665.18	11300.93	2512.60	1769	3048	86	6	26	0.61
Primavera	120.25	450.33	500.37	0.00	2083.04	534	675	51	0	31	0.94
Quipapá	117.01	421.80	503.63	0.00	1977.41	713	2326	68	0	40	1.55
Ribeirão	128.75	514.06	493.20	891.94	886.79	2057	6502	305	7	64	0.5
Rio Formoso	139.05	514.43	607.21	1396.03	2648.10	505	1778	66	2	54	2.34
São Benedito do Sul	102.26	483.04	368.80	513.00	1386.20	234	1028	23	1	25	1.04
São José da Coroa Grande	110.67	572.19	638.05	523.84	1557.49	314	2879	49	4	35	1.23
Sirinhaém	135.31	490.96	754.89	3382.86	3815.63	960	3732	129	4	67	2.99
Tamandaré	109.68	508.18	1123.51	3248.99	1718.69	445	4952	149	6	64	0.85
Vitória de Santo Antão	119.70	581.14	462.24	10644.51	2348.27	6954	22947	1118	50	127	3.48
Aliança	118.89	474.16	651.73	438.00	1174.05	1486	2532	103	1	45	2.28
Buenos Aires	116.95	438.13	357.38	0.00	1067.12	918	1078	23	0	19	1.72
Camutanga	111.96	494.19	818.45	0.00	2488.88	431	743	7	0	14	1.2
Carpina	123.17	626.70	666.13	4401.63	2346.77	2675	12269	540	7	90	2.54
Chã de Alegria	116.63	425.69	486.70	0.00	856.15	677	1055	32	0	8	1.17
Condado	111.97	491.97	399.94	1097.13	1821.62	680	1700	38	1	26	1.73
Ferreiros	124.06	489.80	693.75	11197.43	2045.56	713	1530	27	3	19	1.68

Municípios e RD's	a_RS	a_RNS	a_C	a_I	a_G	n_RS	n_RNS	n_C	n_I	n_G	DTSPM3F
Glória do Goitá	115.79	452.64	530.76	900.61	2527.40	1428	2221	93	1	32	0.79
Goiana	117.88	575.38	670.56	616.32	2386.08	2691	9602	412	10	163	1.47
Itaquitinga	118.01	472.38	450.43	0.00	1005.87	812	1096	29	0	23	1.31
Lagoa do Itaenga	113.99	445.76	633.26	1497.44	4279.96	1603	2699	38	3	15	0.91
Lagoa do Carro	114.66	467.45	424.51	0.00	1361.34	567	1289	21	0	20	1.49
Macaparana	117.37	493.48	616.21	1899.93	4902.61	1660	2512	87	5	41	0.9
Nazaré da Mata	120.45	595.18	617.40	645.12	2865.73	1722	5274	212	11	74	1.44
Paudalho	122.73	612.35	571.08	654.09	1850.62	1676	4644	167	8	63	2.63
Timbaúba	123.04	572.52	1138.35	2594.57	3095.74	3492	6731	284	21	72	2.38
Tracunhaém	133.68	449.44	749.02	517.58	879.60	625	1480	29	3	33	0.85
Vicência	119.03	473.63	610.54	517.75	2780.63	179	2344	57	1	41	2.3
Abreu e Lima	123.42	530.99	480.73	611.73	2746.42	5634	15249	519	31	66	0.36
Araçoiaba	113.10	433.00	434.31	517.20	1722.06	459	1160	26	2	16	1.1
Cabo de Santo Agostinho	124.34	597.07	2292.82	70588.83	6414.01	4152	33895	1447	198	307	1.46
Camaragibe	128.75	657.48	654.41	1074.98	3679.90	4709	29896	1126	64	151	1.23
Fernando de Noronha	107.58	1253.39	3665.30	0.00	2510.56	1	801	92	0	45	4.96
Igarassu	121.41	539.17	490.79	901.30	3073.23	2407	16549	710	41	156	10.9
Ipojuca	122.27	549.67	969.13	4000.53	3197.11	1734	9346	513	23	126	9.31
Itamaracá	105.02	628.82	547.24	1026.50	2029.54	291	9439	206	16	55	1.47
Itapissuma	108.82	483.53	499.29	722.26	4136.60	1118	3581	133	3	63	0.97
Jaboatão dos Guararapes	121.13	781.66	949.92	4917.55	3937.87	8076	85453	3313	234	273	2.85
Moreno	122.83	523.95	690.39	2465.83	2477.69	3081	9153	306	14	113	0.86
Olinda	120.45	852.47	826.05	2412.53	2912.12	7105	90234	3502	202	391	1.53
Paulista	121.05	696.00	580.01	1432.03	4626.18	6459	67319	2343	102	258	1.26
Recife	121.42	1296.84	1016.30	3423.86	7791.96	31916	380796	27741	1092	1828	2.93
São Lourenço da Mata	121.23	528.69	726.56	1359.70	4073.02	3456	16091	534	36	96	1.9

Fonte: Elaborado a partir de dados da COMPESA, SNIS e IBGE.

APÊNDICE B (parte 1): variáveis de decisão do modelo multiobjetivo (ponto A)

Município e RD	R_RS	R_RNS	R_C	R_I	R_G	R	C	FO2	FO1	FO1_RS	FO1_RNS	FO1_C
COMPESA	23523999	485231133	66641423	23289162	43331124	642016841	628322959	13693882	-680218935	-10153139	-668883808	-34474
RD 01 Sertão de Itaparica	282391	5784444	824008	66550	1612392	8569786	3248714	5321071	-3875504	-106022	-3761130	-4439
RD 02 Sertão do S. Francisco	1125864	23290329	4021060	470836	4013065	32921154	19835371	13085783	-21813463	-356823	-21398690	-9377
RD 03 Sertão do Araripe	1142939	9769883	756935	318663	823677	12812096	13070301	-258205	-6770439	-246861	-6458620	-6727
RD 04 Sertão Central	875360	7540628	972444	57116	1040284	10485832	17267977	-6782146	-5523215	-245999	-5212201	-3281
RD 05 Pajeú	1356135	13212919	1091027	64065	1327815	17051961	23549120	-6497159	-10939001	-762448	-10077616	-11263
RD 06 Sertão do Moxotó	690720	7275637	680781	36979	580952	9265068	15513818	-6248750	-6141605	-311301	-5828881	-156
RD 07 Agreste Meridional	2286943	22227805	1629971	103407	1977865	28225992	22549657	5676334	-18908682	-617877	-18213416	-7284
RD 08 Agreste Central	3914990	65052739	8541756	1335623	4695209	83540316	75358284	8182032	-53731517	-1908719	-51691140	-52547
RD 09 Agreste Setentrional	1332302	21462034	3402345	291995	1449409	27938085	19606917	8331169	-18615933	-759073	-17806428	-10440
RD 10 Mata Sul	1726335	20520057	1526026	655271	1719067	26146757	27981764	-1835007	-16154820	-939186	-15133623	-6292
RD 11 Mata Norte	1882492	19399619	1511866	154324	1680833	24629133	21692708	2936425	-15285944	-991401	-14069029	-10817
RD 12 Metropolitana	6907527	269695040	41683203	19734334	2241058	360430662	368648326	-8217665	-502458812	-2907428	-499233033	-220852
Belém de São Francisco	29527	939933	172960	8496	167979	1318895	452675	866220	-765535	-24975	-739236	-1113
Floresta	73650	1292507	259803	20522	207033	1853513	1359731	493782	-1104640	-20467	-1081093	-1808
Itacuruba	13472	328878	24430	2522	113167	482469	7317	475152	-151170	-1543	-148761	-3
Jatobá	40972	1092580	171471	6490	398987	1710500	293948	1416552	-443567	-4452	-436106	-1490
Petrolândia	87028	1537186	173867	27984	656602	2482667	889171	1593496	-1172593	-54000	-1118569	0
Tacaratu	37743	593360	21477	536	68624	721741	245871	475870	-237999	-585	-237365	-25
Afrânio	59003	400643	62381	0	168317	690344	858885	-168541	-179259	-8074	-168938	-1859
Cabrobó	136827	1438852	242409	2523	225144	2045755	7334082	-5288327	-925213	-61405	-857498	-936
Dormentes	46560	398880	39353	0	66642	551435	271885	279550	-212606	-18197	-171868	-409
Lagoa Grande	123876	924736	54069	831	125784	1229296	827520	401776	-462242	-53298	-406210	-1275
Orocó	55405	215869	14142	0	98030	383446	387459	-4012	-41541	-3588	-37469	-100

Município e RD	R_RS	R_RNS	R_C	R_I	R_G	R	C	FO2	FO1	FO1_RS	FO1_RNS	FO1_C
Petrolina	579294	19061649	3520576	463927	3080869	26706315	9439561	1726675 4	-19653117	-183530	-19452253	0
Santa Maria da Boa Vista	124898	849699	88131	3555	248279	1314563	715980	598583	-339484	-28730	-304453	-4798
Araripina	196305	2840559	372550	154620	153452	3717485	2450725	1266759	-2229820	-84644	-2141349	-1118
Bodocó	113289	777517	45338	44622	98338	1079104	1059653	19451	-457707	-5410	-451955	-16
Exu	117703	740332	24239	20262	67111	969647	1002766	-33119	-358894	-2387	-356416	-7
Granito	23775	175902	1598	0	38568	239843	68267	171576	-112819	-7403	-88824	-2
Ipubi	123659	639840	21833	3000	78183	866515	868463	-1948	-490465	-65591	-412653	0
Moreilândia	44703	192398	4949	0	34441	276491	10690	265801	-214365	-3167	-197392	-5
Ouricuri	311429	2531976	167515	13335	257787	3282042	6892138	-3610095	-1289800	-746	-1288252	-718
Santa Cruz	71485	148619	3540	0	31480	255124	4177	250947	-252296	-7830	-231335	-840
Santa Filomena	25816	141283	11199	0	6150	184448	224918	-40471	-57130	-3309	-53820	-1
Trindade	114775	1581458	104174	82823	58168	1941399	488504	1452895	-1307142	-66375	-1236623	-4018
Cedro	84841	266433	6508	0	31969	389750	233115	156635	-232608	-6983	-215181	-14
Mirandiba	43159	531716	32388	0	39396	646660	250046	396614	-424172	-33802	-390360	-2
Parnamirim	56691	569155	86335	22906	107824	842911	482309	360602	-339286	-36368	-301333	-1312
Salgueiro	381974	4100575	713574	30878	603293	5830295	14920202	-9089907	-3191107	-41763	-3149337	0
São José do Belmonte	135321	906529	71354	0	106099	1219302	687918	531384	-588494	-44336	-542324	-1727
Serrita	43398	397045	30839	1412	49066	521759	310397	211362	-287964	-32127	-235047	-202
Terra Nova	39645	361275	14772	518	31392	447602	287132	160470	-232952	-43032	-189817	-20
Verdejante	90331	407900	16674	1403	71246	587553	96859	490694	-226633	-7590	-188803	-4
Afogados da Ingazeira	200709	1855340	184330	26278	284174	2550831	6688265	-4137434	-1734388	-129953	-1602767	-1287
Brejinho	28032	236231	7714	0	37700	309677	139102	170575	-210871	-12125	-188642	-14
Calumbi	16490	137303	5097	0	8369	167259	129318	37941	-96228	-3489	-92735	-1
Carnaíba	51533	522361	27752	3486	66184	671315	6402367	-5731052	-257746	-7947	-217622	-22
Flores	88733	671179	40868	7178	105424	913382	913253	129	-336760	-7005	-329727	-1
Iguaraci	59630	457495	11946	0	61655	590726	373289	217437	-209767	-23686	-181682	-3733
Ingazeira	15211	70696	4146	587	23081	113721	66641	47080	-109093	-1146	-84835	-1127
Itapetim	95931	450217	24659	1053	58893	630753	453058	177694	-330095	-26272	-303590	-8

Município e RD	R_RS	R_RNS	R_C	R_I	R_G	R	C	FO2	FO1	FO1_RS	FO1_RNS	FO1_C
Quixaba	27027	114604	2101	0	10749	154481	107082	47398	-104712	-2099	-95968	-2
Santa Terezinha	68336	329472	31514	0	29200	458523	674949	-216426	-183614	-13625	-169878	-41
São José do Egito	101735	1524288	123164	7683	146172	1903043	742608	1160434	-1151035	-157538	-983607	-4947
Serra Talhada	387424	4473617	517823	11967	327995	5718826	5488757	230069	-4209895	-198209	-4005179	0
Solidão	9262	63302	578	0	17195	90336	89597	739	-78589	-1441	-74918	0
Tabira	130622	1179211	67250	1562	30948	1409594	497875	911719	-1060867	-143697	-917085	-67
Triunfo	35803	551453	11486	0	63944	662686	494909	167777	-490807	-12113	-477575	-4
Tuparetama	39658	576151	30597	4271	56132	706809	288049	418760	-374533	-22104	-351806	-9
Arcoverde	365929	3388689	513855	25139	470209	4763822	13304499	-8540678	-4611667	-189046	-4421549	0
Betânia	32616	203725	6518	0	7149	250008	242134	7874	-199141	-1126	-198013	-1
Custódia	116134	815434	62436	9093	18936	1022033	575649	446383	-796029	-54393	-741528	-16
Ibimirim	79862	644607	41173	660	37021	803321	701872	101449	-434640	-30755	-403800	-53
Manari	28341	149823	3853	0	3386	185403	315070	-129668	-65627	-1636	-63991	0
Sertânia	67839	2073360	52947	2086	44249	2240482	374593	1865889	-34501	-34346	0	-86
Águas Belas	45970	1363972	74851	2105	98460	1585358	767887	817471	-966917	-7494	-959110	-180
Angelim	38127	299705	12657	6929	19227	376644	214745	161899	-212836	-10965	-201851	-19
Bom Conselho	153452	1507421	117133	4030	88766	1870801	1211466	659335	-1262646	-64464	-1197103	-1018
Brejão	20584	177611	5774	0	12752	216720	209797	6923	-123239	-80	-123149	-1
Buíque	72351	681566	31812	1035	72073	858837	881287	-22450	-432383	-9952	-422297	-46
Caetés	31940	308261	6945	0	8269	355415	1599953	-1244538	-195488	-2188	-193295	-4
Calçado	34615	101104	6378	773	10354	153224	94936	58288	-241092	-1755	-237579	-1725
Canhotinho	93457	686447	33112	6347	98095	917458	228084	689374	-390429	-35558	-349380	-959
Capoeiras	42617	297662	27323	1304	23543	392449	343718	48731	-209317	-6721	-202490	-65
Correntes	85190	477414	20469	2975	64563	650611	445841	204770	-464413	-34360	-409866	-328
Garanhuns	608561	10290234	950394	32451	818508	12700148	10156814	2543334	-10143953	-50999	-10092953	0
Itaíba	148225	650532	46267	527	97029	942581	315793	626787	-320405	-41689	-278586	-4
Jucati	35312	186787	6351	1499	7778	237726	239015	-1289	-160821	-6434	-154387	0
Jupi	22316	171970	5387	682	9166	209521	272400	-62879	-153302	-8064	-145207	-4
Jurema	83575	544849	19918	303	64935	713580	361714	351865	-268622	-23957	-244555	-24

Município e RD	R_RS	R_RNS	R_C	R_I	R_G	R	C	FO2	FO1	FO1_RS	FO1_RNS	FO1_C
Lagoa do Ouro	45628	327029	14534	170	36646	424007	182522	241484	-175507	-18219	-135453	-2141
Lajedo	259431	1883184	161125	8071	136845	2448656	2577101	-128446	-1604536	-130004	-1473968	-540
Palmeirina	47309	198989	12523	542	34010	293373	124364	169010	-199157	-3046	-187714	-36
Paranatama	11650	62833	1525	0	13406	89414	64917	24497	-67907	-1538	-60308	-38
Pedra	124538	230434	6750	24639	20314	406675	589934	-183259	-218144	-54477	-163365	-6
Saloá	26258	282590	5420	0	22164	336431	88929	247503	-231431	-6480	-224927	0
São João	95964	548356	37594	5639	148623	836176	509831	326346	-245311	-40914	-200679	-125
Terezinha	24722	169797	6864	517	20138	222037	148172	73865	-117155	-747	-109309	-13
Tupanatinga	64430	459311	9908	0	30599	564248	597474	-33226	-230173	-9009	-221160	-2
Venturosa	70722	319749	8958	2868	21602	423901	322964	100938	-273499	-48765	-224726	-5
Agrestina	93675	1290557	62445	6986	130802	1584464	669118	915347	-652148	-53717	-597571	-385
Alagoinha	22478	396864	6818	0	11555	437714	171666	266048	-300730	-11781	-288941	-2
Altinho	133003	798944	51482	4664	36662	1024753	507734	517019	-479797	-79048	-400513	-157
Barra de Guabiraba	69648	310579	26834	1177	63602	471841	596091	-124250	-683691	-97517	-586095	-72
Belo Jardim	475367	5295893	523510	49857	469556	6814183	4894500	1919683	-3626043	-171665	-3451305	-3071
Bezerros	398825	2969708	241793	37597	172170	3820094	2951409	868685	-1887422	-139319	-1747087	-958
Bonito	208682	1666429	128199	1626	265172	2270108	1405024	865084	-1069199	-92006	-937980	-39213
Brejo da Madre de Deus	140524	1135389	109489	1035	48614	1435052	803086	631967	-732678	-111739	-620496	-360
Cachoeirinha	127500	756368	48515	1035	59535	992954	388323	604631	-756824	-30346	-726371	-106
Camocim de São Félix	62341	516427	19524	3475	55200	656967	595863	61103	-501484	-113228	-350698	-3644
Caruaru	678372	29009068	5248375	779752	1832526	37548093	42791358	-5243265	-30948079	-200673	-30747406	0
Cupira	154660	1407531	161166	12473	155330	1891160	1438905	452255	-927505	-95506	-830953	-782
Gravatá	328821	9010616	947659	332752	483717	11103566	8011928	3091637	-3434301	-140545	-3288425	-1068
Ibirajuba	35258	160238	4833	0	12168	212497	157637	54859	-89013	-15990	-72907	-18
Jataúba	2509	253352	6930	0	22366	285157	269237	15920	-165875	-17	-157457	-185
Lagoa dos Gatos	29189	618488	16020	517	78209	742423	1067595	-325172	-289272	-8863	-276412	-84
Panelas	99486	796514	40892	2596	65157	1004646	402784	601862	-420412	-36797	-366564	-440
Pesqueira	255684	2328515	205738	11482	193220	2994638	1843363	1151275	-2216331	-148566	-2066921	-748
Poção	30096	232014	10525	2730	15680	291046	2203620	-1912575	-295605	-23187	-272403	-6

Município e RD	R_RS	R_RNS	R_C	R_I	R_G	R	C	FO2	FO1	FO1_RS	FO1_RNS	FO1_C
Riacho das Almas	29767	646840	33278	33495	44937	788317	39845	748472	-465097	-20066	-444372	-460
Sairé	60018	281932	18321	43	48920	409233	71757	337476	-213319	-13210	-190769	-189
Sanharó	116926	1012690	44025	23417	87240	1284297	993567	290730	-685514	-76271	-608847	-203
São Bento do Una	96385	1775226	449724	11058	153324	2485717	1111056	1374661	-1235009	-46314	-1187402	0
São Caitano	75212	1349184	63705	5031	40998	1534130	1204914	329216	-992013	-114501	-877049	-390
São Joaquim do Monte	122825	693478	48249	0	97574	962126	291883	670243	-367450	-63071	-304316	-2
Tacaimbó	67739	339893	23709	12825	50977	495142	476020	19122	-296706	-4776	-291879	-5
Bom Jardim	200386	1054408	56435	3541	180998	1495768	1528976	-33208	-758074	-164323	-590007	-53
Casinhas	23416	34289	2629	0	29438	89773	61919	27854	-50634	-1551	-38235	-4
Cumaru	6082	368321	14361	775	154088	543627	1835600	-1291973	-340276	-1149	-339090	-27
Feira Nova	206759	565842	15030	0	48980	836611	829202	7409	-381085	-29394	-351466	-12
Frei Miguelinho	2801	123981	9824	0	19827	156433	154905	1527	-82000	-881	-76198	-224
João Alfredo	78501	1221089	64752	21680	43504	1429526	496446	933080	-950536	-94408	-856059	-55
Limoeiro	165957	2409531	254615	16923	126285	2973310	2338313	634997	-2351104	-129081	-2220946	-1002
Machados	43731	435900	14235	0	47658	541524	266298	275226	-228200	-31602	-196141	-64
Orobó	15905	352007	38372	3175	49783	459241	282212	177029	-309577	-23830	-284156	-653
Passira	105512	891460	41731	518	102541	1141761	347438	794323	-462991	-30320	-432285	-6
Salgadinho	2521	278000	16624	605	40734	338484	135681	202802	-112704	-260	-111089	-20
Santa Cruz do Capibaribe	2945	6541946	2249456	99252	107381	9000981	3614883	5386098	-6058629	-1239	-6056175	0
Santa Maria do Cambucá	8430	185818	6360	0	43885	244493	117817	126675	-144429	-11444	-119785	-536
São Vicente Ferrer	40434	372798	17420	2047	90438	523137	557427	-34289	-263897	-25392	-238046	-2
Surubim	369989	3120458	301405	45734	249386	4086973	5628664	-1541691	-2438554	-167363	-2266522	-4597
Taquaritinga do Norte	9153	248526	3894	0	9382	270955	206494	64461	-233300	-9831	-223453	-2
Toritama	429	2439167	260740	97227	51356	2848920	842039	2006881	-2657690	-198	-2653467	-2610
Vertente do Lério	2987	21854	3345	0	4724	32910	83074	-50164	-36402	-1318	-34655	0
Vertentes	46365	796638	31118	518	49020	923659	279527	644132	-755852	-35490	-718653	-573
Barreiros	141168	1400851	114470	1491	207426	1865407	1868096	-2689	-1577070	-76137	-1497753	-7
Belém de Maria	47803	286990	18306	0	35898	388997	243311	145686	-155555	-16995	-138382	-49
Chã Grande	114223	492675	40775	5972	97722	751369	307523	443845	-371737	-83836	-286740	-353

