

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**Avaliação Técnico-Econômica de
Plantas de Gaseificação do Lixo Urbano
para Geração Distribuída de Eletricidade.**

Fábio Codignole Luz

Itajubá, maio de 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA MECÂNICA

Fábio Codignole Luz

Avaliação Técnico-Econômica de
Plantas de Gaseificação do Lixo Urbano
para Geração Distribuída de Eletricidade.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Conversão de Energia

Orientador: Prof. Dr. Electo Silva Lora

Co-orientador: Prof. Dr. Rubenildo Vieira Andrade

Itajubá, maio de 2013

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá
Bibliotecária Jacqueline Rodrigues de Oliveira Balducci- CRB_6/1698

L979a

Luz, Fábio Codignole

Análise e avaliação técnico-econômica de plantas de gaseificação de lixo urbano para geração distribuída de eletricidade /

Fábio Codignole Luz. – Itajubá, (MG) : [s.n.], 2013.

255 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora.

Co-orientador: Prof. Dr. Rubenildo Vieira Andrade.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Valorização. 2. Resíduos domiciliares. 3. Municípios. 4. Energia Elétrica. I. Lora, Electo Eduardo Silva, orient. II. Andrade, Rubenildo Vieira, co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA MECÂNICA

Fábio Codignole Luz

Avaliação Técnico-Econômica de
Plantas de Gaseificação do Lixo Urbano
para Geração Distribuída de Eletricidade.

Dissertação aprovada por banca examinadora em 14 de Maio de 2013, conferindo ao autor o título de *Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica*.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Valdir Schalch - USP

Prof. Dra. Regina Mambeli Barros –
IRN/UNIFEI

Prof. Dr. Rubenildo Vieira Andrade –
IEM/UNIFEI

Prof. Dr. Electo Silva Lora – IEM/UNIFEI

Itajubá

2013

Dedico aos meus pais

Darcy Begale da Luz

Conceição Aparecida Codignole Luz.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora pela competência, dedicação, paciência e confiança.

Ao meu co-orientador Dr. Rubenildo Vieira Andrade.

A professora Dr. Lara Cristina Silva pelo apoio e companheirismo durante o desenvolvimento de todo trabalho.

Ao Dr. José Carlos Escobar pela ajuda com programas de simulação.

Aos meus amigos e parceiros MSc. Mateus Rocha, Christina Sales e Marcio Leme pelo apoio e auxílio em momentos críticos.

A todos os colegas e funcionários do Instituto de Engenharia Mecânica da UNIFEI.

À CAPES, através do Programa de bolsas, pelo apoio financeiro.

À CEMIG, através do apoio ao projeto de P&D de uma planta piloto de gaseificação de RSU.

“Eu prefiro ser essa metamorfose ambulante,
do que ter aquela mesma opinião formada sobre tudo”

Raul Seixas.

RESUMO

É crescente a demanda energética para sustentar o desenvolvimento do Brasil, que já é a 6ª potência econômica mundial de acordo com o FMI em 2012. As hidroelétricas são a principal fonte de energia do país, mas a crescente demanda induz a busca por fontes alternativas. Em 2010, a população Brasileira (> 190 milhões de habitantes) segundo IBGE despejou diretamente no solo, sem qualquer tratamento, cerca de 63 mil ton.RSU/dia. O RSU despejado deste modo causa danos ambientais por meio da produção de gases como CH₄ e CO₂, poluindo o ar, e por meio da infiltração do chorume, e contaminação por meio dos metais pesados, micro-organismos, poluindo a água subterrânea e superficial e o solo. Unindo a necessidade de gerar energia elétrica e de reduzir o impacto ambiental do gerenciamento do RSU, a gaseificação apresenta-se como uma possível solução.

O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade econômica da instalação de uma usina de gaseificação de RSU para geração de energia elétrica por município brasileiro.

A tecnologia utilizada foi a gaseificação. Os municípios brasileiros foram classificados por faixas populacionais. Este parâmetro foi a base para o cálculo da geração de RSU e do projeto da usina com equipamentos disponíveis no mercado brasileiro. Foram avaliadas variáveis de custo (equipamentos e instalação, operação, manutenção e juros do financiamento dos equipamentos) e variáveis de rendimentos (energia elétrica, quantidade de materiais recicláveis, taxa de tratamento do lixo e créditos de carbono). Foi realizada uma análise para cada grupo populacional combinando 3 diferentes cenários econômicos com taxas anuais de juros de 10,58% para o cenário 1, 7,5% para o cenário 2 e de 15% para o cenário 3. A viabilidade econômica foi definida pelo cálculo da VPL (valor presente líquido) e da TIR (taxa interna de retorno).