Município e RD	R_RS	R_RNS	R_C	R_I	R_G	R	C	FO2	FO1	FO1_RS	FO1_RNS	FO1_C
Escada	177184	2499247	202871	22474	164306	3066081	3605756	-539675	-1574236	-139181	-1433698	-1338
Joaquim Nabuco	53838	260797	13786	0	69608	398030	629198	-231169	-213673	-18116	-195469	-5
Maraial	33694	177842	11535	0	34350	257421	124254	133168	-161195	-1053	-160052	-16
Pombos	159034	1029842	55410	67197	63504	1374988	407953	967035	-478086	-50805	-423055	-1795
Primavera	42719	228714	25082	0	43482	339996	166174	173822	-118280	-21493	-75257	-437
Quipapá	49553	750633	34254	0	52417	886858	651919	234938	-291042	-33878	-230476	-8
Ribeirão	143005	1909090	149995	6243	56389	2264723	541866	1722857	-1555965	-121827	-1433341	-431
Rio Formoso	51227	589836	40043	2792	141876	825774	825950	-176	-344965	-18992	-324819	-32
São Benedito do Sul	12169	198744	8483	513	34640	254549	137794	116755	-309594	-11761	-297818	-1
São José da Coroa Grande	23817	851794	31132	2094	54390	963228	529027	434201	-806745	-10934	-795555	-132
Sirinhaém	85383	1288231	97375	13526	255553	1740068	2179967	-439899	-588657	-44517	-544035	-6
Tamandaré	44797	1682917	165721	19509	109623	2022567	682019	1340549	-839672	-4013	-833588	-1682
Vitória de Santo Antão	546721	6871853	516786	513460	297881	8746700	15080956	-6334255	-6768349	-285648	-6463585	0
Aliança	106348	754456	67093	438	52789	981125	1208074	-226949	-516517	-70323	-446116	-36
Buenos Aires	70535	331416	8221	0	20277	430449	433648	-3199	-177711	-36824	-140885	-1
Camutanga	38946	202520	5727	0	34837	282030	184936	97095	-173979	-9307	-164663	-2
Carpina	232249	4080447	358716	30778	210689	4912879	5627070	-714191	-3707302	-97232	-3608520	-996
Chã de Alegria	55243	305805	15593	0	6853	383494	252374	131121	-167028	-23712	-143293	-19
Condado	52701	449236	15195	1097	47279	565509	515056	50454	-410626	-23437	-387104	-3
Ferreiros	52655	466366	18745	33708	39053	610527	495274	115253	-319141	-35799	-283025	-14
Glória do Goitá	140478	791385	46388	900	81072	1060223	423717	636507	-241963	-24876	-213918	-2974
Goiana	161367	3219538	276272	4532	223198	3884907	2629285	1255622	-2628486	-155854	-2305269	0
Itaquitinga	65088	330725	13006	0	22940	431759	328872	102887	-217987	-30734	-187001	-57
Lagoa do Itaenga	116183	826613	24092	4495	64417	1035798	510010	525789	-443268	-66538	-376482	-28
Lagoa do Carro	43089	323099	8902	0	27167	402256	351543	50713	-301444	-21923	-279448	-13
Macaparana	116685	875067	53746	9504	194324	1249327	539510	709817	-449545	-78156	-364565	-136
Nazaré da Mata	140629	1586471	125186	7076	212064	2071426	1427276	644150	-1624995	-66777	-1552493	-5704
Paudalho	122821	1350460	94930	5232	116577	1690021	2292752	-602732	-1576597	-82870	-1493273	-441
Timbaúba	305632	2386949	323214	54494	218334	3288622	3409716	-121094	-1595345	-124026	-1466675	-77

Município e RD	R_RS	R_RNS	R_C	R_I	R_G	R	C	FO2	FO1	FO1_RS	FO1_RNS	FO1_C
Tracunhaém	44989	390480	22021	1552	29182	488224	224873	263351	-313707	-38558	-274694	-299
Vicência	16852	728585	34821	518	79781	860557	838725	21832	-420303	-4454	-381604	-20
Abreu e Lima	425401	4083946	249510	18962	174522	4952341	968127	3984214	-4289801	-269940	-4013108	-9
Araçoiaba	37453	294423	11290	1034	27559	371759	220305	151455	-222324	-14463	-207854	-2
Cabo de Santo Agostinho	361073	11470099	3317705	13976589	1969102	31094569	16541403	14553166	-8922667	-155173	-8767494	0
Camaragibe	407575	10333070	534133	35236	555666	11865679	6399107	5466572	-9757815	-198711	-9322808	-202733
Fernando de Noronha	5	553719	337207	0	111673	1002605	1318894	-316289	-451654	-103	-450249	0
Igarassu	178005	4887864	348276	36949	479424	5930519	29005696	-23075177	-4149311	-114229	-4034893	-185
Ipojuca	128031	3229056	497163	92030	402529	4348808	16344468	-11995660	-1992494	-83980	-1908190	0
Itamaracá	21476	2893395	112703	16427	111247	3155248	1945658	1209590	-3051555	-9085	-3042063	-28
Itapissuma	78079	951902	66381	2166	260211	1358739	625001	733738	-823623	-43583	-779621	-25
Jaboatão dos Guararapes	659190	30834100	3147090	1150706	1075040	36866126	42433322	-5567197	-36280181	-319021	-35961160	0
Moreno	237740	2982946	211138	34516	277147	3743488	1522136	2221352	-1956475	-140705	-1812813	-120
Olinda	620773	30326739	2892841	487179	1138638	35466171	22677666	12788505	-46829835	-235041	-46594642	0
Paulista	552384	22019722	1358973	94893	1193555	25219527	13595258	11624269	-25114655	-229502	-24833979	0
Recife	2872482	139605828	28210809	3738851	14243700	188671670	209661427	-20989757	-355245735	-1002784	-354225200	-17751
São Lourenço da Mata	327862	5228230	387983	48796	390544	6383414	5389859	993555	-3370688	-91109	-3278960	0

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE B (parte 2): variáveis de decisão do modelo multiobjetivo (ponto A)

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
COMPESA	-128596	-709918	13948869	224220541	14309558	6719285	8761422	267959675	1.69	2.16	4.66	3.47	4.95	2.40
RD 01 Sertão de Itaparica	-45	-3868	116535	2693020	173692	8700	328773	3320721	2.42	2.15	4.74	7.65	4.90	2.58
RD 02 Sertão do S. Francisco	-17338	-31235	558381	10608870	809098	145169	802797	12924315	2.02	2.20	4.97	3.24	5.00	2.55
RD 03 Sertão do Araripe	-159	-58073	1094371	4740087	160161	81558	161584	6237762	1.04	2.06	4.73	3.91	5.10	2.05
RD 04 Sertão Central	-22	-61711	512439	3925891	226561	7808	194007	4866706	1.71	1.92	4.29	7.32	5.36	2.15
RD 05 Pajeú	-31	-87643	946334	6849186	244455	10817	244509	8295301	1.43	1.93	4.46	5.92	5.43	2.06
RD 06 Sertão do Moxotó	-18	-1249	543013	2911095	147261	6933	124090	3732392	1.27	2.50	4.62	5.33	4.68	2.48
RD 07 Agreste Meridional	-285	-69819	1740113	10744365	380659	24250	388635	13278021	1.31	2.07	4.28	4.26	5.09	2.13
RD 08 Agreste Central	-4084	-75026	2410728	30648177	1891462	256462	988939	36195768	1.62	2.12	4.52	5.21	4.75	2.31
RD 09 Agreste Setentrional	-317	-39676	976148	10255306	490096	45344	297379	12064273	1.36	2.09	6.94	6.44	4.87	2.32
RD 10 Mata Sul	-19405	-56313	1081300	10350414	389999	284318	345737	12451767	1.60	1.98	3.91	2.30	4.97	2.10
RD 11 Mata Norte	-1817	-212879	1083006	10105481	358047	20458	289336	11856328	1.74	1.92	4.22	7.54	5.81	2.08
RD 12 Metropolitana	-85074	-12425	2886500	120388650	9038066	5827469	4595635	142736321	2.39	2.24	4.61	3.39	4.88	2.53
Belém de São Francisco	-20	-191	2285	457960	42538	1117	35001	538901	12.92	2.05	4.07	7.61	4.80	2.45
Floresta	0	-1272	35674	617170	49001	2724	42532	747101	2.06	2.09	5.30	7.53	4.87	2.48
Itacuruba	-1	-862	12951	141230	5938	359	22458	182935	1.04	2.33	4.11	7.03	5.04	2.64
Jatobá	0	-1519	26359	437410	30952	820	80831	576372	1.55	2.50	5.54	7.92	4.94	2.97
Petrolândia	-24	0	20571	759750	39377	3559	132840	956097	4.23	2.02	4.42	7.86	4.94	2.60
Tacaratu	0	-24	18696	279500	5886	122	15111	319315	2.02	2.12	3.65	4.40	4.54	2.26
Afrânio	0	-389	38636	209760	15887	0	41371	305654	1.53	1.91	3.93		4.07	2.26
Cabrobó	-1	-5373	79490	748360	50953	626	40782	920212	1.72	1.92	4.76	4.03	5.52	2.22
Dormentes	0	-22131	29817	216330	10077	0	2709	258933	1.56	1.84	3.91		24.60	2.13
Lagoa Grande	0	-1459	66327	505390	15690	153	25420	612980	1.87	1.83	3.45	5.44	4.95	2.01
Orocó	0	-383	44857	112940	5148	0	19822	182766	1.24	1.91	2.75		4.95	2.10
Petrolina	-17335	0	232370	8346500	695890	144150	623200	10042110	2.49	2.28	5.06	3.22	4.94	2.66
Santa Maria da Boa Vista	-1	-1500	66884	469590	15452	241	49493	601659	1.87	1.81	5.70	14.78	5.02	2.18

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
Araripina	-81	-2628	101330	1408200	77432	53973	37695	1678630	1.94	2.02	4.81	2.86	4.07	2.21
Bodocó	-40	-285	295610	209480	11399	5918	21005	543411	0.38	3.71	3.98	7.54	4.68	1.99
Exu	-5	-79	62134	352900	5409	2445	15005	437892	1.89	2.10	4.48	8.29	4.47	2.21
Granito	0	-16590	19626	100630	600	0	1051	121906	1.21	1.75	2.67		36.71	1.97
Ipubi	0	-12221	100630	373300	4615	968	11142	490654	1.23	1.71	4.73	3.10	7.02	1.77
Moreilândia	0	-13801	150770	24759	1568	0	1072	178169	0.30	7.77	3.16		32.12	1.55
Ouricuri	-1	-83	79693	1392800	34588	4518	58381	1569981	3.91	1.82	4.84	2.95	4.42	2.09
Santa Cruz	0	-12292	204600	2944	266	0	1023	208834	0.35	50.48	13.30		30.76	1.22
Santa Filomena	0	0	14158	83844	4154	0	1493	103649	1.82	1.69	2.70		4.12	1.78
Trindade	-32	-94	65820	791230	20132	13735	13718	904635	1.74	2.00	5.17	6.03	4.24	2.15
Cedro	0	-10430	184900	62141	2200	0	1424	250664	0.46	4.29	2.96		22.45	1.55
Mirandiba	0	-8	2626	317930	8198	0	9148	337902	16.43	1.67	3.95		4.31	1.91
Parnamirim	-14	-259	5002	335530	20284	1527	23502	385845	11.33	1.70	4.26	15.00	4.59	2.18
Salgueiro	-7	0	192260	1918200	153640	5476	125330	2394906	1.99	2.14	4.64	5.64	4.81	2.43
São José do Belmonte	0	-108	69947	517270	26207	0	23537	636961	1.93	1.75	2.72		4.51	1.91
Serrita	0	-20587	6115	263260	8445	359	1457	279636	7.10	1.51	3.65	3.93	33.68	1.87
Terra Nova	0	-82	1078	255470	3991	120	7689	268347	36.78	1.41	3.70	4.33	4.08	1.67
Verdejante	-1	-30236	50511	256090	3595	326	1922	312444	1.79	1.59	4.64	4.30	37.08	1.88
Afogados da Ingazeira	-19	-362	108180	1010100	43464	4072	59188	1225003	1.86	1.84	4.24	6.45	4.80	2.08
Brejinho	0	-10090	94803	58441	2710	0	2116	158070	0.30	4.04	2.85		17.82	1.96
Calumbi	0	-3	20253	63732	1347	0	2044	87377	0.81	2.15	3.78		4.09	1.91
Carnaíba	0	-32155	32406	278860	8396	690	1370	321722	1.59	1.87	3.31	5.05	48.30	2.09
Flores	0	-27	122360	284790	10248	1059	22731	441188	0.73	2.36	3.99	6.78	4.64	2.07
Iguaraci	0	-667	31200	249320	955	0	14789	296263	1.91	1.83	12.51		4.17	1.99
Ingazeira	0	-21985	74837	2096	314	128	114	77489	0.20	33.74	13.19	4.60	202.02	1.47
Itapetim	-1	-224	63017	267350	7242	240	13360	351209	1.52	1.68	3.41	4.38	4.41	1.80
Quixaba	0	-6643	92019	8932	880	0	153	101983	0.29	12.83	2.39		70.41	1.51
Santa Terezinha	0	-70	42776	202190	7036	0	6602	258603	1.60	1.63	4.48		4.42	1.77
São José do Egito	-9	-4934	2766	899410	22630	1475	25783	952064	36.78	1.69	5.44	5.21	5.67	2.00

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
Serra Talhada	-1	-6506	154610	2285600	110170	2090	61259	2613730	2.51	1.96	4.70	5.72	5.35	2.19
Solidão	0	-2231	14119	29226	410	0	1958	45713	0.66	2.17	1.41		8.78	1.98
Tabira	0	-18	39976	677780	17864	361	7118	743100	3.27	1.74	3.76	4.33	4.35	1.90
Triunfo	0	-1115	25441	256750	3200	0	12746	298137	1.41	2.15	3.59		5.02	2.22
Tuparetama	0	-613	27570	274610	7589	702	13179	323649	1.44	2.10	4.03	6.09	4.26	2.18
Arcoverde	-12	-1061	246500	1762700	102770	4838	96890	2213699	1.48	1.92	5.00	5.20	4.85	2.15
Betânia	0	-1	103150	42999	2299	0	1944	150393	0.32	4.74	2.83		3.68	1.66
Custódia	-6	-86	65622	492570	17313	1323	4638	581465	1.77	1.66	3.61	6.87	4.08	1.76
Ibimirim	0	-32	51922	355400	9185	170	8699	425375	1.54	1.81	4.48	3.88	4.26	1.89
Manari	0	0	17292	92295	1120	0	1020	111727	1.64	1.62	3.44		3.32	1.66
Sertânia	0	-69	58527	165130	14574	602	10899	249733	1.16	12.56	3.63	3.46	4.06	8.97
Águas Belas	0	-132	54023	604450	18501	508	20597	698079	0.85	2.26	4.05	4.14	4.78	2.27
Angelim	0	-1	41824	146500	3493	362	4838	197016	0.91	2.05	3.62	19.14	3.97	1.91
Bom Conselho	0	-61	82472	793370	28567	929	19446	924783	1.86	1.90	4.10	4.34	4.56	2.02
Brejão	0	-8	72708	37981	1882	0	3339	115910	0.28	4.68	3.07		3.82	1.87
Buíque	0	-87	42349	329530	7434	240	15641	395194	1.71	2.07	4.28	4.31	4.61	2.17
Caetés	0	-1	30091	159940	2111	0	2260	194402	1.06	1.93	3.29		3.66	1.83
Calçado	0	-33	131380	878	442	153	2767	135620	0.26	115.14	14.43	5.06	3.74	1.13
Canhotinho	0	-4532	34791	406650	6638	866	16533	465477	2.69	1.69	4.99	7.33	5.93	1.97
Capoeiras	0	-39	69523	127380	7933	157	5879	210872	0.61	2.34	3.44	8.32	4.00	1.86
Correntes	-4	-19856	40797	281880	6529	608	2899	332713	2.09	1.69	3.13	4.89	22.27	1.96
Garanhuns	-1	0	261790	4595400	203120	5463	169720	5235493	2.32	2.24	4.68	5.94	4.82	2.43
Itaíba	0	-126	101200	403230	9283	121	21412	535246	1.46	1.61	4.98	4.36	4.53	1.76
Jucati	0	0	28860	103490	1950	240	2036	136576	1.22	1.80	3.26	6.24	3.82	1.74
Jupi	0	-26	27530	81833	2284	190	2139	113975	0.81	2.10	2.36	3.59	4.29	1.84
Jurema	0	-86	66230	293680	5759	70	15012	380751	1.26	1.86	3.46	4.33	4.33	1.87
Lagoa do Ouro	0	-19694	46724	172830	2368	32	633	222587	0.98	1.89	6.14	5.33	57.91	1.90
Lajedo	-1	-24	126050	983690	41162	1397	29848	1182147	2.06	1.91	3.91	5.78	4.58	2.07
Palmeirina	0	-8360	145910	27648	4404	123	2153	180238	0.32	7.20	2.84	4.42	15.80	1.63

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
Paranatama	0	-6023	45199	7147	504	0	362	53211	0.26	8.79	3.03		37.07	1.68
Pedra	-267	-29	120040	180170	2370	11301	5006	318887	1.04	1.28	2.85	2.18	4.06	1.28
Saloá	0	-24	22840	138020	2188	0	4744	167792	1.15	2.05	2.48		4.67	2.01
São João	-9	-3584	21956	364480	13547	649	27798	428431	4.37	1.50	2.78	8.69	5.35	1.95
Terezinha	0	-7085	62126	51477	2132	119	816	116671	0.40	3.30	3.22	4.33	24.67	1.90
Tupanatinga	0	-3	37039	210550	2616	0	7325	257530	1.74	2.18	3.79		4.18	2.19
Venturosa	-1	-2	26662	242160	3442	722	5433	278419	2.65	1.32	2.60	3.98	3.98	1.52
Agrestina	0	-475	31659	665020	18266	752	27769	743467	2.96	1.94	3.42	9.29	4.71	2.13
Alagoinha	0	-6	5665	208720	2262	0	3439	220086	3.97	1.90	3.01		3.36	1.99
Altinho	-3	-75	111700	429550	19993	823	8416	570482	1.19	1.86	2.57	5.67	4.36	1.80
Barra de Guabiraba	0	-7	50928	208750	7475	217	13803	281173	1.37	1.49	3.59	5.42	4.61	1.68
Belo Jardim	-1	0	195410	2656700	138920	7284	99463	3097777	2.43	1.99	3.77	6.84	4.72	2.20
Bezerros	-7	-51	220780	1641800	56779	6864	41415	1967638	1.81	1.81	4.26	5.48	4.16	1.94
Bonito	0	0	113970	956180	6669	344	55922	1133085	1.83	1.74	19.22	4.73	4.74	2.00
Brejo da Madre de Deus	0	-83	51445	672510	21752	240	11680	757627	2.73	1.69	5.03	4.31	4.16	1.89
Cachoeirinha	0	-2	357530	181100	10513	240	13406	562788	0.36	4.18	4.61	4.32	4.44	1.76
Camocim de São Félix	0	-33914	1822	414680	1802	620	700	419623	34.22	1.25	10.84	5.61	78.84	1.57
Caruaru	0	0	276420	12617000	1101500	132080	378550	14505550	2.45	2.30	4.76	5.90	4.84	2.59
Cupira	-7	-258	34171	767460	46232	2036	27481	877381	4.53	1.83	3.49	6.13	5.65	2.16
Gravatá	-3955	-308	136810	3805600	245330	90093	100230	4378063	2.40	2.37	3.86	3.69	4.83	2.54
Ibirajuba	0	-98	31143	91500	1461	0	3023	127127	1.13	1.75	3.31		4.02	1.67
Jataúba	0	-8217	13699	104570	1693	0	776	120738	0.18	2.42	4.09		28.82	2.36
Lagoa dos Gatos	0	-3912	45371	264590	4779	120	12619	327480	0.64	2.34	3.35	4.31	6.20	2.27
Panelas	-1	-16609	33915	475210	9758	410	3804	523098	2.93	1.68	4.19	6.34	17.13	1.92
Pesqueira	-2	-94	142890	1302200	46895	2400	41777	1536162	1.79	1.79	4.39	4.78	4.63	1.95
Poção	-1	-8	7578	52166	2864	531	3901	67040	3.97	4.45	3.67	5.14	4.02	4.34
Riacho das Almas	-83	-116	21853	347890	11342	3902	13453	398440	1.36	1.86	2.93	8.58	3.34	1.98
Sairé	0	-9151	152400	63183	4724	10	3922	224240	0.39	4.46	3.88	4.31	12.47	1.82
Sanharó	-15	-178	51122	574010	10769	3105	23373	662379	2.29	1.76	4.09	7.54	3.73	1.94

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
São Bento do Una	0	-1292	39849	888860	85263	2005	52342	1068319	2.42	2.00	5.27	5.51	2.93	2.33
São Caitano	-3	-72	2117	774900	14265	848	11145	803275	35.52	1.74	4.47	5.93	3.68	1.91
São Joaquim do Monte	0	-60	73860	423570	11716	0	21552	530698	1.66	1.64	4.12		4.53	1.81
Tacaimbó	-6	-39	206620	60458	8440	1537	14977	292032	0.33	5.62	2.81	8.34	3.40	1.70
Bom Jardim	-1	-3690	108170	603930	13322	724	34534	760679	1.85	1.75	4.24	4.89	5.24	1.97
Casinhas	0	-10844	53763	2532	540	0	1034	57868	0.44	13.54	4.87		28.48	1.55
Cumaru	-1	-10	7003	172600	5470	608	37905	223585	0.87	2.13	2.63	1.28	4.07	2.43
Feira Nova	0	-214	342300	174810	3827	0	10609	531546	0.60	3.24	3.93		4.62	1.57
Frei Miguelinho	0	-4697	7275	55762	2176	0	1269	66483	0.39	2.22	4.51		15.62	2.35
João Alfredo	-1	-12	53607	588020	15515	3664	10066	670872	1.46	2.08	4.17	5.92	4.32	2.13
Limoeiro	-4	-71	66437	1280200	65349	3318	28102	1443405	2.50	1.88	3.90	5.10	4.49	2.06
Machados	0	-393	11410	251060	3504	0	11421	277395	3.83	1.74	4.06		4.17	1.95
Orobó	-2	-936	457	190900	9899	370	12169	213795	34.78	1.84	3.88	8.57	4.09	2.15
Passira	0	-380	80546	447720	10537	120	21459	560382	1.31	1.99	3.96	4.31	4.78	2.04
Salgadinho	0	-1335	2969	119130	3321	140	7459	133019	0.85	2.33	5.01	4.32	5.46	2.54
Santa Cruz do Capibaribe	-34	-1181	3449	2820600	229090	13825	22636	3089601	0.85	2.32	9.82	7.18	4.74	2.91
Santa Maria do Cambucá	0	-12665	618	109530	1019	0	2121	113289	13.63	1.70	6.24		20.69	2.16
São Vicente Ferrer	0	-458	25387	154410	4550	415	20176	204938	1.59	2.41	3.83	4.94	4.48	2.55
Surubim	-71	0	177270	1668900	56755	5087	53174	1961186	2.09	1.87	5.31	8.99	4.69	2.08
Taquaritinga do Norte	0	-14	4603	117380	1126	0	2802	125911	1.99	2.12	3.46		3.35	2.15
Toritama	-203	-1212	598	1102100	56412	16952	9927	1185988	0.72	2.21	4.62	5.74	5.17	2.40
Vertente do Lério	0	-429	4125	1072	1611	0	765	7573	0.72	20.38	2.08		6.18	4.35
Vertentes	0	-1136	26160	394650	6075	120	9752	436757	1.77	2.02	5.12	4.32	5.03	2.11
Barreiros	0	-3173	86646	746740	29341	263	39467	902457	1.63	1.88	3.90	5.67	5.26	2.07
Belém de Maria	0	-129	69060	123450	5265	0	8422	206196	0.69	2.32	3.48		4.26	1.89
Chã Grande	-6	-802	63481	320230	9523	363	21973	415569	1.80	1.54	4.28	16.47	4.45	1.81
Escada	-2	-17	91560	1249300	45651	3491	35209	1425211	1.94	2.00	4.44	6.44	4.67	2.15
Joaquim Nabuco	0	-82	50898	153790	4159	0	15068	223915	1.06	1.70	3.31		4.62	1.78
Maraial	0	-74	112030	24134	3542	0	8212	147918	0.30	7.37	3.26		4.18	1.74

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
Pombos	-609	-1823	67546	571660	10829	7193	11544	668773	2.35	1.80	5.12	9.34	5.50	2.06
Primavera	0	-21093	33140	136860	5855	0	924	176779	1.29	1.67	4.28		47.07	1.92
Quipapá	0	-26680	9742	398610	11223	0	1021	420595	5.09	1.88	3.05		51.35	2.11
Ribeirão	-1	-365	71660	957810	39968	945	13348	1083731	2.00	1.99	3.75	6.60	4.22	2.09
Rio Formoso	0	-1122	57595	255250	10806	375	28943	352969	0.89	2.31	3.71	7.45	4.90	2.34
São Benedito do Sul	0	-15	2533	119640	2593	107	7626	132499	4.80	1.66	3.27	4.77	4.54	1.92
São José da Coroa Grande	-1	-122	5383	403890	7311	449	13072	430104	4.42	2.11	4.26	4.67	4.16	2.24
Sirinhaém	-5	-94	48642	602930	22476	1730	53307	729085	1.76	2.14	4.33	7.82	4.79	2.39
Tamandaré	-15	-373	29274	718520	28808	2133	23644	802379	1.53	2.34	5.75	9.15	4.64	2.52
Vitória de Santo Antão	-18766	-350	282110	3567600	152650	267270	63957	4333587	1.94	1.93	3.39	1.92	4.66	2.02
Aliança	0	-43	64875	435720	15839	40	13387	529861	1.64	1.73	4.24	10.95	3.94	1.85
Buenos Aires	0	-1	55883	188800	2652	0	4787	252122	1.26	1.76	3.10		4.24	1.71
Camutanga	0	-7	91087	54381	1166	0	7479	154113	0.43	3.72	4.91		4.66	1.83
Carpina	-34	-520	102270	1973300	91321	3829	44684	2215404	2.27	2.07	3.93	8.04	4.72	2.22
Chã de Alegria	0	-4	79147	130780	4085	0	1693	215706	0.70	2.34	3.82		4.05	1.78
Condado	0	-83	47327	235660	4307	120	10303	297717	1.11	1.91	3.53	9.14	4.59	1.90
Ferreiros	-116	-187	39467	237620	4673	4015	9035	294810	1.33	1.96	4.01	8.40	4.32	2.07
Glória do Goitá	0	-196	61592	448340	8633	175	17605	536345	2.28	1.77	5.37	5.15	4.61	1.98
Goiana	-1631	-165732	33397	1688400	64811	144	1836	1788588	4.83	1.91	4.26	31.37	121.59	2.17
Itaquitinga	0	-195	50726	191620	3516	0	5189	251051	1.28	1.73	3.70		4.42	1.72
Lagoa do Itaenga	-2	-217	45318	494790	5824	863	13651	560446	2.56	1.67	4.14	5.21	4.72	1.85
Lagoa do Carro	0	-60	35165	192100	2561	0	6108	235934	1.23	1.68	3.48		4.45	1.70
Macaparana	-5	-6683	38818	513300	13116	1305	32920	599459	3.01	1.70	4.10	7.28	5.90	2.08
Nazaré da Mata	-21	0	78565	843270	23145	1423	44765	991168	1.79	1.88	5.41	4.97	4.74	2.09
Paudalho	-1	-12	66956	743370	34633	1163	25647	871769	1.83	1.82	2.74	4.50	4.55	1.94
Timbaúba	-8	-4559	140100	1181000	63730	6981	40805	1432615	2.18	2.02	5.07	7.81	5.35	2.30
Tracunhaém	-1	-155	27452	223810	5652	279	7362	264555	1.64	1.74	3.90	5.57	3.96	1.85
Vicência	0	-34225	24861	329220	8384	120	2081	364666	0.68	2.21	4.15	4.32	38.34	2.36

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
Abreu e Lima	-2	-6741	210830	2377000	67400	4154	29833	2689217	2.02	1.72	3.70	4.56	5.85	1.84
Araçoiaba	0	-6	38615	152160	3031	240	6235	200281	0.97	1.93	3.72	4.31	4.42	1.86
Cabo de Santo Agostinho	0	0	155730	5166500	568720	5035800	402980	11329730	2.32	2.22	5.83	2.78	4.89	2.74
Camaragibe	-33563	0	61785	5006100	19049	116	115520	5202570	6.60	2.06	28.04	304.78	4.81	2.28
Fernando de Noronha	0	-1302	10	210320	33288	0	22289	265907	0.50	2.63	10.13		5.01	3.77
Igarassu	-4	0	89829	2368100	94673	6506	101950	2661057	1.98	2.06	3.68	5.68	4.70	2.23
Ipojuca	-17	-306	40988	1514600	104230	11236	84575	1755629	3.12	2.13	4.77	8.19	4.76	2.48
Itamaracá	-3	-377	17149	1250900	29300	2457	23787	1323593	1.25	2.31	3.85	6.69	4.68	2.38
Itapissuma	0	-395	42124	531470	16784	422	53527	644326	1.85	1.79	3.95	5.14	4.86	2.11
Jaboatão dos Guararapes	0	0	271790	13533000	672190	187750	224350	14889080	2.43	2.28	4.68	6.13	4.79	2.48
Moreno	-5	-2832	121520	1525000	63855	3469	56032	1769877	1.96	1.96	3.31	9.95	4.95	2.12
Olinda	-152	0	285660	13602000	627270	65035	242120	14822085	2.17	2.23	4.61	7.49	4.70	2.39
Paulista	-51174	0	210040	9973100	357710	1074	247950	10789874	2.63	2.21	3.80	88.36	4.81	2.34
Recife	0	0	1205100	60656000	6289800	501800	2903600	71556300	2.38	2.30	4.49	7.45	4.91	2.64
São Lourenço da Mata	-153	-466	135330	2522400	90766	7411	80886	2836794	2.42	2.07	4.27	6.58	4.83	2.25

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE C (parte 1): variáveis de decisão do modelo multiobjetivo (ponto B)

Município e RD	R_RS	R_RNS	R_C	R_I	R_G	R	C	FO2	FO1	FO1_RS	FO1_RNS	FO1_C
COMPESA	23534797	482632089	66860642	23379373	43941440	640348340	559482772	80865567	-681788021	-10108848	-671482864	-75775
RD 01 Sertão de Itaparica	298832	5774714	828447	66594	1616260	8584847	3248714	5336133	-3860441	-89581	-3770860	0
RD 02 Sertão do S. Francisco	1104213	23040971	4024439	488056	4040651	32698331	15219637	17478694	-22035463	-378474	-21648048	-5179
RD 03 Sertão do Araripe	1077700	9863172	763634	318594	876335	12899435	10614995	2284439	-6661771	-296440	-6365331	0
RD 04 Sertão Central	896167	7111726	972621	57139	1101814	10139466	10166064	-26597	-5866295	-225193	-5641103	0
RD 05 Pajeú	1371301	12963965	1096299	63572	1396640	16891777	14560839	2330938	-11089549	-740792	-10326571	-5860
RD 06 Sertão do Moxotó	626251	6914948	680905	36961	582201	8841266	8407379	433887	-6565340	-375769	-6189571	0
RD 07 Agreste Meridional	2245851	22475741	1634293	103664	2046821	28506372	21872625	6633747	-18617326	-650728	-17965480	-574
RD 08 Agreste Central	4003598	65140330	8588474	1339083	4766158	83837642	73488866	10348776	-53430932	-1820112	-51603549	-2753
RD 09 Agreste Setentrional	1316377	21512304	3409001	291722	1477512	28006916	18693730	9313186	-18538507	-771895	-17756157	-2285
RD 10 Mata Sul	1693527	20365620	1531464	640221	1773207	26004038	25159969	844069	-16294468	-971995	-15288061	0
RD 11 Mata Norte	1905043	19415336	1521650	155880	1892193	24890102	21956624	2933479	-15022162	-968850	-14053312	0
RD 12 Metropolitana	6995937	268053261	41809413	19817888	22371647	359048147	336093331	22954816	-503805766	-2819019	-500874822	-59122
Belém de São Francisco	40126	934228	174073	8516	168170	1325114	452675	872439	-759317	-14376	-744940	0
Floresta	73411	1291458	261611	20522	208304	1855306	1359731	495575	-1102848	-20705	-1082142	0
Itacuruba	11824	331024	24432	2521	114029	483832	7317	476514	-149805	-3191	-146614	0
Jatobá	37884	1095085	172961	6490	400506	1712925	293948	1418977	-441142	-7540	-433602	0
Petrolândia	98147	1529274	173867	28009	656602	2485898	889171	1596727	-1169362	-42881	-1126481	0
Tacaratu	37440	593645	21503	536	68648	721772	245871	475901	-237968	-888	-237079	0
Afrânio	56961	401771	64239	0	168705	691677	858885	-167208	-177926	-10115	-167811	0
Cabrobó	113094	1211868	238165	2409	226869	1792405	2706419	-914014	-1178560	-85137	-1084482	-5179
Dormentes	44962	396226	38944	0	88773	568905	271885	297020	-194318	-19796	-174523	0
Lagoa Grande	124105	923220	55344	831	127242	1230742	827520	403222	-460796	-53070	-407727	0

Orocó	52582	220654	14242	0	98413	385890	399387	-13497	-39097	-6412	-32685	0
Petrolina	587329	19040172	3520576	481262	3080869	26710208	9439561	17270647	-19649225	-175495	-19473730	0
Santa Maria da Boa Vista	125180	847061	92929	3554	249780	1318504	715980	602524	-335541	-28449	-307091	0
Araripina	195102	2842607	373667	154538	150824	3716738	2450725	1266013	-2225147	-85846	-2139301	0
Bodocó	86312	871416	45355	44663	98623	1146367	1059653	86714	-390445	-32388	-358057	0
Exu	117963	754950	24232	20267	67032	984444	1121060	-136616	-343925	-2127	-341798	0
Granito	22209	174885	1601	0	55158	253852	68267	185586	-98809	-8969	-89841	0
Ipubi	117364	642610	21833	3000	90403	875210	868463	6747	-481770	-71887	-409883	0
Moreilândia	33210	249036	4944	0	48242	335432	10690	324741	-155414	-14660	-140753	0
Ouricuri	312174	2337717	168233	13335	257870	3089328	4318537	-1229209	-1482512	0	-1482512	0
Santa Cruz	55042	266518	4380	0	43772	369712	4177	365535	-122048	-8613	-113436	0
Santa Filomena	26112	140999	11197	0	6150	184458	224918	-40460	-57117	-3013	-54104	0
Trindade	112212	1582433	108193	82792	58262	1943893	488504	1455389	-1304585	-68938	-1235647	0
Cedro	68559	314804	6494	0	42399	432255	233115	199141	-190075	-23264	-166810	0
Mirandiba	62685	523680	32390	0	39388	658144	250046	408098	-412672	-14277	-398395	0
Parnamirim	77063	560186	85023	22920	108083	853275	482309	370966	-326298	-15996	-310302	0
Salgueiro	337349	3666881	713574	30886	603293	5351983	7818288	-2466305	-3669419	-86388	-3583031	0
São José do Belmonte	137159	903531	73081	0	106207	1219977	687918	532059	-587819	-42498	-545322	0
Serrita	55133	387638	30637	1412	69653	544473	310397	234076	-264846	-20392	-244454	0
Terra Nova	67304	352468	14752	518	31309	466351	287132	179219	-213996	-15372	-198624	0
Verdejante	90915	402538	16669	1403	101482	613008	96859	516149	-201170	-7005	-194165	0
Afogados da Ingazeira	179185	1653550	185617	26297	284536	2329184	3364623	-1035439	-1956036	-151478	-1804558	0
Brejinho	20282	266604	7700	0	47789	342375	139102	203273	-178145	-19876	-158269	0
Calumbi	14344	140922	5098	0	8365	168730	129318	39412	-94750	-5634	-89116	0
Carnaíba	35971	374910	21937	2962	82536	518315	782629	-264314	-410745	-23509	-365072	-5837
Flores	75359	696471	40870	7178	105450	925328	913253	12075	-324814	-20379	-304434	0
Iguaraci	59866	456138	15679	0	60988	592672	373289	219383	-206488	-23450	-183038	0
Ingazeira	10359	114812	5273	587	45066	176097	66641	109457	-44425	-3705	-40719	0
Itapetim	94608	451696	24650	1054	58669	630678	453058	177620	-329706	-27595	-302111	0

Quixaba	19770	159321	2099	0	17392	198582	107082	91500	-56409	-5158	-51251	0
Santa Terezinha	67426	326185	31474	0	29270	454355	630048	-175692	-187700	-14534	-173165	0
São José do Egito	168724	1498176	128111	7692	151106	1953809	742608	1211201	-1100268	-90549	-1009719	0
Serra Talhada	402594	4457623	517823	11968	334501	5724509	5488757	235752	-4204212	-183039	-4021174	0
Solidão	7808	65382	555	0	19426	93171	89597	3573	-75755	-2894	-72838	-23
Tabira	144150	1169116	67317	1562	30966	1413112	497875	915237	-1057349	-130169	-927180	0
Triunfo	33466	553867	11490	0	65059	663882	494909	168973	-489611	-14450	-475161	0
Tuparetama	37389	579192	30607	4271	55519	706978	288049	418928	-373138	-24373	-348765	0
Arcoverde	309442	2994334	513855	25128	471271	4314029	6226561	-1912532	-5061437	-245533	-4815904	0
Betânia	24249	239977	6519	0	7151	277896	242134	35762	-171253	-9492	-161761	0
Custódia	117294	814285	62419	9087	19023	1022108	575649	446459	-795910	-53233	-742677	0
Ibimirim	77907	646697	41225	660	37052	803542	701872	101670	-434419	-32710	-401709	0
Manari	27718	146294	3853	0	3386	181252	268783	-87531	-69778	-2258	-67520	0
Sertânia	69641	2073360	53034	2086	44318	2242439	392379	1850060	-32543	-32543	0	0
Águas Belas	39269	1375253	75031	2106	98592	1590251	767887	822364	-962024	-14195	-947829	0
Angelim	33944	306121	12676	6928	19228	378896	214745	164151	-210584	-15149	-195435	0
Bom Conselho	152997	1508314	116115	4030	88827	1870282	1211466	658816	-1261128	-64918	-1196210	0
Brejão	14777	205386	5775	0	12760	238698	209797	28901	-101100	-5727	-95373	0
Buíque	71136	692247	31859	1035	72160	868436	954357	-85921	-422784	-11168	-411616	0
Caetés	24185	258325	6375	0	7727	296611	447866	-151255	-254293	-9943	-243231	-574
Calçado	25045	205636	8103	773	10321	249878	94936	154942	-140862	-7816	-133046	0
Canhotinho	100079	679262	34071	6347	102627	922386	228084	694303	-385501	-28936	-356565	0
Capoeiras	35595	312125	27388	1305	23583	399995	343718	56277	-201771	-13744	-188027	0
Correntes	87181	471485	20796	2971	84419	666853	445841	221012	-448164	-32369	-415795	0
Garanhuns	612228	10286634	950394	32452	818508	12700216	10156814	2543403	-10143884	-47332	-10096552	0
Itaíba	146277	652620	46271	527	96903	942598	315793	626805	-320134	-43637	-276498	0
Jucati	33483	189211	6351	1499	7778	238321	240342	-2020	-160226	-8263	-151963	0
Jupi	19496	176650	5391	682	9192	211412	272400	-60988	-151411	-10884	-140527	0
Jurema	79058	550308	19943	303	65021	714633	361714	352918	-267569	-28473	-239096	0
Lagoa do Ouro	41069	329389	16675	170	56340	443644	182522	261122	-155869	-22777	-133092	0