O VPL foi positivo para os municípios com mais de 60.714 habitantes para o cenário 1, 34.203 para o cenário 2 e de 259.845 habitantes para o cenário 3. Uma usina de gaseificação com capacidade para 60.714 habitantes pode gerar 905 kW/ton. e reduzir a massa de 74 ton. de RSU/dia para o cenário 1, 794 kW/ton. e reduzir a massa de 54 ton. de RSU/dia para o cenário 2 e 1.065 kW/ton. e reduzir a massa de 317 ton. de RSU/dia no cenário 3.

A viabilidade econômica aumenta com a instalação de usinas maiores, sendo que quanto maior a capacidade da usina instalada, menores os custos e maiores os lucros.

Quanto mais populoso o município maior a viabilidade econômica da instalação de uma usina de gaseificação.

Palavras chave: Valorização, Resíduos Domiciliares, Municípios, Energia Elétrica.

ABSTRACT

Growing energy demand is to sustain the development of Brazil, which is already the 6th world Power. The hydroelectric stations are the main source of energy in the country, but the increasing demand leads to search for alternative sources. In 2010, the Brazilian population (> 190 million inhabitants) dumped directly into the soil, without any treatment, approximately 63 thousand ton RSU/day. The MSW dumped in this way cause environmental damage through the production of gases such as CH₄ and CO₂, polluting the air, and through the manure, heavy metals, microorganisms, polluting water and soil. Uniting the need to generate electricity and reduce the environmental impact of the RSU, gasification emerges as a possible solution.

The aim of this study was to analyze the economic feasibility of installing a MSW gasification plant for generation of electric power by municipality.

The technology used was gasification. The Brazilian municipalities were ranked by population groups. This parameter was the basis for the calculation of the MSW generation and power plant project with equipment available in the Brazilian market. Cost variables (equipment's and installation, operation, maintenance and interest financing) and income variables (electric energy, recyclable, waste treatment rate and carbon credits) were evaluated. An economic analysis was conducted for each population group using a annual interest rate 10.58% for scenario 1, 7.5% for scenario 2 and 15% for scenario 3. Economic viability was set by calculating the NPV (net present value) and the IRR (internal rate of return).

NPV was positive for municipalities with more than 60,714 inhabitants (scenario 1), 34,203 inhabitants (scenario 2) and 259,845 inhabitants (scenario 3).

A gasification plant with a capacity of 60,714 inhabitants can generate 905 kW / ton and reduce the mass of 74 tons of MSW / day for scenario 1, 794 kW / ton and reduce the mass of 54 tons of MSW / day for scenario 2 and 1,065 kW / ton and reduce the mass of MSW 317 ton / day in scenario 3.

Economic viability increases with the installation of larger plants, reducing costs and increasing profits. Soon, the most populated municipalities has increased the economic viability of installing a gasification plant.

Palavras chave: Valorization, Solid Waste, Municipalities, Eletric Power.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Crescimento no consumo de energia elétrica ao longo do período e o crescimento acumulado elaborado a partir de EPE 2013.....	25
Figura 1.2: Comparação do Índice de Desenvolvimento Humano em relação ao consumo de energia per capita. Adaptado de (PASTERNAK, 2000).	26
Figura 1.3: Índice de desenvolvimento humano comparado com a geração per capita de resíduos sólidos urbanos elaborado a partir de Hoornweg; Bhada-Tata e Relatório de Desenvolvimento Humano, 2012.	27
Figura 1.4: Destinação final do RSU conforme técnica empregada para tratamento (Elaborado a partir do PNSB 2008)	28
Figura 1.5: Produção total de RSU por ano e geração per capita de RSU no Brasil (Elaborado a partir de IBGE, 2011).	29
Figura 1.6: Quantidade de RSU coletados em 2008 no Brasil e nos EUA. (Adaptado de IBGE, 2010 e EPA, 2009).	30
Figura 1.7: Destinação dos RSU no Brasil nos anos 2009 e 2010 (Abrelpe, 2010).....	30
Figura 1.8: Quantidade diária de RSU e sua destinação (Elaborado a partir de IBGE, 2010). ..	31
Figura 1.9: Destinação dos RSU em alguns países (DOE, 2010).....	31
Figura 1.10: Percentual de municípios quanto ao manejo de seu RSU (Elaborado a partir de IBGE, 2010).	32
Figura 1.11: Custos com a coleta de RSU por habitante por ano, e demais serviços de limpeza urbana (ABRELPE, 2010).	33
Figura 1.12: Variação do conteúdo de metano na atmosfera (Alvim et al., 2006).....	34
Figura 1.13: PCI máximo e mínimo de alguns combustíveis(ECN, 2007).	42
Figura 1.14: PCS máximo e mínimo de alguns combustíveis (ECN, 2007).	43
Figura 1.15: Quantidade de plantas tecnológicas para aproveitamento energético dos RSU, em diversos países (Industcards, 2012).	46
Figura 1.16: Aproveitamento do RSU para a geração de energia, gases, combustíveis e outros produtos químicos (YONG, 2010).	49
Figura 1.17: Composição média dos RDF (VOUNATSOS, ATSONIOS <i>et al.</i> , 2012).....	52
Figura 1.18: Fluxograma do processo de gaseificação.....	55
Figura 1.19: Principais etapas da gaseificação (KNOEF, 2002).	56
Figura 1.20: Típico processo de gaseificação(BASU, 2010).	57

Figura 1.21: Processo de conversão dos RSU em eletricidade através da gaseificação (YONG, 2010).....	59
Figura 1.22: Reações químicas do processo de gaseificação(MORRIS e WALDHEIM, 1998).	62
Figura 1.23: Desenho esquemático de uma gaseificador co-corrente e injeção de agente gaseificante. Adaptado de (OLOFSSON, NORDIN <i>et al.</i> , 2005).....	63
Figura 1.24: Relação entre o poder calorífico do gás e a umidade de entrada do combustível.	66
Figura 1.25: Eficiência na conversão térmica, elétrica e global em diferentes de conversão térmica de RSU (GENON, DURANTE <i>et al.</i> , 2010).....	68
Figura 1.26: Desenho esquemático do sistema de recebimento e triagem dos RSU.....	71
Figura 1.27: Desenho esquemático do sistema de trituração e secagem.....	73
Figura 1.28: Sistema para limpeza do gás de síntese.....	76
Figura 1.29: Sistema de gaseificação de RSU acoplada a um motor de combustão interna e gerador elétrico.....	78
Figura 1.30: Eficiência elétrica dos motor-geradores, adaptado de acordo com (SCHIMITZ e KOCH, 1996).	85
Figura 4.1: Percentual equivalente de município em relação ao total de municípios brasileiros para cada faixa populacional.....	93
Figura 4.2: Fluxograma para o tratamento do RSU por gaseificação.....	94
Figura 4.3: Disponibilidade média de RSU e Potência Instalada.....	95
Figura 4.4: Fator de utilização da usina.....	96
Figura 4.5: Relação do Fator de Utilização com a Eficiência Global.....	97
Figura 4.6: Tendência de acréscimo na geração de RSU no Brasil a partir dos dados disponíveis até 2011 da ABRELPE.....	97
Figura 4.7: Produção elétrica líquida e bruta conforme potência instalada.....	98
Figura 4.8: População atendida com a energia elétrica produzida a partir do RSU.....	99
Figura 4.9: Custos de implantação da potência instalada.....	100
Figura 4.10: Custos com juros de financiamento para implantação da usina.....	101
Figura 4.11: Custos de investimento e operação para cada grupo populacional.....	101
Figura 4.12: Percentual específico dos custos para implantação de uma usina de gaseificação do RSU.....	102