Lajedo	266474	1910656	161664	8072	136869	2483735	2859663	-375928	-1569457	-122960	-1446497	0
Palmeirina	35555	253313	12487	543	42371	344267	124364	219904	-148191	-14800	-133391	0
Paranatama	8313	81697	1563	0	19429	111002	64917	46085	-43242	-1799	-41444	0
Pedra	121726	233390	6756	24906	20344	407122	589934	-182811	-217697	-57288	-160409	0
Saloá	24054	285563	5420	0	22188	337225	88929	248297	-230637	-8684	-221953	0
São João	112657	536999	37469	5630	152207	844963	509831	335132	-236256	-24221	-212036	0
Terezinha	18948	186445	6851	517	27223	239984	148172	91811	-97688	-5027	-92661	0
Tupanatinga	64034	474395	9906	0	30602	578937	715569	-136632	-215480	-9405	-206075	0
Venturosa	78273	314315	8964	2868	21605	426024	322964	103061	-271374	-41214	-230160	0
Agrestina	100190	1284809	62830	6985	131277	1586091	669118	916974	-650521	-47202	-603319	0
Alagoinha	25341	394822	6820	0	11561	438544	171666	266877	-299901	-8917	-290983	0
Altinho	124861	809116	51639	4661	36587	1026864	507734	519130	-477531	-87190	-390341	0
Barra de Guabiraba	68838	311393	26906	1177	63609	471922	596091	-124169	-683609	-98328	-585282	0
Belo Jardim	490321	5280665	526581	49855	469556	6816978	4894500	1922478	-3623245	-156712	-3466533	0
Bezerros	398791	2970124	240835	37590	172221	3819562	2951409	868153	-1886024	-139353	-1746671	0
Bonito	209231	1656832	167412	1626	265172	2300272	1405024	895248	-1039034	-91458	-947576	0
Brejo da Madre de Deus	151328	1126648	109849	1035	48697	1437557	803086	634471	-730174	-100936	-629238	0
Cachoeirinha	96821	872682	48621	1035	59534	1078693	388323	690370	-671083	-61026	-610057	0
Camocim de São Félix	105701	498523	23167	3475	89115	719980	595863	124117	-438470	-69868	-368602	0
Caruaru	685764	29001911	5248375	779752	1832526	37548328	42791358	-5243030	-30947843	-193281	-30754562	0
Cupira	178264	1391397	161948	12480	155587	1899676	1438905	460771	-918989	-71901	-847088	0
Gravatá	329509	9006495	948727	336707	484025	11105463	8011928	3093535	-3432404	-139857	-3292546	0
Ibirajuba	33243	162709	4851	0	12266	213069	157637	55431	-88441	-18005	-70436	0
Jataúba	1632	255664	7114	0	30582	294993	269237	25756	-156039	-894	-155146	0
Lagoa dos Gatos	23798	627914	16104	517	82121	750454	1067595	-317141	-281240	-14254	-266986	0
Panelas	107997	786180	41332	2596	81767	1019872	402784	617088	-405185	-28287	-376898	0
Pesqueira	255674	2328179	206486	11484	193314	2995137	1843363	1151774	-2215833	-148576	-2067257	0
Poção	22537	177119	7778	2136	11766	221336	334203	-112867	-365315	-30746	-327298	-2753
Riacho das Almas	28292	648188	33738	33578	45053	788848	39845	749004	-464566	-21541	-443025	0
Sairé	46307	328645	18132	43	58071	451198	71757	379441	-170977	-26921	-144056	0

Sanharó	121675	1008327	44228	23432	87417	1285079	993567	291512	-684732	-71522	-613210	0
São Bento do Una	99371	1771599	449724	11059	154616	2486368	1111056	1375312	-1234357	-43327	-1191030	0
São Caitano	124031	1332491	63315	5029	41069	1565935	1204914	361021	-959423	-65682	-893742	0
São Joaquim do Monte	123099	693185	48247	0	97634	962165	291883	670282	-367407	-62798	-304609	0
Tacaimbó	50983	414713	23715	12831	51016	553257	476020	77237	-238590	-21532	-217059	0
Bom Jardim	204009	1062717	56488	3542	184688	1511444	1635418	-123974	-742398	-160700	-581698	0
Casinhas	19123	50229	2632	0	40282	112267	61919	50348	-25037	-2742	-22295	0
Cumaru	4452	314177	12690	606	146654	478579	722626	-244047	-405270	-2779	-393234	-1645
Feira Nova	175632	639406	15042	0	49194	879274	829202	50072	-338422	-60520	-277902	0
Frei Miguelinho	2088	124533	10048	0	24524	161193	154905	6288	-77239	-1594	-75646	0
João Alfredo	74280	1226113	64807	21678	43517	1430395	496446	933949	-949664	-98629	-851035	0
Limoeiro	173618	2402333	255617	16918	126355	2974841	2338313	636528	-2349565	-121420	-2228144	0
Machados	49588	432028	14172	0	47266	543053	266298	276755	-225758	-25745	-200013	0
Orobó	25992	349157	37719	3173	48847	464888	282212	182676	-300749	-13743	-287006	0
Passira	99121	899245	41725	518	102921	1143529	347438	796091	-461212	-36711	-424501	0
Salgadinho	2123	278060	16645	605	42069	339501	135681	203820	-111686	-657	-111029	0
Santa Cruz do Capibaribe	2485	6542140	2249456	99286	108562	9001930	3614883	5387046	-6057680	-1699	-6055981	0
Santa Maria do Cambucá	11737	181546	6895	0	56550	256729	117817	138911	-132193	-8136	-124057	0
São Vicente Ferrer	39257	388469	17421	2047	89981	537176	680446	-143271	-248944	-26569	-222375	0
Surubim	376071	3112979	306002	45806	249386	4090244	5628664	-1538420	-2435282	-161281	-2274001	0
Taquaritinga do Norte	9058	248614	3896	0	9396	270964	206494	64470	-233291	-9925	-223366	0
Toritama	354	2437540	263350	97024	52569	2850837	842039	2008798	-2655367	-273	-2655094	0
Vertente do Lério	2018	26044	2704	0	4597	35362	53399	-18037	-33949	-2287	-30465	-641
Vertentes	45370	796975	31691	518	50156	924710	279527	645183	-754801	-36485	-718316	0
Barreiros	138042	1403027	114477	1491	210599	1867636	1868096	-460	-1574840	-79263	-1495577	0
Belém de Maria	40749	300594	18257	0	35769	395370	243311	152059	-148826	-24049	-124777	0
Chã Grande	116827	490665	40422	5966	96921	750801	307523	443278	-369983	-81232	-288750	0
Escada	176212	2499613	204209	22476	164323	3066832	3605756	-538924	-1573484	-140153	-1433331	0
Joaquim Nabuco	48908	256708	13791	0	69526	388933	515178	-126244	-222605	-23046	-199558	0
Maraial	24778	225270	11519	0	34276	295844	124254	171590	-122593	-9970	-112623	0

Pombos	165308	1022844	57205	67806	65328	1378490	407953	970537	-474585	-44531	-430053	0
Primavera	40681	227631	25519	0	64574	358405	166174	192231	-99871	-23531	-76340	0
Quipapá	57895	740686	34247	0	79097	911924	651919	260005	-265960	-25536	-240424	0
Ribeirão	143004	1908684	150427	6244	56755	2265113	541866	1723247	-1555575	-121828	-1433748	0
Rio Formoso	44362	600810	40076	2792	142997	831037	825950	5087	-339702	-25857	-313845	0
São Benedito do Sul	14471	197306	8482	513	34655	255427	137794	117633	-308715	-9458	-299257	0
São José da Coroa Grande	26940	849444	31264	2095	54512	964256	529027	435230	-805716	-7811	-797905	0
Sirinhaém	82760	1291085	97380	13531	255647	1740404	2179967	-439563	-588322	-47141	-541181	0
Tamandaré	41742	1685845	167403	19494	109996	2024481	682019	1342462	-837728	-7068	-830660	0
Vitória de Santo Antão	530847	6665407	516786	497813	298231	8509084	12373182	-3864098	-7005965	-301521	-6670031	0
Aliança	105482	755313	67129	438	52832	981194	1208074	-226880	-516448	-71188	-445259	0
Buenos Aires	67537	335630	8220	0	20275	431662	438304	-6642	-176494	-39823	-136671	0
Camutanga	30539	229438	5729	0	34844	300551	184936	115616	-155459	-17714	-137745	0
Carpina	235740	4076345	359712	30811	211209	4913818	5627070	-713253	-3706363	-93741	-3612623	0
Chã de Alegria	47232	321115	15574	0	6849	390771	252374	138397	-159707	-31724	-127983	0
Condado	48667	454544	15198	1097	47362	566868	515056	51812	-409268	-27471	-381797	0
Ferreiros	49704	470083	18731	33592	38866	610976	495274	115702	-318059	-38751	-279308	0
Glória do Goitá	145675	785671	49361	901	80877	1062485	423717	638768	-239311	-19679	-219631	0
Goiana	186627	3179129	276272	6163	388931	4037122	2629285	1407837	-2476271	-130593	-2345677	0
Itaquitinga	62445	333698	13063	0	23135	432340	328872	103469	-217405	-33377	-184028	0
Lagoa do Itaenga	124008	820335	24064	4492	64199	1037098	510010	527088	-441473	-58713	-382760	0
Lagoa do Carro	41120	325387	8915	0	27227	402648	351543	51105	-301052	-23893	-277160	0
Macaparana	127021	865026	53611	9500	201007	1256165	539510	716654	-442427	-67820	-374607	0
Nazaré da Mata	139358	1585493	130889	7096	212064	2074900	1427276	647624	-1621521	-68049	-1553472	0
Paudalho	122982	1349999	95371	5233	116589	1690173	2292752	-602579	-1576444	-82710	-1493734	0
Timbaúba	312563	2409572	323290	54486	222894	3322804	3668975	-346170	-1561148	-117096	-1444052	0
Tracunhaém	44583	391094	21722	1553	29027	487978	224873	263106	-313044	-38964	-274080	0
Vicência	13760	727465	34801	518	114006	890550	838725	51825	-390270	-7545	-382724	0
Abreu e Lima	435909	4072003	249501	18963	181264	4957640	968127	3989513	-4284483	-259433	-4025051	0
Araçoiaba	33884	299560	11292	1034	27553	373324	220305	153019	-220748	-18031	-202717	0

Cabo de Santo Agostinho	363666	11467561	3317705	13976589	1969102	31094624	16541403	14553221	-8922612	-152580	-8770032	0
Camaragibe	491685	10231266	736866	68798	555666	12084281	6399107	5685174	-9539213	-114601	-9424612	0
Fernando de Noronha	4	533275	337207	0	112975	983461	1090062	-106601	-470798	-104	-470694	0
Igarassu	142884	3950768	310565	35473	445738	4885429	7376710	-2491281	-5194400	-149350	-4971990	-37895
Ipojuca	114053	2695700	475936	92012	385198	3762899	5647290	-1884391	-2578368	-97957	-2441545	-21227
Itamaracá	19367	2896118	112731	16424	111625	3156264	1945658	1210605	-3050535	-11194	-3039341	0
Itapissuma	78489	951341	66405	2167	260606	1359008	625001	734007	-823354	-43172	-780181	0
Jaboatão dos Guararapes	666085	30827416	3147090	1150706	1075040	36866336	42433322	-5566986	-36279970	-312126	-35967845	0
Moreno	237657	2981802	211258	34522	279979	3745217	1522136	2223082	-1954745	-140789	-1813957	0
Olinda	618126	30329375	2892841	487331	1138638	35466312	22677666	12788646	-46829694	-237688	-46592006	0
Paulista	568507	21998546	1358973	146067	1193555	25265648	13595258	11670391	-25068533	-213379	-24855154	0
Recife	2889458	139598239	28193058	3738851	14243700	188663306	209661427	-20981211	-35521860	-985808	-35423280	0
São Lourenço da Mata	336163	5220292	387983	48949	391010	6384397	5389859	994538	-3369706	-82808	-3286897	0

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE C (parte 2): variáveis de decisão do modelo multiobjetivo (ponto B)

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
COMPESA	-37293	-83242	11472492	217837557	14481074	6747564	9172799	259711486	2.05	2.22	4.62	3.46	4.79	2.47
RD 01 Sertão de Itaparica	0	0	139142	2658610	179959	8739	334261	3320711	2.15	2.17	4.60	7.62	4.84	2.59
RD 02 Sertão do S. Francisco	-113	-3649	497060	10022760	815914	186399	827177	12349310	2.22	2.30	4.93	2.62	4.88	2.65
RD 03 Sertão do Araripe	0	0	494234	4750826	169692	81365	207048	5703165	2.18	2.08	4.50	3.92	4.23	2.26
RD 04 Sertão Central	0	0	402539	2849880	228775	7825	237721	3726740	2.23	2.50	4.25	7.30	4.63	2.72
RD 05 Pajeú	-524	-15803	663203	6168428	253410	10388	291446	7386874	2.07	2.10	4.33	6.12	4.79	2.29
RD 06 Sertão do Moxotó	0	0	290147	1979702	147479	6912	125924	2550164	2.16	3.49	4.62	5.35	4.62	3.47
RD 07 Agreste Meridional	0	-544	1225982	11269892	387098	25111	443952	13352034	1.83	1.99	4.22	4.13	4.61	2.13
RD 08 Agreste Central	-595	-3923	2060875	30830086	1940903	263741	1043812	36139418	1.94	2.11	4.42	5.08	4.57	2.32
RD 09 Agreste Setentrional	-170	-7999	723372	10438584	498705	44686	318851	12024197	1.82	2.06	6.84	6.53	4.63	2.33
RD 10 Mata Sul	-34413	0	841161	9776520	397983	233504	384019	11633187	2.01	2.08	3.85	2.74	4.62	2.24
RD 11 Mata Norte	0	0	1024959	10139730	373271	21463	408676	11968099	1.86	1.91	4.08	7.26	4.63	2.08
RD 12 Metropolitana	-1480	-51324	3109819	116952540	9087885	5857432	4549912	139557588	2.25	2.29	4.60	3.38	4.92	2.57
Belém de São Francisco	0	0	18863	439170	44458	1135	35276	538902	2.13	2.13	3.92	7.50	4.77	2.46
Floresta	0	0	34887	613730	51397	2724	44363	747101	2.10	2.10	5.09	7.53	4.70	2.48
Itacuruba	0	0	5276	147700	5942	358	23662	182938	2.24	2.24	4.11	7.04	4.82	2.64
Jatobá	0	0	15372	444350	32851	820	82972	576365	2.46	2.46	5.27	7.92	4.83	2.97
Petrolândia	0	0	47058	733240	39377	3580	132840	956095	2.09	2.09	4.42	7.82	4.94	2.60
Tacaratu	0	0	17686	280420	5934	122	15148	319310	2.12	2.12	3.62	4.40	4.53	2.26
Afrânio	0	0	30320	213860	19445	0	42033	305658	1.88	1.88	3.30		4.01	2.26
Cabrobó	-113	-3649	21426	229590	45121	456	42981	339574	5.28	5.28	5.28	5.29	5.28	5.28
Dormentes	0	0	23446	206620	9378	0	19495	258939	1.92	1.92	4.15		4.55	2.20
Lagoa Grande	0	0	67174	499710	18420	153	27520	612977	1.85	1.85	3.00	5.43	4.62	2.01
Orocó	0	0	31296	131330	5404	0	20360	188390	1.68	1.68	2.64		4.83	2.05
Petrolina	0	0	255470	8282000	695890	185550	623200	10042110	2.30	2.30	5.06	2.59	4.94	2.66
Santa Maria da Boa Vista	0	0	67928	459650	22256	240	51588	601662	1.84	1.84	4.18	14.81	4.84	2.19

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
Araripina	0	0	97129	1415200	79045	53778	33469	1678621	2.01	2.01	4.73	2.87	4.51	2.21
Bodocó	0	0	45475	459130	11427	5955	21427	543414	1.90	1.90	3.97	7.50	4.60	2.11
Exu	0	0	63084	403730	5398	2449	14884	489545	1.87	1.87	4.49	8.28	4.50	2.01
Granito	0	0	12279	96694	605	0	12327	121905	1.81	1.81	2.65		4.47	2.08
Ipubi	0	0	70236	384570	4615	968	30272	490661	1.67	1.67	4.73	3.10	2.99	1.78
Moreilândia	0	0	19498	146220	1556	0	10901	178175	1.70	1.70	3.18		4.43	1.88
Ouricuri	0	0	81016	804060	35622	4516	58510	983724	3.85	2.91	4.72	2.95	4.41	3.14
Santa Cruz	0	0	33856	163930	1152	0	9893	208831	1.63	1.63	3.80		4.42	1.77
Santa Filomena	0	0	15314	82692	4150	0	1493	103649	1.71	1.71	2.70		4.12	1.78
Trindade	0	0	56346	794600	26122	13699	13872	904639	1.99	1.99	4.14	6.04	4.20	2.15
Cedro	0	0	42662	195890	2168	0	9940	250660	1.61	1.61	3.00		4.27	1.72
Mirandiba	0	0	34269	286290	8202	0	9135	337896	1.83	1.83	3.95		4.31	1.95
Parnamirim	0	0	41378	300790	18256	1533	23893	385850	1.86	1.86	4.66	14.95	4.52	2.21
Salgueiro	0	0	81762	888730	153640	5485	125330	1254947	4.13	4.13	4.64	5.63	4.81	4.26
São José do Belmonte	0	0	76753	505610	30895	0	23702	636960	1.79	1.79	2.37		4.48	1.92
Serrita	0	0	31747	223210	8072	360	16243	279632	1.74	1.74	3.80	3.92	4.29	1.95
Terra Nova	0	0	41162	215560	3953	120	7551	268346	1.64	1.64	3.73	4.32	4.15	1.74
Verdejante	0	0	52805	233800	3589	327	21927	312448	1.72	1.72	4.64	4.29	4.63	1.96
Afogados da Ingazeira	0	0	49553	457280	45596	4092	59708	616229	3.62	3.62	4.07	6.43	4.77	3.78
Brejinho	0	0	10221	134350	2677	0	10821	158069	1.98	1.98	2.88		4.42	2.17
Calumbi	0	0	7759	76230	1349	0	2039	87377	1.85	1.85	3.78		4.10	1.93
Carnaíba	-524	-15803	2729	28447	1665	225	6263	39328	13.18	13.18	13.18	13.17	13.18	13.18
Flores	0	0	39748	367360	10250	1059	22771	441188	1.90	1.90	3.99	6.78	4.63	2.10
Iguaraci	0	0	32060	244270	6204	0	13722	296256	1.87	1.87	2.53		4.44	2.00
Ingazeira	0	0	5321	58970	1645	128	11425	77489	1.95	1.95	3.21	4.59	3.94	2.27
Itapetim	0	0	57275	273450	7225	242	13014	351206	1.65	1.65	3.41	4.36	4.51	1.80
Quixaba	0	0	10699	86221	874	0	4189	101983	1.85	1.85	2.40		4.15	1.95
Santa Terezinha	0	0	39008	188700	6973	0	6712	241393	1.73	1.73	4.51		4.36	1.88

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
São José do Egito	0	0	89934	798570	29674	1487	32401	952066	1.88	1.88	4.32	5.17	4.66	2.05
Serra Talhada	0	0	201400	2229900	110170	2092	70126	2613688	2.00	2.00	4.70	5.72	4.77	2.19
Solidão	0	0	4360	36510	310	0	4533	45713	1.79	1.79	1.79		4.29	2.04
Tabira	0	0	78767	638840	17986	361	7147	743101	1.83	1.83	3.74	4.33	4.33	1.90
Triunfo	0	0	15987	264590	3208	0	14356	298141	2.09	2.09	3.58		4.53	2.23
Tuparetama	0	0	18381	284740	7605	702	12219	323647	2.03	2.03	4.02	6.08	4.54	2.18
Arcoverde	0	0	77744	752290	102770	4823	98405	1036032	3.98	3.98	5.00	5.21	4.79	4.16
Betânia	0	0	13412	132730	2302	0	1947	150391	1.81	1.81	2.83		3.67	1.85
Custódia	0	0	70267	487810	17282	1317	4785	581461	1.67	1.67	3.61	6.90	3.98	1.76
Ibimirim	0	0	43780	363410	9266	170	8750	425376	1.78	1.78	4.45	3.88	4.23	1.89
Manari	0	0	14841	78332	1120	0	1020	95313	1.87	1.87	3.44		3.32	1.90
Sertânia	0	0	70103	165130	14739	602	11017	261591	0.99	12.56	3.60	3.47	4.02	8.57
Águas Belas	0	0	18266	639710	18809	509	20788	698082	2.15	2.15	3.99	4.14	4.74	2.28
Angelim	0	0	18794	169490	3529	362	4840	197015	1.81	1.81	3.59	19.14	3.97	1.92
Bom Conselho	0	0	80805	796610	26901	929	19538	924783	1.89	1.89	4.32	4.34	4.55	2.02
Brejão	0	0	7428	103240	1885	0	3354	115907	1.99	1.99	3.06		3.80	2.06
Buíque	0	0	37688	366760	7509	240	15771	427968	1.89	1.89	4.24	4.31	4.58	2.03
Caetés	0	-544	4437	47394	1170	0	1417	54419	5.45	5.45	5.45		5.45	5.45
Calçado	0	0	14165	116300	2296	153	2707	135621	1.77	1.77	3.53	5.05	3.81	1.84
Canhotinho	0	0	55728	378240	8079	866	22560	465473	1.80	1.80	4.22	7.33	4.55	1.98
Capoeiras	0	0	20136	176570	8064	157	5947	210874	1.77	1.77	3.40	8.31	3.97	1.90
Correntes	0	0	47827	258650	7283	603	18352	332715	1.82	1.82	2.86	4.93	4.60	2.00
Garanhuns	0	0	272840	4584300	203110	5465	169720	5235435	2.24	2.24	4.68	5.94	4.82	2.43
Itaíba	0	0	92394	412220	9288	121	21221	535244	1.58	1.58	4.98	4.36	4.57	1.76
Jucati	0	0	20014	113100	1951	240	2036	137341	1.67	1.67	3.26	6.25	3.82	1.74
Jupi	0	0	10865	98443	2296	190	2181	113975	1.79	1.79	2.35	3.59	4.21	1.85
Jurema	0	0	45187	314540	5808	70	15150	380755	1.75	1.75	3.43	4.33	4.29	1.88
Lagoa do Ouro	0	0	22643	181600	6098	32	12214	222587	1.81	1.81	2.73	5.33	4.61	1.99