Figura 4.13: Custo específico de implantação por tonelada de uma usina de gaseificação para o RSU.	103
Figura 4.14: Custo específico de implantação por habitante de uma usina de gaseificação para RSU.	104
Figura 4.15: Rendimentos obtidos da comercialização dos subprodutos e a quantidade de RSU tratado por ano.	105
Figura 4.16: Percentual específico equivalente das receitas de comercialização dos subprodutos.	105
Figura 4.17: VPL para os cenários 1, 2 e 3 e os diferentes grupos populacionais.	106
Figura 4.18: TIR para os cenários 1, 2 e 3 e os diferentes grupos populacionais.	107
Figura 4.19: Período em que as usinas passam a apresentar fluxo de caixa positivo.	108
Figura 4.20: Taxa mínima para tratamento do RSU para que o VPL seja maior que zero (>0)	109
Figura 4.21: Taxa mínima para tratamento do RSU para que a TIR seja maior que 12 % (>12%)	110
Figura 4.22: Análise econômica cenário 1	111
Figura 4.23: Análise econômica cenário 2	112
Figura 4.24: Análise econômica cenário 3	113
Figura 4.25: Fluxo de processo para o processo de gaseificação do RSU para geração de eletricidade.	114
Figura 4.26: Fluxo de processo de uma usina de tratamento do RSU com produção de energia elétrica.	116
Figura 4.27: Layout de uma usina de tratamento do RSU para geração de energia elétrica. .	118
Figura 4.28: Geração de emprego direto para cada grupo populacional.	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Composição gravimétrica do RSU brasileiro e de diferentes países.....	35
Tabela 1.2:Variação da composição gravimétrica do RSU conforme grau de desenvolvimento do país (INTOSAI, 2002; COINTREAU, 2006).....	38
Tabela 1.3: Análise elementar e valores de poder calorífico dos RSU e do carvão betuminoso (YONG, 2010).....	40
Tabela1.4:Composição Elementar e PCS de Alguns Combustíveis que compõe o RSU (SANNER, ORTUGLIO <i>et al.</i> , 1970; HAMADA, 1997; CHANG e DAVILA, 2008; PHILIPPE e CULOT, 2009).....	41
Tabela 1.5: Poder calorífico de cada resíduo que compõe o RSU (YONG, 2010).	43
Tabela 1.6: Umidade de alguns materiais (BASU, 2010).	44
Tabela 1.7: Classificação das rotas tecnológicas para aproveitamento energético dos RSU (URS CORPORATION, 2005b).	45
Tabela 1.8: Comparação entre os tipos de RDF.	51
Tabela 1.9: Composição do RDF(WAGLAND, KILGALLON <i>et al.</i> , 2011).....	52
Tabela 1.10: Métodos de separação mecânica e seleção de fluxos (BAPTISTA, 2010).	54
Tabela 1.11: Reações homogêneas e heterogêneas que ocorrem durante a gaseificação (Arena, 2012).....	61
Tabela 1.12: Eficiência média de trabalho de um gaseificador co-corrente trabalhando com diferentes tipos de biomassa (BALU e CHUNG, 2012)	65
Tabela 1.13: Comparação entre as tecnologias de tratamento de RSU(STEFANIS, 2007).....	67
Tabela 1.14: Eficiência na produção de energia de acordo com o sistema de geração (DEFRA, 2007).....	68
Tabela 1.15: Eficiências para diferentes tipos de energia proveniente de RSU (GENON, DURANTE <i>et al.</i> , 2010).....	69
Tabela 1.16: Custos e capacidade dos equipamentos(cotações realizadas em set.- out./2012)	87
Tabela 1.17 Incremento percentual para estimativa de custo (adaptado de (PETERS e TIMMERHAUS, 1991)).....	88
Tabela 4.1: Classificação dos municípios brasileiros e geração diária de RSU	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE: Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública

B.A: Benefício Anual

BNDES: Banco Nacional do Desenvolvimento

C.M.E: Custo de Manutenção de Equipamento

C.M.O.I: Custo de Manutenção Operação e Instalação

C.M.O: Custo de Mão de Obra

C.M: Custo de Manutenção

C.O: Custo de Operacional

C.P: Capacidade Processada

C: Carbono

CCEE: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CC^G: Crédito de Carbono da Gaseificação

CC^T: Créditos de Carbono de Transferência

CE: Consumo Energético

CEMPRE: Compromisso Empresarial para Reciclagem

Daf: Cinzas Secas Livre de Umidade

E.T: Encargo Trabalhista

El.U: Eficiência Líquida da Usina

Ets: Eficiência Total do Sistema

F.U: Fator de Utilização

GD: Geração Diária

GEE: Gases de Efeito Estufa

H.T: Horas Trabalhadas

H: Hidrogênio

IBAM: Instituto Brasileiro de Administração Pública

KW: kilo Watts

KWe: Kilo Watts Elétrico

MW: Mega Watts

N.T: Número de Trabalhadores

N: Nitrogênio

O&M: Operação e Manutenção

O: Oxigênio

PCI: Poder Calorífico Inferior [MJ/kg]
Pe.B: Potência Especifica Bruta [kWe/ton.lixo.umido]
Pe.L: Potência Especifica Líquida [kWe/ton.lixo.seco]
PT: Potência Térmica
Q.P: Quantidade Processada
R.O: Resultado Operacional
RCE: Redução certificada de Emissão
RDF: Resíduo Derivado de Combustível
RSU: Resíduo Sólido Urbano
S: Enxofre
SAL: Salário Mínimo
TIR: Taxa Interna de Retorno
TJLP: Taxa de Juro à Longo Prazo
V.L.S.T: Vazão de Lixo Seco Tratado
V.L.U.T: Vazão de Lixo Úmido Tratado
VPL: Valor Presente Líquido
W: Umidade