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
Lajedo	0	0	151570	1086800	42120	1398	29884	1311772	1.76	1.76	3.84	5.77	4.58	1.89
Palmeirina	0	0	20435	145590	4318	123	9771	180237	1.74	1.74	2.89	4.41	4.34	1.91
Paranatama	0	0	4430	43536	597	0	4648	53211	1.88	1.88	2.62		4.18	2.09
Pedra	0	0	102580	196690	2385	12171	5056	318882	1.19	1.19	2.83	2.05	4.02	1.28
Saloá	0	0	12494	148330	2188	0	4779	167791	1.93	1.93	2.48		4.64	2.01
São João	0	0	66207	315590	13240	642	32752	428431	1.70	1.70	2.83	8.77	4.65	1.97
Terezinha	0	0	9958	97988	2105	120	6500	116671	1.90	1.90	3.25	4.31	4.19	2.06
Tupanatinga	0	0	35499	262990	2613	0	7329	308431	1.80	1.80	3.79		4.18	1.88
Venturosa	0	0	53594	215210	3456	720	5437	278417	1.46	1.46	2.59	3.98	3.97	1.53
Agrestina	0	0	50289	644900	19055	752	28471	743467	1.99	1.99	3.30	9.29	4.61	2.13
Alagoinha	0	0	12929	201440	2267	0	3452	220088	1.96	1.96	3.01		3.35	1.99
Altinho	0	0	72318	468630	20418	820	8298	570484	1.73	1.73	2.53	5.68	4.41	1.80
Barra de Guabiraba	0	0	46986	212540	7614	217	13813	281170	1.47	1.47	3.53	5.42	4.60	1.68
Belo Jardim	0	0	241840	2604600	144630	7283	99463	3097816	2.03	2.03	3.64	6.85	4.72	2.20
Bezerros	0	0	220650	1643400	55249	6855	41499	1967653	1.81	1.81	4.36	5.48	4.15	1.94
Bonito	0	0	116040	918920	41853	344	55922	1133079	1.80	1.80	4.00	4.73	4.74	2.03
Brejo da Madre de Deus	0	0	85650	637670	22249	240	11817	757626	1.77	1.77	4.94	4.31	4.12	1.90
Cachoeirinha	0	0	53776	484700	10671	240	13403	562790	1.80	1.80	4.56	4.31	4.44	1.92
Camocim de São Félix	0	0	68967	325270	5849	620	18913	419619	1.53	1.53	3.96	5.60	4.71	1.72
Caruaru	0	0	297830	12596000	1101500	132080	378550	14505960	2.30	2.30	4.76	5.90	4.84	2.59
Cupira	0	0	90826	708920	47798	2044	27797	877385	1.96	1.96	3.39	6.11	5.60	2.17
Gravatá	0	0	138790	3793700	247240	97725	100670	4378125	2.37	2.37	3.84	3.45	4.81	2.54
Ibirajuba	0	0	20770	101660	1499	0	3195	127124	1.60	1.60	3.24		3.84	1.68
Jataúba	0	0	711	111310	2029	0	6684	120734	2.30	2.30	3.51		4.58	2.44
Lagoa dos Gatos	0	0	11128	293620	4955	120	17657	327480	2.14	2.14	3.25	4.31	4.65	2.29
Panelas	0	0	59668	434360	10505	409	18152	523094	1.81	1.81	3.93	6.35	4.50	1.95
Pesqueira	0	0	142860	1300900	48081	2403	41917	1536161	1.79	1.79	4.29	4.78	4.61	1.95
Poção	-595	-3923	1035	8136	357	98	540	10167	21.77	21.77	21.77	21.76	21.77	21.77

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
Riacho das Almas	0	0	15404	352910	12466	3969	13694	398443	1.84	1.84	2.71	8.46	3.29	1.98
Sairé	0	0	25573	181490	4399	10	12768	224240	1.81	1.81	4.12	4.31	4.55	2.01
Sanharó	0	0	67238	557200	11115	3119	23702	662374	1.81	1.81	3.98	7.51	3.69	1.94
São Bento do Una	0	0	49161	876440	85263	2006	55454	1068324	2.02	2.02	5.27	5.51	2.79	2.33
São Caitano	0	0	66206	711270	13675	845	11280	803276	1.87	1.87	4.63	5.95	3.64	1.95
São Joaquim do Monte	0	0	75001	422340	11713	0	21644	530698	1.64	1.64	4.12		4.51	1.81
Tacaimbó	0	0	29229	237760	8453	1542	15057	292041	1.74	1.74	2.81	8.32	3.39	1.89
Bom Jardim	0	0	122370	637460	13409	725	39679	813643	1.67	1.67	4.21	4.89	4.65	1.86
Casinhas	0	0	13339	35036	545	0	8948	57868	1.43	1.43	4.83		4.50	1.94
Cumaru	-170	-7443	818	57782	2334	112	26972	88018	5.44	5.44	5.44	5.43	5.44	5.44
Feira Nova	0	0	111360	405400	3848	0	10932	531540	1.58	1.58	3.91		4.50	1.65
Frei Miguelinho	0	0	964	57494	2542	0	5483	66483	2.17	2.17	3.95		4.47	2.42
João Alfredo	0	0	36644	604870	15606	3663	10086	670869	2.03	2.03	4.15	5.92	4.31	2.13
Limoeiro	0	0	90635	1254100	67139	3312	28210	1443396	1.92	1.92	3.81	5.11	4.48	2.06
Machados	0	0	27100	236110	3397	0	10789	277396	1.83	1.83	4.17		4.38	1.96
Orobó	0	0	13438	180520	8796	369	10678	213801	1.93	1.93	4.29	8.60	4.57	2.17
Passira	0	0	52394	475330	10527	120	22013	560384	1.89	1.89	3.96	4.31	4.68	2.04
Salgadinho	0	0	911	119310	3349	140	9313	133023	2.33	2.33	4.97	4.32	4.52	2.55
Santa Cruz do Capibaribe	0	0	1072	2821200	229090	13858	24406	3089626	2.32	2.32	9.82	7.16	4.45	2.91
Santa Maria do Cambucá	0	0	6034	93327	1778	0	12147	113286	1.95	1.95	3.88		4.66	2.27
São Vicente Ferrer	0	0	20716	205000	4553	415	19484	250168	1.90	1.89	3.83	4.93	4.62	2.15
Surubim	0	0	198320	1641600	62987	5142	53174	1961223	1.90	1.90	4.86	8.91	4.69	2.09
Taquaritinga do Norte	0	0	4287	117660	1130	0	2830	125907	2.11	2.11	3.45		3.32	2.15
Toritama	0	0	159	1097000	60414	16710	11656	1185939	2.22	2.22	4.36	5.81	4.51	2.40
Vertente do Lério	0	-557	278	3585	373	0	633	4868	7.27	7.27	7.26		7.26	7.26
Vertentes	0	0	22532	395800	6888	120	11418	436758	2.01	2.01	4.60	4.32	4.39	2.12
Barreiros	0	0	74269	754760	29353	263	43814	902459	1.86	1.86	3.90	5.67	4.81	2.07
Belém de Maria	0	0	23018	169790	5168	0	8216	206192	1.77	1.77	3.53		4.35	1.92

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
Chã Grande	0	0	74132	311350	8970	360	20762	415574	1.58	1.58	4.51	16.57	4.67	1.81
Escada	0	0	88158	1250600	47763	3493	35235	1425249	2.00	2.00	4.28	6.43	4.66	2.15
Joaquim Nabuco	0	0	26281	137940	4170	0	14946	183337	1.86	1.86	3.31		4.65	2.12
Maraial	0	0	13508	122810	3508	0	8091	147917	1.83	1.83	3.28		4.24	2.00
Pombos	0	0	88154	545460	13486	7653	14027	668780	1.88	1.88	4.24	8.86	4.66	2.06
Primavera	0	0	23674	132460	6594	0	14049	176777	1.72	1.72	3.87		4.60	2.03
Quipapá	0	0	28423	363640	11205	0	17325	420593	2.04	2.04	3.06		4.57	2.17
Ribeirão	0	0	71657	956410	40766	946	13954	1083733	2.00	2.00	3.69	6.60	4.07	2.09
Rio Formoso	0	0	21396	289780	10866	375	30555	352972	2.07	2.07	3.69	7.45	4.68	2.35
São Benedito do Sul	0	0	8346	113800	2591	108	7648	132493	1.73	1.73	3.27	4.75	4.53	1.93
São José da Coroa Grande	0	0	12568	396280	7527	450	13275	430100	2.14	2.14	4.15	4.66	4.11	2.24
Sirinhaém	0	0	39242	612180	22485	1735	53442	729084	2.11	2.11	4.33	7.80	4.78	2.39
Tamandaré	0	0	18005	727160	30881	2121	24204	802371	2.32	2.32	5.42	9.19	4.54	2.52
Vitória de Santo Antão	-34413	0	230330	2892100	152650	216000	64476	3555556	2.30	2.30	3.39	2.30	4.63	2.39
Aliança	0	0	61326	439130	15897	40	13462	529855	1.72	1.72	4.22	10.95	3.92	1.85
Buenos Aires	0	0	41442	205950	2650	0	4785	254827	1.63	1.63	3.10		4.24	1.69
Camutanga	0	0	17087	128370	1169	0	7489	154115	1.79	1.79	4.90		4.65	1.95
Carpina	0	0	113330	1959700	93080	3858	45448	2215416	2.08	2.08	3.86	7.99	4.65	2.22
Chã de Alegria	0	0	26923	183040	4052	0	1687	215702	1.75	1.75	3.84		4.06	1.81
Condado	0	0	27356	255500	4312	120	10428	297716	1.78	1.78	3.52	9.14	4.54	1.90
Ferreiros	0	0	26535	250960	4649	3921	8741	294806	1.87	1.87	4.03	8.57	4.45	2.07
Glória do Goitá	0	0	79086	426530	13240	175	17315	536346	1.84	1.84	3.73	5.15	4.67	1.98
Goiana	0	0	90866	1547900	64811	1198	83887	1788662	2.05	2.05	4.26	5.14	4.64	2.26
Itaquitinga	0	0	38135	203790	3623	0	5500	251048	1.64	1.64	3.61		4.21	1.72
Lagoa do Itaenga	0	0	70973	469500	5777	860	13337	560447	1.75	1.75	4.17	5.22	4.81	1.85
Lagoa do Carro	0	0	25484	201660	2586	0	6202	235932	1.61	1.61	3.45		4.39	1.71
Macaparana	0	0	69618	474100	12890	1301	41546	599455	1.82	1.82	4.16	7.30	4.84	2.10

Município e RD	FO1_I	FO1_G	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	D	P_RS	P_RNS	P_C	P_I	P_G	P
Nazaré da Mata	0	0	73805	839690	31450	1452	44765	991162	1.89	1.89	4.16	4.89	4.74	2.09
Paudalho	0	0	67560	741620	35756	1164	25665	871765	1.82	1.82	2.67	4.50	4.54	1.94
Timbaúba	0	0	163480	1260300	63834	6974	47042	1541630	1.91	1.91	5.06	7.81	4.74	2.16
Tracunhaém	0	0	25791	226240	5144	280	7097	264552	1.73	1.73	4.22	5.55	4.09	1.84
Vicência	0	0	6162	325750	8351	120	24280	364663	2.23	2.23	4.17	4.31	4.70	2.44
Abreu e Lima	0	0	249380	2329600	67383	4157	38724	2689244	1.75	1.75	3.70	4.56	4.68	1.84
Araçoiaba	0	0	19387	171390	3034	240	6226	200277	1.75	1.75	3.72	4.31	4.43	1.86
Cabo de Santo Agostinho	0	0	163590	5158700	568720	5035800	402980	11329790	2.22	2.22	5.83	2.78	4.89	2.74
Camaragibe	0	0	224730	4676300	174430	11561	115520	5202541	2.19	2.19	4.22	5.95	4.81	2.32
Fernando de Noronha	0	0	1	162340	33288	0	24140	219769	3.16	3.28	10.13		4.68	4.47
Igarassu	-1480	-33686	19793	547290	43022	4914	61747	676766	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22
Ipojuca	0	-17638	18498	437200	77190	11221	62473	606581	6.17	6.17	6.17	8.20	6.17	6.20
Itamaracá	0	0	8419	1259000	29350	2454	24348	1323571	2.30	2.30	3.84	6.69	4.58	2.38
Itapissuma	0	0	43671	529320	16827	422	54088	644328	1.80	1.80	3.95	5.13	4.82	2.11
Jaboatão dos Guararapes	0	0	291970	13513000	672190	187740	224350	14889250	2.28	2.28	4.68	6.13	4.79	2.48
Moreno	0	0	121230	1521000	64106	3473	60093	1769902	1.96	1.96	3.30	9.94	4.66	2.12
Olinda	0	0	277380	13610000	627270	65175	242120	14821945	2.23	2.23	4.61	7.48	4.70	2.39
Paulista	0	0	256030	9907300	357710	20902	247950	10789892	2.22	2.22	3.80	6.99	4.81	2.34
Recife	0	0	1255000	60634000	6262600	501800	2903600	71557000	2.30	2.30	4.50	7.45	4.91	2.64
São Lourenço da Mata	0	0	160740	2496100	90766	7573	81553	2836732	2.09	2.09	4.27	6.46	4.79	2.25

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE D (parte 1): variáveis de decisão do modelo multiobjetivo (ponto C)

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
COMPESA						7188855	141488075	29141494	643484	4566082	183027991
RD 01 Sertão de Itaparica						131839	911901	69360	2651	50166	1165917
RD 02 Sertão do S. Francisco						367668	7547517	365139	12206	210759	8503288
RD 03 Sertão do Araripe						379796	1673660	59782	14003	37285	2164526
RD 04 Sertão Central						340253	1184694	82841	2513	44255	1654556
RD 05 Pajeú						607881	1848758	71652	3648	57880	2589819
RD 06 Sertão do Moxotó						254894	1475426	56666	3658	24323	1814967
RD 07 Agreste Meridional						537376	5574434	110338	6276	75161	6303585
RD 08 Agreste Central						1419719	18110619	894776	64546	243419	20733080
RD 09 Agreste Setentrional						464944	4344360	239206	23360	71785	5143653
RD 10 Mata Sul						449083	4691714	127810	8569	86907	5364083
RD 11 Mata Norte						560948	2749770	112236	6029	73060	3502043
RD 12 Metropolitana						1674453	91375222	26951689	496025	3591084	124088473
Belém de São Francisco	38	49	73	62	62	23784	133867	15523	371	3541	177086
Floresta	21	48	88	109	83	18288	198723	19970	979	5827	243787
Itacuruba	35	34	56	95	106	4625	32408	1945	95	2766	41838
Jatobá	34	97	82	61	111	16958	241387	14929	303	9619	283197
Petrolândia	40	54	73	73	400	52870	248144	15404	877	25606	342903
Tacaratu	35	31	38	26	80	15315	57371	1589	26	2806	77107
Afrânio	19	45	37	0	62	12691	53162	4232	0	2913	72998
Cabrobó	31	53	57	45	165	60628	230826	15880	225	9240	316800
Dormentes	36	37	40	0	75	20288	47575	2264	0	3820	73947
Lagoa Grande	17	47	21	88	98	27239	130578	1606	88	5216	164727
Orocó	41	38	71	0	99	26427	20946	998	0	2069	50439
Petrolina	31	141	120	250	591	187248	6958553	332160	11729	177999	7667688
Santa Maria da Boa Vista	21	47	57	82	190	33147	105879	7997	164	9502	156690
Araripina	20	69	85	216	78	54588	614961	32039	6472	6754	714814
Bodocó	38	44	20	203	72	44760	112054	1506	1623	3507	163450

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
Exu	38	44	44	346	94	47216	97658	1333	692	3672	150571
Granito	36	37	19	0	73	11513	21148	93	0	2415	35170
Ipubi	5	48	114	89	107	8230	110118	1252	179	2795	122573
Moreilândia	6	45	46	0	101	3212	39710	502	0	3420	46843
Ouricuri	45	49	80	92	63	146429	345111	13842	1561	7349	514292
Santa Cruz	22	46	47	0	87	16132	39841	373	0	2526	58871
Santa Filomena	43	31	20	0	72	14286	14335	385	0	506	29512
Trindade	22	54	59	68	78	33430	278724	8459	3477	4340	328430
Cedro	6	32	33	0	83	5213	30839	457	0	3239	39748
Mirandiba	29	10	54	0	90	23987	18445	2895	0	2867	48194
Parnamirim	37	23	70	166	71	33464	37905	7316	831	3499	83016
Salgueiro	42	78	98	172	111	156466	812057	62125	1375	15382	1047405
São José do Belmonte	35	47	45	0	105	63408	130442	5399	0	6798	206046
Serrita	22	40	37	41	89	16380	52218	2123	122	5355	76198
Terra Nova	5	42	38	111	78	4539	49798	1218	111	2564	58230
Verdejante	38	45	82	37	83	36796	52991	1308	74	4551	95720
Afogados da Ingazeira	19	57	21	64	102	56760	338293	6566	1339	8425	411383
Brejinho	30	31	31	0	99	12359	29440	587	0	3349	45735
Calumbi	29	7	21	0	71	6070	3519	206	0	635	10430
Carnaíba	40	22	38	45	88	26732	35885	2453	223	3248	68542
Flores	5	42	44	73	113	5348	96128	2569	218	5072	109334
Iguaraci	22	43	32	0	98	16764	58911	1200	0	3910	80785
Ingazeira	33	37	33	113	75	4477	12421	456	113	1961	19428
Itapetim	38	44	35	37	73	47393	66047	1941	74	2420	117875
Quixaba	31	32	6	0	69	8771	16207	39	0	1243	26260
Santa Terezinha	15	39	68	0	97	13056	42169	3074	0	2319	60619
São José do Egito	34	56	47	49	68	78947	258261	8594	540	4157	350499
Serra Talhada	43	44	61	40	118	216931	588194	35149	725	11594	852593
Solidão	6	28	9	0	84	756	8265	27	0	1434	10482

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
Tabira	34	54	43	20	71	84977	231458	5980	59	1774	324247
Triunfo	28	25	42	0	83	11780	43214	1008	0	3005	59007
Tuparetama	33	11	36	72	104	16757	20346	1803	358	3335	42600
Arcoverde	31	73	94	90	124	151455	812457	42992	2877	15416	1025198
Betânia	20	7	31	0	23	7161	6686	616	0	252	14715
Custódia	20	48	40	121	64	35278	139735	5149	484	1668	182313
Ibimirim	32	41	70	37	86	35609	89718	3432	74	3001	131834
Manari	23	34	23	0	45	9700	16784	258	0	403	27145
Sertânia	18	106	40	45	64	15691	410046	4218	223	3583	433761
Águas Belas	35	55	53	37	105	19918	258396	7132	148	3254	288847
Angelim	6	30	34	62	65	2751	29722	872	185	1625	35155
Bom Conselho	6	56	45	23	69	11856	273308	7885	159	3333	296541
Brejão	33	38	6	0	41	6498	25717	103	0	621	32940
Buíque	4	49	46	37	77	3959	119978	2035	74	2615	128660
Caetés	5	43	32	0	35	2337	49457	632	0	494	52921
Calçado	21	41	41	88	50	7662	30859	701	88	842	40151
Canhotinho	35	43	39	155	71	45494	91216	2324	311	3501	142845
Capoeiras	33	37	39	81	45	16683	41846	2535	81	1404	62548
Correntes	32	23	28	20	95	35369	37463	1705	117	3690	78344
Garanhuns	27	145	60	110	123	145360	3990130	63796	3724	22220	4225229
Itaíba	35	39	88	32	67	71400	78638	3534	32	3166	156770
Jucati	5	20	36	37	56	2130	15101	537	74	724	18568
Jupi	32	36	38	37	72	9511	23116	654	74	648	34003
Jurema	35	10	40	16	47	38925	18931	1804	16	2565	62241
Lagoa do Ouro	35	40	47	15	96	20901	44063	1680	15	2483	69142
Lajedo	5	29	20	49	75	15327	187021	5810	540	4982	213679
Palmeirina	31	41	34	32	92	14972	34573	1064	32	3051	53691
Paranatama	5	40	38	0	75	569	11674	154	0	1432	13828
Pedra	9	21	48	96	61	14959	17300	915	193	1599	34966

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
Saloá	35	31	33	0	81	11782	29948	457	0	733	42920
São João	19	23	41	62	78	26095	35712	2361	185	5204	69557
Terezinha	6	43	6	111	75	1525	26600	79	111	2015	30329
Tupanatinga	4	45	20	0	43	4030	67611	383	0	1298	73322
Venturosa	7	32	46	20	59	7366	36054	1189	117	1662	46388
Agrestina	39	48	45	120	70	51280	200368	4172	479	4441	260739
Alagoinha	41	42	46	0	37	13317	61010	878	0	1080	76285
Altinho	6	45	36	71	75	10783	117431	3865	356	1945	134380
Barra de Guabiraba	5	4	34	120	87	7342	6377	2880	240	3201	20040
Belo Jardim	44	91	52	77	101	235064	1405164	36447	2864	16120	1695659
Bezerros	37	65	22	81	102	174714	597243	6554	2500	8243	789254
Bonito	21	56	20	108	95	60353	297102	6156	216	7468	371296
Brejo da Madre de Deus	31	14	79	37	71	72880	50440	8559	74	3780	135733
Cachoeirinha	20	23	43	24	90	28970	69590	2471	47	3431	104509
Camocim de São Félix	23	10	33	62	66	35309	18437	1538	185	1966	57435
Caruaru	44	120	120	93	296	302266	9871800	692280	43756	95833	11005935
Cupira	36	50	51	40	107	80232	225354	13097	724	3631	323039
Gravatá	36	148	55	78	458	137787	3108352	54325	7599	52202	3360264
Ibirajuba	5	31	27	0	58	2296	17180	319	0	1110	20905
Jataúba	29	7	19	0	68	730	6797	334	0	1096	8957
Lagoa dos Gatos	20	41	43	94	74	6845	85602	1503	94	2429	96473
Panelas	20	52	49	92	67	29002	130681	3607	276	3169	166734
Pesqueira	5	131	21	40	74	19688	1046561	6413	725	7142	1080528
Poção	28	4	21	94	28	17031	3945	639	283	663	22562
Riacho das Almas	33	48	38	409	98	14188	110778	1988	819	3436	131209
Sairé	37	38	19	8	70	21603	39838	713	8	2243	64405
Sanharó	14	24	20	85	76	23244	80224	1454	594	3973	109489
São Bento do Una	33	26	112	110	108	42327	160187	35220	1646	5398	244778
São Caitano	5	50	46	92	89	8519	224960	3911	551	2763	240704

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
São Joaquim do Monte	6	44	43	0	84	10488	102492	3765	0	4693	121439
Tacaimbó	19	48	39	169	76	13464	72705	1687	508	1965	90329
Bom Jardim	15	11	33	89	90	47238	40684	3104	532	6652	98211
Casinhas	35	36	47	0	63	7338	6374	186	0	1455	15354
Cumaru	35	21	44	0	55	2502	32804	929	0	1995	38229
Feira Nova	35	37	34	0	83	75836	73905	929	0	2320	152990
Frei Miguelinho	6	7	55	0	89	175	3195	996	0	1332	5699
João Alfredo	23	51	35	21	84	37029	229146	5581	1103	3359	276218
Limoeiro	7	15	39	42	132	15840	118518	18256	807	11640	165061
Machados	20	41	38	0	96	13997	59028	1105	0	3353	77483
Orobó	27	41	49	82	79	11568	54131	3513	164	2142	71519
Passira	35	49	35	111	91	43981	145671	2921	111	3475	196159
Salgadinho	5	37	58	18	113	135	32986	1042	36	2485	36685
Santa Cruz do Capibaribe	7	98	130	96	107	224	2030410	146776	8469	7600	2193479
Santa Maria do Cambucá	20	36	30	0	110	3602	23696	390	0	2531	30220
São Vicente Ferrer	37	49	19	20	84	20905	61929	672	59	3027	86591
Surubim	37	74	74	74	117	164699	707733	25114	888	10660	909094
Taquaritinga do Norte	35	32	19	0	28	4819	27502	187	0	661	33169
Toritama	39	65	64	106	96	195	555906	24411	11079	2965	594555
Vertente do Lério	36	32	38	0	28	1379	4541	536	0	331	6786
Vertentes	19	47	64	111	106	13483	136199	2557	111	3802	156152
Barreiros	5	59	42	20	60	9744	350904	11319	59	4274	376299
Belém de Maria	35	34	33	0	83	19580	34902	1275	0	2320	58077
Chã Grande	25	43	47	62	91	40502	62553	3179	185	3470	109889
Escada	30	59	59	75	76	73218	480925	17128	1426	5002	577700
Joaquim Nabuco	6	6	40	0	97	3807	5474	1091	0	2620	12991
Maraial	38	41	34	0	84	12321	30895	925	0	2678	46820
Pombos	39	24	44	237	100	68770	73548	3762	1421	2597	150099
Primavera	32	38	37	0	70	17012	25925	1891	0	2179	47006

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
Quipapá	20	47	41	0	98	14447	109096	2818	0	3919	130280
Ribeirão	33	30	21	99	82	68167	196510	6360	691	5239	276966
Rio Formoso	33	11	48	82	99	16760	18753	3198	164	5348	44224
São Benedito do Sul	5	22	31	32	71	1214	22111	708	32	1773	25838
São José da Coroa Grande	38	46	35	37	104	11917	132267	1711	148	3638	149681
Sirinhaém	34	41	50	164	380	32297	153374	6445	655	25435	218206
Tamandaré	38	58	84	73	105	16866	286156	12511	437	6732	322702
Vitória de Santo Antão	6	118	48	67	76	42461	2708320	53491	3352	9684	2817307
Aliança	22	43	57	107	91	32548	108230	5838	107	4083	150806
Buenos Aires	34	39	40	0	75	31218	41989	924	0	1428	75559
Camutanga	29	41	60	0	112	12487	30485	420	0	1567	44959
Carpina	36	42	56	174	122	96979	517310	30110	1219	11006	656625
Chã de Alegria	19	38	38	0	45	12598	39805	1218	0	363	53985
Condado	19	23	20	81	75	12728	39423	766	81	1963	54960
Ferreiros	20	22	58	230	89	14466	33121	1562	689	1688	51526
Glória do Goitá	21	43	31	88	71	29778	96589	2860	88	2286	131601
Goiana	39	77	41	45	108	105950	739921	16723	446	17536	880576
Itaquitinga	23	37	38	0	91	18826	40116	1105	0	2082	62130
Lagoa do Itaenga	23	46	20	62	391	37228	123223	767	185	5870	167273
Lagoa do Carro	33	40	37	0	100	18642	51157	772	0	1992	72562
Macaparana	22	52	43	61	98	37031	130757	3736	306	4013	175844
Nazaré da Mata	15	54	41	49	58	26093	284543	8609	539	4285	324070
Paudalho	18	52	42	120	70	30160	243550	7050	960	4431	286150
Timbaúba	5	7	93	64	56	17334	47615	26415	1342	4044	96751
Tracunhaém	37	48	42	19	50	23289	70926	1226	58	1642	97141
Vicência	20	47	37	8	68	3591	111009	2134	8	2780	119524
Abreu e Lima	21	121	41	89	77	117762	1840005	21395	2762	5056	1986981
Araçoiaba	5	23	38	37	68	2346	26679	987	74	1095	31181
Cabo de Santo Agostinho	34	127	150	844	313	140956	4294530	216463	167171	95973	4915093

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
Camaragibe	25	131	84	156	93	119929	3910905	94308	10009	14104	4149256
Fernando de Noronha	3	104	124	0	113	3	82944	11443	0	5107	99497
Igarassu	31	112	42	71	98	73580	1860670	29868	2909	15252	1982279
Ipojuca	6	71	53	72	79	10239	663445	27399	1666	9975	712725
Itamaracá	32	70	39	122	90	9318	661325	7990	1953	4942	685528
Itapissuma	36	13	40	89	114	39932	45242	5385	267	7165	97991
Jaboatão dos Guararapes	36	128	144	369	97	288499	10961056	477506	86372	26460	11839893
Moreno	10	61	21	85	62	31238	557939	6555	1194	6953	603879
Olinda	5	124	174	89	134	38324	11146245	607720	18058	52417	11862763
Paulista	5	121	26	68	530	32579	8149840	60588	6893	136773	8386673
Recife	20	120	914	177	1749	635065	45695520	25354497	193325	3197642	75076049
São Lourenço da Mata	39	92	55	94	127	134684	1478876	29587	3371	12168	1658686

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE D (parte 2): variáveis de decisão do modelo multiobjetivo (ponto C)

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Belém de São Francisco	1.58	5.06	8.44	19.31	32.60	3.89	5.42	11.99	24.37	34.41
Floresta	2.86	4.25	9.79	17.02	25.65	5.17	4.61	13.34	22.08	27.46
Itacuruba	1.92	6.26	8.83	20.85	29.71	4.23	6.62	12.38	25.91	31.52
Jatobá	1.85	3.66	8.86	17.87	29.85	4.16	4.02	12.41	22.93	31.66
Petrolândia	1.60	4.37	8.41	25.24	20.05	3.91	4.73	11.96	30.42	20.10
Tacaratu	2.06	6.94	6.76	12.05	18.12	4.37	7.30	10.31	17.11	19.93
Afrânio	3.37	5.17	10.04	4.52	38.82	5.72	5.53	13.59	9.58	40.63
Cabrobó	1.96	4.57	10.97	6.53	19.42	4.27	4.93	14.53	11.59	19.47
Dormentes	1.77	5.32	10.91	4.46	17.33	4.08	5.68	14.46	9.52	19.14
Lagoa Grande	3.36	4.86	20.18	6.53	18.71	5.67	5.22	23.73	11.59	20.82
Orocó	1.70	7.23	9.66	4.46	33.95	4.01	7.59	13.21	9.52	35.76
Petrolina	2.57	2.21	8.50	12.95	14.28	4.88	2.26	12.05	22.31	14.33
Santa Maria da Boa Vista	3.00	5.45	7.74	13.14	20.09	5.31	5.81	11.29	18.20	20.14
Araripina	2.87	3.53	8.73	12.96	16.42	5.18	3.89	12.28	16.96	18.23
Bodocó	1.79	5.58	19.37	4.68	20.75	4.10	5.97	22.95	21.90	22.56
Exu	1.83	4.96	12.53	19.50	13.73	4.14	5.33	16.08	24.21	15.54
Granito	1.58	5.78	8.78	4.46	16.82	3.89	6.14	12.33	9.52	18.63
Ipubi	9.97	4.66	13.72	7.48	22.75	12.28	5.02	17.27	12.54	24.56
Moreilândia	6.96	4.29	5.68	4.46	11.02	9.27	4.65	9.23	9.52	12.83
Ouricuri	1.90	4.88	8.36	4.63	23.66	4.21	5.24	11.91	9.69	25.47
Santa Cruz	2.67	4.71	9.45	4.46	12.87	4.98	5.07	13.00	9.52	14.68
Santa Filomena	1.68	7.01	19.47	4.46	9.73	3.99	7.37	23.02	9.52	11.54
Trindade	2.67	4.12	9.16	16.81	10.14	4.98	4.48	12.71	21.87	12.00
Cedro	8.70	6.48	8.22	4.46	9.76	11.01	6.84	11.77	9.52	11.57
Mirandiba	2.15	15.47	8.21	4.46	10.25	4.46	15.83	11.76	9.52	12.06
Parnamirim	1.93	9.16	8.61	9.72	21.75	4.24	9.52	12.16	23.28	23.56
Salgueiro	1.87	3.62	8.20	6.66	28.32	4.18	3.98	11.75	17.70	30.13
São José do Belmonte	1.87	4.94	9.50	4.46	12.09	4.18	5.30	13.05	9.52	13.90

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Serrita	2.55	4.77	7.96	4.53	8.85	4.86	5.13	11.51	9.59	10.66
Terra Nova	9.06	4.73	7.13	4.62	9.17	11.37	5.09	10.68	9.68	10.98
Verdejante	1.98	5.06	9.33	5.96	16.50	4.29	5.42	12.88	11.02	18.52
Afogados da Ingazeira	2.58	3.52	15.33	15.47	24.80	5.05	3.88	18.88	20.53	26.61
Brejinho	1.55	6.48	7.36	4.46	10.74	3.86	6.84	10.91	9.52	12.55
Calumbi	2.07	21.65	18.69	4.46	10.45	4.38	22.01	22.24	9.52	12.26
Carnaíba	1.64	8.74	6.37	8.65	22.18	3.95	9.10	9.92	13.71	23.99
Flores	8.11	4.85	10.45	26.21	16.35	10.42	5.21	14.00	31.27	18.17
Iguaraci	2.73	5.36	7.64	4.46	11.94	5.04	5.72	11.19	9.52	13.75
Ingazeira	1.95	6.52	7.98	4.64	17.01	4.26	6.88	11.53	9.70	18.82
Itapetim	1.60	4.58	7.80	7.73	18.05	3.91	4.94	11.35	12.79	19.86
Quixaba	1.73	5.81	21.54	4.46	9.70	4.04	6.21	25.09	9.52	11.51
Santa Terezinha	3.86	5.42	8.27	4.46	9.49	6.17	5.78	11.82	9.52	11.31
São José do Egito	1.71	4.07	9.77	9.21	26.20	4.02	4.43	13.32	14.27	28.01
Serra Talhada	1.47	4.93	9.56	12.39	21.72	3.78	5.29	13.11	17.45	23.53
Solidão	6.71	5.14	3.77	4.46	10.25	9.02	5.50	7.32	9.52	12.06
Tabira	1.47	3.61	6.76	15.43	13.26	3.78	3.97	10.31	20.49	15.07
Triunfo	1.95	7.34	5.84	4.46	16.35	4.26	7.70	9.39	9.52	18.23
Tuparetama	1.86	16.05	11.10	10.14	12.57	4.17	16.41	14.65	15.20	14.38
Arcoverde	1.71	2.89	8.96	6.98	22.27	4.05	3.25	12.51	12.04	22.32
Betânia	2.45	18.78	5.72	4.46	16.67	4.76	19.14	9.27	9.52	18.48
Custódia	2.81	4.40	8.47	8.56	8.42	5.12	4.78	12.02	13.36	10.23
Ibimirim	1.71	4.77	8.52	7.90	9.56	4.02	5.13	12.07	12.96	11.37
Manari	2.69	6.94	12.05	4.46	7.35	5.00	7.30	15.60	9.52	9.16
Sertânia	2.79	5.06	9.24	8.10	8.84	5.10	5.42	12.79	13.16	10.65
Águas Belas	1.77	4.02	7.52	5.31	22.73	4.08	4.39	11.07	10.37	24.54
Angelim	7.85	6.47	7.78	23.88	8.31	10.16	6.83	11.33	28.94	10.12
Bom Conselho	7.42	3.84	9.58	11.80	19.34	9.73	4.21	13.13	16.86	21.15
Brejão	1.68	5.39	23.07	4.46	11.74	3.99	5.75	26.62	9.52	13.55

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Buíque	10.78	4.06	10.29	6.53	19.72	13.09	4.42	13.84	11.59	21.53
Caetés	8.48	4.89	8.02	4.46	9.73	10.79	5.25	11.57	9.52	11.54
Calçado	2.50	4.63	6.84	8.12	8.31	4.81	4.99	10.39	13.18	10.12
Canhotinho	1.79	4.90	8.54	6.79	21.26	4.10	5.26	12.09	17.26	23.07
Capoeiras	1.84	5.36	7.41	14.16	10.34	4.15	5.72	10.96	19.22	12.15
Correntes	1.92	8.00	7.07	14.39	17.30	4.23	8.36	10.62	19.45	19.11
Garanhuns	3.08	2.06	9.78	6.47	26.79	5.39	2.11	13.34	11.53	26.84
Itaíba	1.83	5.65	10.07	6.89	22.15	4.14	6.01	13.62	11.95	23.96
Jucati	9.51	7.90	7.90	9.43	8.01	11.82	8.26	11.45	14.49	9.82
Jupi	1.78	5.55	6.45	8.04	11.07	4.09	5.91	10.00	13.10	12.88
Jurema	1.73	15.88	6.11	4.46	17.29	4.04	16.24	9.66	9.52	17.34
Lagoa do Ouro	1.80	5.45	7.48	4.67	17.26	4.11	5.81	11.03	9.73	19.07
Lajedo	9.66	6.44	15.05	9.83	19.27	11.97	6.80	18.60	14.89	21.08
Palmeirina	2.00	5.35	7.31	8.60	10.28	4.31	5.71	10.86	13.66	12.10
Paranatama	9.40	4.67	5.72	4.46	10.69	11.71	5.03	9.27	9.52	12.50
Pedra	5.68	8.28	4.52	18.43	8.32	7.99	8.92	8.07	23.49	10.13
Saloá	1.60	6.46	8.58	4.46	22.52	3.91	6.82	12.13	9.52	24.33
São João	3.32	9.08	10.10	23.23	21.34	5.63	9.44	13.65	28.29	23.15
Terezinha	7.26	4.68	26.96	4.61	9.78	9.57	5.04	30.51	9.67	11.59
Tupanatinga	9.66	4.89	15.03	4.46	15.26	11.97	5.25	18.58	9.52	17.07
Venturosa	6.24	5.66	4.48	18.77	8.43	8.55	6.08	8.03	23.83	10.24
Agrestina	1.59	4.29	9.06	12.03	21.24	3.93	4.65	12.61	17.09	23.05
Alagoinha	1.65	4.70	4.35	4.46	8.13	3.96	5.06	7.90	9.52	9.94
Altinho	7.39	4.52	7.88	9.93	13.97	9.70	4.88	11.43	14.99	15.78
Barra de Guabiraba	5.80	23.76	5.66	4.88	15.04	8.11	24.13	9.21	9.94	16.85
Belo Jardim	1.47	2.61	9.36	13.07	21.40	3.78	2.97	12.91	18.13	23.21
Bezerros	1.66	3.44	22.12	11.10	14.14	3.97	3.80	25.67	16.16	15.95
Bonito	3.00	4.32	15.59	6.96	25.99	5.31	4.68	19.14	12.02	27.80
Brejo da Madre de Deus	1.72	13.07	9.86	8.85	9.08	4.03	13.43	13.41	13.91	10.89

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Cachoeirinha	2.35	7.17	12.41	4.52	12.65	4.66	7.53	15.96	9.58	14.46
Camocim de São Félix	2.69	17.28	10.12	14.95	31.56	5.00	17.64	13.67	20.01	33.37
Caruaru	1.73	2.25	5.51	12.44	15.39	4.04	2.51	8.73	17.50	15.44
Cupira	1.81	4.23	8.75	9.98	31.01	4.12	4.59	12.30	15.04	32.82
Gravatá	1.89	2.35	12.04	29.65	8.17	4.20	2.40	15.59	34.71	8.22
Ibirajuba	8.35	5.73	8.98	4.46	7.78	10.66	6.09	12.53	9.52	9.59
Jataúba	1.90	20.80	11.86	4.46	18.65	4.21	21.16	15.41	9.52	20.46
Lagoa dos Gatos	2.58	4.97	6.87	4.57	23.82	4.89	5.33	10.42	9.63	25.63
Panelas	2.80	4.10	7.57	6.65	18.55	5.11	4.46	11.12	11.71	20.36
Pesqueira	7.96	1.65	18.38	11.15	19.96	10.27	1.70	21.93	16.21	21.77
Poção	1.76	35.30	8.42	7.24	15.13	4.07	35.66	11.97	12.30	16.94
Riacho das Almas	1.93	4.60	9.07	27.78	10.20	4.24	4.96	12.62	31.92	12.01
Sairé	1.80	5.49	13.59	5.01	18.63	4.11	5.85	17.14	10.07	20.44
Sanharó	3.87	7.98	17.44	28.66	15.88	6.18	8.34	20.99	33.72	17.69
São Bento do Una	1.52	5.94	9.52	4.51	19.95	3.83	6.30	13.07	9.57	21.76
São Caitano	9.54	4.17	10.28	6.61	10.30	11.85	4.54	13.83	11.67	12.11
São Joaquim do Monte	8.32	4.95	9.63	4.46	15.74	10.63	5.31	13.18	9.52	17.55
Tacaimbó	2.31	3.78	8.68	6.83	18.72	4.62	4.14	12.23	19.99	20.53
Bom Jardim	3.09	14.03	10.78	5.85	20.07	5.40	14.39	14.33	10.91	21.88
Casinhas	2.02	5.23	12.09	4.46	20.33	4.33	5.59	15.64	9.52	22.14
Cumaru	1.78	7.73	10.20	4.46	49.05	4.09	8.09	13.75	9.52	50.86
Feira Nova	1.88	5.86	10.85	4.46	15.24	4.19	6.25	14.40	9.52	17.05
Frei Miguelinho	8.02	22.67	7.83	4.46	13.40	10.33	23.03	11.38	9.52	15.21
João Alfredo	1.93	4.23	7.81	14.58	9.81	4.24	4.59	11.36	19.64	11.62
Limoeiro	5.89	9.91	7.08	9.41	8.40	8.20	10.27	10.63	14.47	8.45
Machados	2.61	4.79	7.85	4.46	9.84	4.92	5.15	11.40	9.52	11.65
Orobó	1.75	4.18	7.53	12.76	16.74	4.06	4.54	11.08	17.82	18.55
Passira	1.53	3.98	8.53	4.62	21.80	3.84	4.34	12.08	9.68	23.61
Salgadinho	7.90	5.00	10.30	4.52	12.57	10.21	5.36	13.85	9.58	14.38

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Santa Cruz do Capibaribe	5.59	2.28	11.17	8.31	11.36	7.90	2.64	11.22	13.37	13.17
Santa Maria do Cambucá	2.78	5.47	11.16	4.46	17.10	5.09	5.83	14.71	9.52	18.91
São Vicente Ferrer	1.77	4.51	14.07	20.28	21.19	4.08	4.88	17.62	25.34	23.00
Surubim	1.62	3.00	8.66	38.10	17.77	3.93	3.36	12.21	43.16	19.58
Taquaritinga do Norte	1.85	6.56	10.39	4.46	8.80	4.16	6.92	13.94	9.52	10.61
Toritama	1.76	3.60	8.00	7.42	13.91	4.07	3.96	11.55	12.48	15.72
Vertente do Lério	1.85	5.90	5.32	4.46	11.71	4.16	6.26	8.87	9.52	13.52
Vertentes	2.90	4.62	9.56	4.62	10.98	5.21	4.98	13.11	9.68	12.79
Barreiros	8.42	2.94	6.41	18.83	34.26	10.79	3.30	9.96	23.89	36.07
Belém de Maria	1.87	5.92	7.76	4.46	11.29	4.18	6.32	11.31	9.52	13.10
Chã Grande	2.31	5.11	7.36	18.98	20.68	4.62	5.47	10.91	24.04	22.49
Escada	1.74	3.66	7.88	12.25	23.62	4.05	4.02	11.43	17.31	25.43
Joaquim Nabuco	6.21	19.28	8.94	4.46	20.02	8.52	19.64	12.49	9.52	21.83
Maraial	1.61	4.71	7.69	4.46	9.43	3.93	5.07	11.24	9.52	11.24
Pombos	1.88	8.31	9.76	36.67	19.28	4.19	8.67	13.31	37.06	21.09
Primavera	1.90	5.82	8.65	4.46	21.62	4.21	6.18	12.20	9.52	23.43
Quipapá	2.80	4.51	7.71	4.46	15.52	5.11	4.87	11.26	9.52	17.33
Ribeirão	1.82	6.71	15.48	5.80	9.11	4.13	7.07	19.03	10.86	10.92
Rio Formoso	1.85	16.40	7.38	15.02	19.89	4.16	16.76	10.93	20.08	21.70
São Benedito do Sul	7.12	5.87	8.14	10.72	15.16	9.43	6.23	11.69	15.78	16.97
São José da Coroa Grande	1.68	4.00	10.61	8.91	11.46	3.99	4.36	14.16	13.97	13.27
Sirinhaém	1.98	5.45	9.50	6.53	8.76	4.29	5.81	13.05	17.59	8.81
Tamandaré	1.94	3.83	9.28	30.72	12.25	4.25	4.19	12.83	35.78	14.06
Vitória de Santo Antão	6.51	1.80	6.06	21.60	22.17	8.82	2.16			
Aliança	2.42	4.78	8.14	4.72	9.28	4.73	5.14	11.69	9.78	11.09
Buenos Aires	1.93	5.67	5.73	4.46	10.62	4.24	6.03	9.28	9.52	12.43
Camutanga	2.16	5.49	8.44	4.46	17.26	4.47	5.85	11.99	9.52	19.07
Carpina	1.52	4.81	7.28	7.08	13.76	3.83	5.17	10.83	19.28	14.88
Chã de Alegria	2.78	5.36	7.88	4.46	13.01	5.09	5.72	11.43	9.52	14.82

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Condado	2.73	7.51	13.87	12.80	17.69	5.04	7.87	17.42	17.86	19.50
Ferreiros	2.92	9.42	8.37	34.61	17.15	5.23	9.78	11.92	36.98	18.97
Glória do Goitá	3.10	4.92	8.15	7.24	25.25	5.41	5.28	11.70	12.30	27.06
Goiana	1.55	3.17	9.96	9.62	16.26	3.86	3.53	13.52	14.68	18.07
Itaquitinga	2.39	5.33	7.74	4.46	8.77	4.70	5.69	11.29	9.52	10.58
Lagoa do Itaenga	2.55	4.37	15.56	15.85	8.78	4.90	4.73	19.11	20.91	9.56
Lagoa do Carro	1.74	4.14	4.83	4.46	10.32	4.05	4.50	8.38	9.52	12.13
Macaparana	2.48	4.64	9.57	22.88	35.27	4.79	5.00	13.12	27.94	37.08
Nazaré da Mata	3.74	4.05	9.46	7.03	34.29	6.05	4.41	13.01	12.09	36.10
Paudalho	2.68	3.62	9.34	4.83	18.69	4.99	3.98	12.89	9.89	20.50
Timbaúba	10.17	25.38	8.90	28.97	38.18	12.48	25.74	12.45	34.03	39.99
Tracunhaém	1.57	3.76	10.89	13.12	12.57	3.88	4.12	14.44	18.18	14.38
Vicência	2.39	4.01	9.08	10.80	28.59	4.70	4.37	12.63	15.86	30.68
Abreu e Lima	2.42	1.62	7.76	4.62	25.70	4.87	1.67	11.31	9.68	27.51
Araçoiaba	8.66	6.35	7.91	5.38	18.37	10.97	6.71	11.46	10.44	20.19
Cabo de Santo Agostinho	1.77	2.03	12.24	42.39	16.39	4.08	2.08	12.29	42.44	16.44
Camaragibe	2.85	2.06	5.98	2.35	28.40	5.16	2.11	9.53	5.76	30.21
Fernando de Noronha	0.60	5.52	22.93	4.46	16.78	2.91	5.88	23.33	9.52	18.59
Igarassu	1.75	2.05	7.60	8.66	23.03	4.06	2.41	11.15	13.72	24.84
Ipojuca	6.86	3.22	11.79	40.24	28.12	9.17	3.58	15.34	45.30	29.93
Itamaracá	1.77	3.05	9.18	1.63	16.98	4.08	3.41	12.91	6.54	18.79
Itapissuma	1.73	12.59	7.79	5.96	26.61	4.04	12.95	11.34	11.02	28.42
Jaboatão dos Guararapes	1.70	2.21	2.78	8.88	29.17	4.01	2.26	5.16	9.16	30.98
Moreno	4.29	3.43	17.92	21.38	28.24	6.60	3.79	21.47	26.44	30.05
Olinda	9.33	2.14	3.70	20.40	16.85	11.64	2.19	3.75	25.46	16.90
Paulista	9.42	2.07	13.62	15.35	7.82	11.73	2.12	17.17	20.41	7.87
Recife	3.15	2.43	1.07	15.78	4.40	5.46	4.34	1.12	15.83	4.46
São Lourenço da Mata	1.86	2.58	9.12	11.10	23.77	4.17	2.94	12.67	16.16	23.82

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE E (parte 1): variáveis de decisão do modelo multiobjetivo (ponto D)

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
COMPESA						3241833	44510593	4689001	2120678	2565790	57127896
RD 01 Sertão de Itaparica						77124	630636	37631	464	141466	887320
RD 02 Sertão do S. Francisco						161481	302340	994853	2871	569491	2031036
RD 03 Sertão do Araripe						172308	1358651	64160	1292	7413	1603824
RD 04 Sertão Central						156479	476613	39604	337	16568	689602
RD 05 Pajeú						274207	1473465	27600	1393	21953	1798619
RD 06 Sertão do Moxotó						69151	710681	21853	438	5773	807897
RD 07 Agreste Meridional						332161	2149312	55903	6536	16890	2560802
RD 08 Agreste Central						645725	5886109	436738	66495	43089	7078158
RD 09 Agreste Setentrional						207549	3378874	155994	15022	22838	3780278
RD 10 Mata Sul						206592	2203323	47535	2520	28194	2488164
RD 11 Mata Norte						289277	1690162	42989	631	31734	2054793
RD 12 Metropolitana						649780	24250425	2764140	2022679	1660380	31347404
Belém de São Francisco	30	31	13	15	24	18997	85190	2741	90	1388	108405
Floresta	9	30	4	6	16	7469	123854	925	51	1131	133430
Itacuruba	7	15	10	20	10	957	14077	343	20	258	15655
Jatobá	10	35	162	12	10	5047	86644	29343	60	893	121987
Petrolândia	28	61	13	17	2149	36816	279884	2682	210	137516	457108
Tacaratu	18	22	38	33	8	7838	40987	1596	33	281	50736
Afrânio	19	16	37	0	7	12977	18837	4221	0	323	36359
Cabrobó	6	7	13	44	12	11016	31651	3623	220	690	47199
Dormentes	10	14	10	0	17	5670	17977	558	0	874	25078
Lagoa Grande	9	44	10	8	19	14771	123520	794	8	1031	140124
Orocó	22	24	11	0	6	14394	13117	154	0	134	27799
Petrolina	14	240	356	54	1879	86817	3354	984049	2550	565613	1642384
Santa Maria da Boa Vista	10	42	10	46	17	15837	93884	1454	93	825	112093
Araripina	8	45	116	7	15	21758	399703	43611	211	1331	466614
Bodocó	18	24	10	5	20	21625	62400	740	38	984	85786

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
Exu	17	26	9	39	3	20803	58487	281	77	133	79781
Granito	32	25	7	0	7	10041	14479	36	0	243	24799
Ipubi	10	31	15	10	22	17027	70520	161	19	562	88289
Moreilândia	49	15	39	0	3	25097	13048	431	0	90	38666
Ouricuri	7	14	99	8	25	23014	96603	16967	144	2908	139637
Santa Cruz	9	15	9	0	14	7014	13400	74	0	419	20907
Santa Filomena	30	11	9	0	11	9976	5291	176	0	75	15517
Trindade	11	120	12	16	12	15953	624720	1683	801	669	643827
Cedro	24	14	36	0	59	22308	13218	509	0	2291	38325
Mirandiba	10	54	10	0	4	8143	96979	517	0	125	105765
Parnamirim	19	20	11	20	21	16724	33250	1153	100	1029	52256
Salgueiro	6	10	49	4	54	20886	102430	31464	35	7463	162278
São José do Belmonte	19	59	10	0	5	34096	165255	1170	0	325	200846
Serrita	32	14	38	41	3	24207	17870	2171	122	181	44551
Terra Nova	21	17	35	8	125	18404	19419	1105	8	4125	43061
Verdejante	12	24	95	37	19	11711	28192	1515	73	1029	42521
Afogados da Ingazeira	4	7	10	14	125	11219	43033	3078	288	10348	67967
Brejinho	22	14	8	0	6	9194	12780	145	0	187	22306
Calumbi	9	28	9	0	72	1776	13412	92	0	650	15931
Carnaíba	4	3	20	8	10	2582	4710	1283	40	377	8993
Flores	16	27	8	20	5	15607	61501	471	60	246	77885
Iguaraci	8	47	8	0	6	6380	64517	298	0	232	71427
Ingazeira	7	12	36	8	16	977	3896	509	8	423	5812
Itapetim	22	42	36	37	8	27230	62776	1978	73	251	92308
Quixaba	14	32	38	0	70	3945	16272	266	0	1264	21748
Santa Terezinha	8	22	102	0	115	6831	23620	4585	0	2753	37789
São José do Egito	25	63	15	9	25	58464	291337	2743	102	1530	354176
Serra Talhada	9	27	17	10	8	45984	360838	9491	179	795	417286
Solidão	32	30	9	0	129	4034	8911	27	0	2192	15165

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
Tabira	27	89	8	8	14	67881	379536	1171	23	342	448953
Triunfo	20	16	42	0	3	8490	26775	997	0	115	36377
Tuparetama	7	53	9	124	8	3610	99550	466	620	249	104495
Arcoverde	5	7	31	10	16	22395	76218	14233	311	1984	115141
Betânia	7	25	41	0	9	2623	23035	828	0	98	26584
Custódia	10	58	40	4	9	18042	169670	5211	14	239	193177
Ibimirim	7	28	9	36	79	7521	61778	462	73	2778	72612
Manari	8	12	10	0	7	3431	5833	115	0	67	9446
Sertânia	17	97	9	8	11	15139	374148	1004	39	608	390937
Águas Belas	31	49	10	36	24	17751	230726	1330	146	755	250709
Angelim	30	13	7	17	9	14636	13202	187	50	220	28295
Bom Conselho	16	32	14	17	18	31968	153005	2529	122	853	188477
Brejão	8	11	44	0	10	1580	7691	703	0	146	10121
Buíque	14	16	14	34	9	12078	38011	614	69	294	51066
Caetés	6	10	8	0	33	2689	11862	162	0	467	15179
Calçado	8	49	37	11	9	2829	36469	630	11	150	40088
Canhotinho	8	55	42	4	21	9933	116780	2465	8	1011	130197
Capoeiras	9	25	36	47	9	4710	28282	2330	47	281	35649
Correntes	7	16	29	6	4	8052	26336	1828	36	140	36391
Garanhuns	10	36	29	164	31	57328	988018	30683	5583	5601	1087212
Itaíba	8	44	54	33	21	16599	89195	2159	33	970	108956
Jucati	20	11	40	37	9	8736	8496	598	73	111	18014
Jupi	27	11	36	34	75	7961	6997	620	69	674	16321
Jurema	7	45	40	17	13	8142	82006	1810	17	725	92700
Lagoa do Ouro	33	29	8	16	15	19639	32211	278	16	402	52546
Lajedo	7	23	9	10	13	21928	150639	2540	106	865	176078
Palmeirina	10	15	36	33	4	4827	12390	1105	33	145	18501
Paranatama	26	13	34	0	57	2966	3804	136	0	1090	7997
Pedra	8	12	7	4	9	13210	9794	140	7	235	23386

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
Saloá	36	14	36	0	9	11860	13468	510	0	82	25920
São João	8	20	10	17	11	11516	31516	544	50	764	44389
Terezinha	32	11	48	8	11	8294	7025	673	8	286	16286
Tupanatinga	13	14	8	0	12	11854	21864	154	0	350	34221
Venturosa	19	26	45	9	10	21073	29526	1175	53	275	52102
Agrestina	28	55	13	3	21	36514	226156	1215	14	1350	265249
Alagoinha	34	55	7	0	38	11089	80212	137	0	1104	92542
Altinho	20	25	8	115	14	37467	65657	819	575	372	104891
Barra de Guabiraba	10	14	33	9	3	14336	23166	2834	18	119	40472
Belo Jardim	13	34	25	51	6	69173	531507	17437	1888	992	620997
Bezerros	14	42	14	46	7	63653	386389	4192	1415	563	456211
Bonito	10	36	11	122	30	27293	190057	3185	243	2341	223118
Brejo da Madre de Deus	17	63	12	37	10	40649	235697	1347	73	552	278319
Cachoeirinha	8	31	11	24	3	11037	93382	637	47	123	105226
Camocim de São Félix	8	20	11	13	22	12861	35936	532	40	675	50043
Caruaru	8	20	57	125	67	56633	1685774	330904	58654	21742	2153707
Cupira	8	36	12	9	24	16896	159530	3039	157	831	180453
Gravatá	10	42	30	29	16	40383	875144	29448	2841	1852	949667
Ibirajuba	23	22	9	0	9	10389	12066	112	0	169	22736
Jataúba	8	22	8	0	11	201	20291	135	0	173	20799
Lagoa dos Gatos	7	18	8	7	13	2483	38222	279	7	438	41429
Panelas	9	26	8	9	16	12267	64532	611	26	760	78196
Pesqueira	9	49	12	9	24	32685	391971	3654	169	2328	430807
Poção	5	1	17	9	7	2793	935	539	27	170	4464
Riacho das Almas	10	33	9	3	93	4153	75667	459	7	3257	83543
Sairé	39	29	8	5	11	23228	30875	311	5	366	54785
Sanharó	9	27	9	11	16	14223	90137	663	74	840	105937
São Bento do Una	26	42	97	8	9	32589	253841	30421	114	456	317422
São Caitano	12	39	21	9	2	21482	174446	1811	52	73	197864

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
São Joaquim do Monte	26	53	13	0	17	46388	123127	1174	0	968	171657
Tacaimbó	7	14	20	17	18	4863	21394	844	51	474	27625
Bom Jardim	7	22	12	8	11	23849	81700	1146	49	849	107592
Casinhas	7	36	10	0	16	1529	6299	41	0	379	8248
Cumaru	28	5	9	0	26	2002	7207	195	0	923	10326
Feira Nova	8	17	9	0	16	16637	33496	240	0	450	50823
Frei Miguelinho	30	23	9	0	15	934	10366	157	0	225	11680
João Alfredo	20	63	28	18	48	31331	284834	4526	912	1922	323525
Limoeiro	12	29	43	9	15	28810	229321	20444	162	1328	280064
Machados	8	51	39	0	86	5351	72618	1118	0	3010	82097
Orobó	20	11	8	46	17	8353	14904	585	92	452	24385
Passira	30	84	8	9	11	37973	253095	637	9	418	292132
Salgadinho	26	13	11	18	14	731	11856	191	36	314	13127
Santa Cruz do Capibaribe	34	50	72	139	106	1165	1032408	81334	12223	7505	1134636
Santa Maria do Cambucá	8	11	8	0	5	1392	7484	108	0	124	9108
São Vicente Ferrer	20	13	8	9	10	11398	16718	291	27	367	28803
Surubim	6	19	104	21	7	28326	179485	35582	258	649	244300
Taquaritinga do Norte	7	14	8	0	3	993	11699	76	0	81	12849
Toritama	34	101	13	12	7	169	859835	5024	1248	216	866492
Vertente do Lério	31	15	42	0	4	1160	2174	586	0	46	3966
Vertentes	8	92	93	8	99	5447	263377	3712	8	3580	276123
Barreiros	2	23	37	9	27	3843	134665	9957	26	1951	150443
Belém de Maria	7	13	8	0	13	4102	13672	316	0	367	18457
Chã Grande	10	60	8	15	7	17029	87207	531	44	247	105058
Escada	14	23	12	50	15	33398	188731	3430	953	962	227475
Joaquim Nabuco	14	18	9	0	19	9080	18074	232	0	518	27904
Maraial	33	47	7	0	126	10813	35262	195	0	4031	50301
Pombos	22	33	22	5	18	38681	101108	1855	28	474	142147
Primavera	7	13	8	0	20	3795	8569	409	0	619	13392

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
Quipapá	8	24	38	0	7	5509	56931	2603	0	264	65307
Ribeirão	8	131	10	10	127	16092	853895	3199	69	8145	881399
Rio Formoso	9	15	8	49	22	4596	27145	545	98	1201	33584
São Benedito do Sul	31	34	10	33	15	7367	35125	219	33	363	43107
São José da Coroa Grande	32	39	9	37	96	9899	111268	437	147	3352	125102
Sirinhaém	9	18	11	4	27	8604	68732	1412	15	1794	80558
Tamandaré	19	37	55	18	6	8243	181471	8156	110	379	198359
Vitória de Santo Antão	4	12	13	20	28	25542	281468	14040	996	3527	325572
Aliança	7	16	10	8	111	11005	41267	1005	8	4986	58270
Buenos Aires	18	26	40	0	57	16214	27522	913	0	1083	45732
Camutanga	9	45	10	0	18	3931	33517	67	0	251	37765
Carpina	10	21	13	3	21	26081	256533	7017	21	1910	291562
Chã de Alegria	31	26	35	0	10	20698	27234	1123	0	78	49133
Condado	25	15	8	45	17	16924	25614	292	45	451	43325
Ferreiros	8	16	10	4	3	5572	24694	261	13	63	30604
Glória do Goitá	10	46	10	9	22	14253	101824	935	9	703	117724
Goiana	15	44	13	9	11	40618	423035	5436	87	1775	470952
Itaquitinga	8	26	38	0	87	6866	28087	1112	0	2005	38071
Lagoa do Itaenga	10	25	9	14	10	16375	67858	327	41	154	84755
Lagoa do Carro	27	11	36	0	47	15528	14818	761	0	936	32044
Macaparana	10	28	13	12	7	16837	70851	1163	62	269	89182
Nazaré da Mata	9	31	10	8	27	16344	164544	2220	87	2007	185201
Paudalho	11	18	10	9	12	18273	82050	1705	73	775	102877
Timbaúba	7	28	57	7	28	23917	188959	16225	151	2030	231282
Tracunhaém	30	50	10	3	11	18547	74225	281	10	358	93420
Vicência	7	16	38	23	290	1295	37530	2145	23	11900	52893
Abreu e Lima	13	123	55	8	27	75259	1881193	28511	255	1773	1986991
Araçoiaba	24	30	8	36	11	10923	34837	199	73	172	46203
Cabo de Santo Agostinho	8	41	120	9982	1237	32477	1384543	83420	1976394	379797	3856631

Municípios e RD's	D_RS	D_RNS	D_C	D_I	D_G	DT_RS	DT_RNS	DT_C	DT_I	DT_G	DT
Camaragibe	19	58	26	47	51	87489	1732354	29666	3025	7725	1860257
Fernando de Noronha	3	39	15	0	5	3	31584	1371	0	244	33202
Igarassu	2	3	10	100	8	5996	56614	6867	4092	1212	74781
Ipojuca	3	5	14	27	30	5859	45693	6964	630	3833	62979
Itamaracá	30	38	10	42	16	8789	361721	2066	679	896	374152
Itapissuma	7	48	40	8	54	8275	172361	5317	24	3421	189399
Jaboatão dos Guararapes	7	23	60	18	70	54473	1966872	198412	4158	18992	2242906
Moreno	9	70	12	10	27	29094	642513	3695	139	3104	678545
Olinda	6	44	106	34	18	39909	4001156	369818	6836	7201	4424920
Paulista	10	52	35	16	109	65120	3532699	82263	1613	28095	3709790
Recife	6	21	70	120	658	175889	7908752	1937431	22975	1203124	11248171
São Lourenço da Mata	15	31	15	50	8	50226	497534	8140	1786	790	558475

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE E (parte 2): variáveis de decisão do modelo multiobjetivo (ponto D)

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Belém de São Francisco	1.92	7.44	37.16	65.04	72.59	4.23	7.80	40.71	70.10	74.40
Floresta	6.15	6.37	135.28	212.28	104.17	8.46	6.73	138.83	217.34	105.98
Itacuruba	7.37	12.76	38.89	79.33	225.90	9.68	13.12	42.44	84.39	227.71
Jatobá	5.21	8.78	4.92	71.35	227.66	7.52	9.14	4.97	76.41	229.47
Petrolândia	2.18	3.95	37.46	85.78	4.73	4.49	4.31	41.01	90.84	4.78
Tacaratu	3.65	9.25	6.73	9.57	129.37	5.96	9.61	10.28	14.63	131.18
Afrânio	3.30	12.54	10.06	4.52	254.26	5.52	12.90	13.61	9.58	256.07
Cabrobó	8.40	24.99	38.81	6.67	178.78	10.71	25.35	42.36	11.73	180.59
Dormentes	5.26	12.21	36.10	4.40	61.13	7.57	12.57	39.65	9.46	62.94
Lagoa Grande	5.67	5.09	36.84	48.92	74.80	7.98	5.45	40.39	53.98	76.61
Orocó	2.85	10.79	47.81	4.40	351.80	5.16	11.15	51.36	9.46	353.61
Petrolina	4.95	1.39	3.23	82.21	5.29	7.26	1.44	3.28	87.27	5.34
Santa Maria da Boa Vista	5.64	6.04	33.22	21.44	162.60	7.95	6.40	36.77	26.50	164.41
Araripina	6.29	5.10	6.71	316.29	65.79	8.60	5.46	10.26	321.35	67.60
Bodocó	3.34	9.21	35.54	537.05	61.50	5.65	9.57	39.09	542.11	63.31
Exu	3.68	7.69	47.41	157.40	234.25	5.99	8.05	50.96	162.46	236.06
Granito	1.78	7.99	19.83	4.40	119.91	4.09	8.35	23.38	9.46	121.72
Ipubi	5.35	6.82	79.24	50.33	89.54	7.66	7.18	82.79	55.39	91.35
Moreilândia	1.20	11.10	6.47	4.40	247.16	3.51	11.46	10.02	9.46	248.97
Ouricuri	9.24	14.49	7.02	35.38	52.26	11.55	14.85	10.57	40.44	54.07
Santa Cruz	5.43	11.94	37.49	4.40	59.82	7.74	12.30	41.04	9.46	61.63
Santa Filomena	2.28	16.42	38.06	4.40	49.81	4.59	16.78	41.61	9.46	51.62
Trindade	5.02	2.07	36.39	58.96	50.09	7.33	2.43	39.94	64.02	51.90
Cedro	2.51	13.36	7.51	4.40	13.12	4.82	13.72	11.06	9.46	14.93
Mirandiba	5.42	3.75	35.79	4.40	149.04	7.73	4.11	39.34	9.46	153.50
Parnamirim	3.50	10.24	41.78	142.33	61.92	5.81	10.60	45.33	147.39	63.73
Salgueiro	10.47	21.26	14.66	408.08	52.55	12.78	21.63	14.71	413.14	54.36
São José do Belmonte	3.18	4.03	35.10	4.40	162.68	5.49	4.39	38.65	9.46	164.49

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Serrita	1.83	11.92	7.81	4.53	160.00	4.14	12.28	11.36	9.59	165.47
Terra Nova	2.74	10.58	7.75	45.37	6.06	5.05	10.94	11.30	50.43	6.11
Verdejante	5.27	8.67	8.23	6.04	58.78	7.58	9.03	11.78	11.10	60.59
Afogados da Ingazeira	10.31	20.48	29.29	57.51	20.75	12.16	20.84	32.84	62.57	20.80
Brejinho	2.00	13.23	24.28	4.40	126.40	4.31	13.59	27.83	9.46	128.21
Calumbi	5.92	6.90	37.29	4.40	10.24	8.23	7.26	40.84	9.46	12.05
Carnaíba	12.12	49.61	11.08	37.17	139.73	14.43	49.97	14.63	42.23	141.54
Flores	3.25	7.11	44.55	78.92	217.52	5.56	7.47	48.10	83.98	219.33
Iguaraci	6.23	4.96	25.09	4.40	133.45	8.54	5.32	28.64	9.46	135.26
Ingazeira	7.15	17.57	7.27	45.77	63.17	9.46	17.93	10.82	50.83	64.98
Itapetim	2.56	4.79	7.67	7.83	124.99	4.87	5.15	11.22	12.89	126.80
Quixaba	3.42	5.79	4.20	4.40	9.56	5.73	6.15	7.75	9.46	11.37
Santa Terezinha	6.72	8.89	5.88	4.40	8.20	9.03	9.25	9.43	9.46	10.01
São José do Egito	2.21	3.67	25.94	38.17	61.56	4.52	4.03	29.49	43.23	63.37
Serra Talhada	5.53	7.49	29.26	40.97	214.69	7.84	7.85	32.81	46.03	216.50
Solidão	1.60	4.82	3.75	4.40	7.08	3.91	5.18	7.30	9.46	7.13
Tabira	1.78	2.37	27.23	34.00	54.20	4.09	2.73	30.78	39.06	56.01
Triunfo	2.57	11.06	5.90	4.40	266.51	4.88	11.42	9.45	9.46	268.32
Tuparetama	6.89	4.13	35.28	1.49	115.70	9.20	4.49	38.83	6.35	117.51
Arcoverde	8.78	21.83	23.05	46.65	128.78	11.09	22.19	26.60	51.71	130.59
Betânia	5.78	6.52	4.44	4.40	37.38	8.09	6.88	7.99	9.46	39.19
Custódia	4.99	3.73	8.38	274.64	44.29	7.30	4.09	11.93	279.70	46.10
Ibimirim	6.45	6.56	47.28	8.00	10.21	8.76	6.92	50.83	13.06	12.02
Manari	6.53	17.13	23.99	4.40	34.11	8.84	17.49	27.54	9.46	35.92
Sertânia	2.88	5.47	31.51	35.62	40.26	5.19	5.83	35.06	40.68	42.07
Águas Belas	1.95	4.43	31.59	5.37	79.23	4.26	4.79	35.14	10.43	81.04
Angelim	1.88	12.94	29.02	72.75	45.88	4.19	13.30	32.57	77.81	47.69
Bom Conselho	3.18	6.30	25.31	14.83	62.01	5.49	6.66	28.86	19.89	63.82
Brejão	5.63	15.14	4.45	4.40	40.46	7.94	15.50	8.00	9.46	42.27

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Buíque	4.15	10.83	28.64	6.94	127.64	6.46	11.19	32.19	12.00	129.45
Caetés	7.52	16.58	25.74	4.40	10.21	9.83	16.94	29.29	9.46	12.02
Calçado	5.86	4.01	7.50	47.46	36.36	8.17	4.37	11.05	52.52	38.17
Canhotinho	6.56	3.96	8.12	412.72	61.46	8.87	4.32	11.67	417.78	63.27
Capoeiras	5.43	7.49	7.97	22.51	40.83	7.74	7.85	11.52	27.57	42.64
Correntes	6.81	10.82	6.66	39.69	284.04	9.12	11.18	10.21	44.75	285.85
Garanhuns	6.81	6.96	18.29	2.98	87.15	9.12	7.32	21.84	4.58	88.96
Itaíba	6.37	5.07	15.34	6.58	60.91	8.68	5.43	18.89	11.64	62.72
Jucati	2.85	12.91	7.21	9.54	39.78	5.16	13.27	10.76	14.60	41.59
Jupi	2.07	15.42	6.76	8.54	10.72	4.38	15.78	10.31	13.60	12.53
Jurema	6.59	4.54	6.09	4.40	50.88	8.90	4.90	9.64	9.46	52.69
Lagoa do Ouro	1.90	7.12	34.78	4.40	81.90	4.21	7.48	38.33	9.46	83.71
Lajedo	7.11	7.75	30.53	39.37	86.06	9.42	8.11	34.08	44.43	87.87
Palmeirina	5.26	12.87	7.08	8.20	139.06	7.57	14.23	10.63	13.26	143.76
Paranatama	2.29	12.19	6.35	4.40	13.49	4.60	12.55	9.90	9.46	15.30
Pedra	6.32	13.47	22.42	313.32	42.85	8.63	13.83	25.97	318.38	44.66
Saloá	1.59	12.78	7.81	4.40	147.02	3.90	13.14	11.36	9.46	148.83
São João	6.67	10.11	35.42	71.67	109.99	8.98	10.47	38.97	76.73	111.80
Terezinha	1.71	14.60	4.31	45.33	51.89	4.02	14.96	7.86	50.39	53.70
Tupanatinga	3.84	12.83	32.73	4.40	46.81	6.15	13.19	36.28	9.46	48.62
Venturosa	2.54	6.71	4.52	37.00	39.29	4.85	7.07	8.07	42.06	41.10
Agrestina	2.12	3.87	25.99	253.53	58.78	4.43	4.23	29.54	258.59	60.59
Alagoinha	1.93	3.72	21.28	4.52	7.98	4.24	4.08	24.83	9.58	9.79
Altinho	2.55	7.42	29.66	6.59	57.44	4.86	7.78	33.21	11.65	59.25
Barra de Guabiraba	3.27	7.89	5.74	44.28	250.28	5.58	8.25	9.29	49.34	252.09
Belo Jardim	4.17	5.99	17.58	18.66	231.86	6.48	6.35	21.36	23.72	233.67
Bezerros	3.93	5.00	32.41	18.06	140.24	6.16	5.36	35.96	23.12	142.05
Bonito	5.90	6.32	27.39	1.40	70.05	8.21	6.68	30.94	6.29	71.86
Brejo da Madre de Deus	2.83	3.50	47.87	8.95	47.00	5.14	3.86	51.42	14.01	48.81

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Cachoeirinha	5.36	5.58	39.53	4.52	217.35	7.67	5.94	43.08	9.58	219.16
Camocim de São Félix	6.37	9.77	25.08	55.73	78.69	8.68	10.13	28.63	60.79	80.50
Caruaru	7.26	10.19	10.22	9.64	54.87	9.57	10.55	10.27	9.69	56.68
Cupira	6.86	5.68	30.49	36.90	109.38	9.17	6.04	34.04	41.96	111.19
Gravatá	5.39	7.08	20.32	68.74	142.62	7.70	7.44	23.87	73.80	144.43
Ibirajuba	2.30	7.75	22.01	4.40	38.87	4.61	8.11	25.56	9.46	40.68
Jataúba	5.72	8.17	25.65	4.40	90.47	8.03	8.53	29.20	9.46	92.28
Lagoa dos Gatos	6.14	9.91	28.98	41.76	102.91	8.45	10.27	32.53	46.82	104.72
Panelas	5.83	7.50	34.50	50.15	62.86	8.14	7.86	38.05	55.21	64.67
Pesqueira	5.16	3.94	29.73	38.73	52.03	7.47	4.30	33.28	43.79	53.84
Poção	8.27	120.87	9.74	53.76	48.42	10.58	121.23	13.29	58.82	50.23
Riacho das Almas	5.51	6.37	31.74	1,971.95	10.67	7.82	6.74	35.29	1,977.07	12.48
Sairé	1.69	6.82	27.60	8.18	87.65	4.00	7.18	31.15	13.24	89.46
Sanharó	5.89	7.22	34.11	170.43	59.96	8.20	7.58	37.66	175.49	61.77
São Bento do Una	1.90	4.01	10.79	44.12	164.72	4.21	4.37	14.34	49.18	166.53
São Caitano	4.33	5.19	19.86	49.78	228.96	6.64	5.55	23.41	54.84	230.77
São Joaquim do Monte	2.34	4.23	26.08	4.40	60.66	4.65	4.59	29.63	9.46	62.47
Tacaimbó	5.52	10.74	15.70	143.50	63.11	7.83	11.10	19.25	148.56	64.92
Bom Jardim	5.54	7.73	25.28	45.30	116.56	7.85	8.09	28.83	50.36	118.37
Casinhas	7.72	5.29	44.08	4.40	64.13	10.03	5.65	47.63	9.46	65.94
Cumaru	2.15	28.24	38.71	4.40	94.81	4.46	28.60	42.26	9.46	96.62
Feira Nova	6.86	11.53	34.49	4.40	61.94	9.17	11.89	38.04	9.46	63.75
Frei Miguelinho	1.92	8.29	38.08	4.40	61.37	4.23	8.65	41.63	9.46	63.18
João Alfredo	2.23	3.51	9.35	17.15	15.81	4.54	3.87	12.90	22.21	17.62
Limoeiro	3.54	5.64	6.43	37.16	54.04	5.85	6.00	9.98	42.22	55.85
Machados	5.93	4.01	7.78	4.40	10.79	8.24	4.37	11.33	9.46	12.60
Orobó	2.32	12.59	34.81	21.02	63.33	4.63	12.95	38.36	26.08	65.14
Passira	1.73	2.48	31.35	41.07	133.11	4.04	2.84	34.90	46.13	134.92
Salgadinho	1.87	11.98	43.83	4.52	73.78	4.18	12.34	47.38	9.58	75.59

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Santa Cruz do Capibaribe	1.36	4.06	18.59	6.02	11.48	3.67	4.42	22.14	6.07	13.29
Santa Maria do Cambucá	6.27	14.65	33.37	4.40	225.13	8.58	15.01	36.92	9.46	226.94
São Vicente Ferrer	2.98	13.82	28.72	39.03	128.54	5.29	14.18	32.27	44.09	130.35
Surubim	7.30	9.69	6.43	109.74	194.23	9.61	10.05	9.98	114.80	196.04
Taquaritinga do Norte	7.12	13.62	22.52	4.40	52.67	9.43	13.98	26.07	9.46	54.48
Toritama	1.99	2.48	30.88	47.99	130.28	4.30	2.84	34.43	53.05	132.09
Vertente do Lério	2.14	11.08	4.93	4.40	63.40	4.45	11.44	8.48	9.46	65.21
Vertentes	6.30	2.63	6.95	45.36	11.56	8.61	2.99	10.50	50.42	13.37
Barreiros	18.65	6.68	7.15	37.19	66.99	20.96	7.04	10.70	42.25	68.80
Belém de Maria	7.09	13.19	25.56	4.40	54.59	9.40	13.55	29.11	9.46	56.40
Chã Grande	4.85	3.84	33.97	64.61	197.81	7.16	4.20	37.52	69.67	199.62
Escada	3.39	8.14	31.13	17.29	96.63	5.70	8.50	34.68	22.35	98.44
Joaquim Nabuco	2.96	6.94	33.58	4.40	80.02	5.27	7.30	37.13	9.46	81.83
Maraial	1.80	4.21	29.09	4.40	6.60	4.11	4.57	32.64	9.46	6.65
Pombos	3.07	6.33	17.87	1,048.62	82.51	5.38	6.69	21.42	1,053.68	84.32
Primavera	6.86	14.98	32.04	4.40	63.37	9.17	15.34	35.59	9.46	65.18
Quipapá	6.38	7.86	8.25	4.40	155.70	8.69	8.22	11.80	9.46	157.51
Ribeirão	6.25	1.86	27.86	41.50	6.20	8.56	1.91	31.41	46.56	6.25
Rio Formoso	5.60	11.96	33.48	23.42	71.29	7.91	12.24	37.03	28.48	73.10
São Benedito do Sul	1.52	3.95	22.22	10.23	58.80	3.83	4.31	25.77	15.29	60.61
São José da Coroa Grande	1.97	4.64	34.07	9.00	12.29	4.28	5.00	37.62	14.06	14.10
Sirinhaém	6.12	10.83	34.77	432.93	84.92	8.43	11.19	38.32	437.99	86.73
Tamandaré	3.59	5.66	13.38	99.84	143.30	5.90	6.02	16.93	104.90	145.11
Vitória de Santo Antão	10.05	12.46	19.01	60.95	52.57	12.36	12.81	22.56	66.01	55.55
Aliança	6.10	10.90	36.62	45.17	7.83	8.41	11.26	40.17	50.23	9.65
Buenos Aires	3.37	8.13	5.79	4.40	13.45	5.68	8.49	9.34	9.46	15.26
Camutanga	5.81	5.06	40.58	4.40	82.72	8.12	5.42	44.13	9.46	84.53
Carpina	4.68	8.77	25.29	614.35	66.46	6.99	9.13	28.84	619.41	68.27
Chã de Alegria	1.82	7.41	8.45	4.40	48.16	4.13	7.77	12.00	9.46	49.97

Municípios e RD's	P_RS_fr0	P_RNS_fr0	P_C_fo0	P_I_fo0	P_G_fo0	P_RS_fr1	P_RNS_fr1	P_C_fo1	P_I_fo1	P_G_fo1
Condado	2.14	10.85	31.65	21.08	62.21	4.45	11.21	35.20	26.14	64.02
Ferreiros	6.59	12.10	38.59	1,083.27	285.04	8.90	12.46	42.14	1,088.35	286.85
Glória do Goitá	5.82	4.70	21.20	51.37	69.17	8.13	5.33	24.75	56.43	70.98
Goiana	3.51	5.11	26.02	38.94	115.11	5.82	5.47	29.57	44.00	116.92
Itaquitinga	5.65	7.22	7.70	4.40	9.06	7.96	7.58	11.25	9.46	10.46
Lagoa do Itaenga	5.14	7.27	32.22	57.26	214.58	7.45	7.63	35.77	62.32	216.39
Lagoa do Carro	2.03	11.93	4.88	4.40	19.68	4.34	12.29	8.43	9.46	21.49
Macaparana	4.87	7.83	25.96	89.43	355.00	7.18	8.19	29.51	94.49	356.81
Nazaré da Mata	5.57	6.46	30.13	33.54	65.56	7.88	6.82	33.68	38.60	67.37
Paudalho	4.11	9.18	31.44	43.62	82.89	6.42	9.54	34.99	48.68	84.70
Timbaúba	7.72	7.81	13.49	187.33	68.81	10.09	8.17	17.04	192.39	70.62
Tracunhaém	1.91	3.61	38.38	57.78	46.23	4.22	3.97	41.93	62.84	48.04
Vicência	5.71	10.13	9.04	4.40	8.20	8.02	10.49	12.59	9.46	8.25
Abreu e Lima	3.55	1.59	6.07	35.40	62.94	6.24	1.64	9.62	40.46	64.76
Araçoiaba	2.33	5.05	31.09	5.45	89.57	4.64	5.41	34.64	10.51	91.38
Cabo de Santo Agostinho	6.20	5.48	14.84	5.09	5.02	8.51	5.84	34.44	5.14	5.07
Camaragibe	3.73	4.23	16.07	16.02	47.50	6.04	4.59	19.62	21.08	49.31
Fernando de Noronha	0.60	12.60	143.07	4.40	225.60	2.91	12.96	146.62	9.46	227.41
Igarassu	14.89	40.52	26.68	6.47	200.57	17.20	40.88	30.23	11.06	202.38
Ipojuca	11.06	31.74	38.00	92.44	63.70	13.37	32.10	41.55	97.50	65.51
Itamaracá	1.86	5.10	29.16	16.13	73.05	4.17	5.46	32.71	21.19	74.86
Itapissuma	6.63	4.01	7.88	46.10	50.05	8.94	4.37	11.43	51.16	51.86
Jaboatão dos Guararapes	7.06	9.79	10.93	122.48	38.73	9.37	10.15	14.48	127.54	40.54
Moreno	4.56	3.04	29.25	133.94	56.26	6.87	3.40	32.80	139.00	58.07
Olinda	9.02	5.26	5.74	46.80	92.21	11.33	5.62	9.29	51.86	94.02
Paulista	5.21	4.34	10.49	53.12	30.44	7.41	4.39	14.04	58.18	32.25
Recife	9.44	10.89	10.08	22.07	10.23	11.75	11.36	506.55	22.12	10.28
São Lourenço da Mata	4.33	6.54	27.47	19.11	246.59	6.64	7.35	31.02	24.17	248.40

Fonte: Elaboração própria.