SUMÁRIO

RESUMO	IX
ABSTRACT	X
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XIV
SUMÁRIO	XVII
1 INTRODUÇÃO	22
1.1 Objetivo principal	24
1.2 Objetivos específicos	24
2 REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1 Resíduos Sólidos Urbanos - RSU	25
2.1.1 O Cenário no Brasil e no mundo	25
2.1.2 Fontes Geradoras	35
2.1.3 Composição Gravimétrica	35
2.1.4 Caracterização Energética	38
2.1.5 Composição elementar.....	39
2.1.6 Poder calorífico.....	41
2.1.7 Umidade.....	43
2.1.8 Aproveitamento Energético	44
2.1.9 Produção de Combustível Derivado de Resíduos (RDF).....	49
2.2 A gaseificação	54
2.2.1 Tipos de Gaseificadores.....	62
2.2.2 Gaseificador de Leito Fixo Co-corrente (Downdraft)	63
2.3 Gaseificação de Resíduos Sólidos Urbanos	65
2.3.1 Recebimento e triagem do RSU	69
2.3.2 Secagem, trituração e compactação.....	72
2.3.3 Armazenagem do material combustível tratado	74
2.3.4 Unidade de gaseificação	74
2.3.5 Sistema de limpeza e tratamento do gás combustível gerado.....	74
2.3.6 Unidade moto-geradora	77

2.3.7 Localização da Usina.....	79
2.4 Análise Econômica.....	80
2.4.1 Análise econômico-financeira	80
3 METODOLOGIA.....	81
3.1 Projeto.....	81
3.1.1 Fluxo de processo.	82
3.1.2 Layout.....	82
3.2 Memorial de cálculos	82
3.2.1 Classificação dos municípios brasileiros	82
3.2.2 Geração diária de RSU por faixa populacional	82
3.2.3 Separação do material reciclável	83
3.2.4 Equação para a conversão da massa do RSU úmido em seco	83
3.2.5 Tipos de gaseificadores.....	83
3.2.6 Energia térmica disponível no RSU	84
3.2.7 Eficiência dos equipamentos do sistema de conversão do RSU em energia elétrica.....	85
3.2.8 P.I, Pe.B e Pe.L.....	85
3.2.9 Eficiência da Usina (Eficiência Líquida).....	86
3.2.10 Créditos de Carbono	86
3.2.11 Custo de Investimentos.....	87
3.2.12 Custos de Operação e de Manutenção (O&M).....	88
3.2.13 Fator de Utilização.....	89
3.2.14 Análise Econômica	90
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
4.1 Classificação dos municípios brasileiros.....	92
4.2 Geração diária de RSU, recicláveis e energia disponível.	93
4.3 Custos de Capital	99
4.4 Receitas	104
4.5 Análise dos Cenários Econômicos	106
4.5.1 Cenário (1).....	110
4.5.2 Cenário (2).....	111
4.5.3 Cenário (3).....	112
4.6 Layout e Fluxo de Processo.....	113
4.7 Aspectos socioambientais	119

5 CONCLUSÕES.....	120
REFERÊNCIAS	121
APÊNDICE A – ANÁLISE DA VPL E TIR PARA O CENÁRIO 1 PARA TODOS OS GRUPOS POPULACIONAIS AVALIADOS	127
ANÁLISE DO GRUPO A	127
ANÁLISE DO GRUPO B	129
ANÁLISE DO GRUPO C	131
ANÁLISE DO GRUPO D	133
ANÁLISE DO GRUPO E	135
ANÁLISE DO GRUPO F	137
ANÁLISE DO GRUPO G.....	139
ANÁLISE DO GRUPO H.....	143
ANÁLISE DO GRUPO I	145
ANÁLISE DO GRUPO J.....	147
ANÁLISE DO GRUPO K.....	149
ANÁLISE DO GRUPO L	151
ANÁLISE DO GRUPO M	153
ANÁLISE DO GRUPO N	155
ANÁLISE DO GRUPO O.....	157
APÊNDICE B – ANÁLISE DA VPL E TIR PARA O CENÁRIO 2 PARA TODOS OS GRUPOS POPULACIONAIS AVALIADOS.....	159
ANÁLISE DO GRUPO A	159
ANÁLISE DO GRUPO B	161
ANÁLISE DO GRUPO C	163
ANÁLISE DO GRUPO D	165
ANÁLISE DO GRUPO E	168
ANÁLISE DO GRUPO F	171
ANÁLISE DO GRUPO G.....	174

ANÁLISE DO GRUPO H	177
ANÁLISE DO GRUPO I	180
ANÁLISE DO GRUPO J	183
ANÁLISE DO GRUPO K	186
ANÁLISE DO GRUPO L	189
ANÁLISE DO GRUPO M	192
ANÁLISE DO GRUPO N	195
ANÁLISE DO GRUPO O	198
APÊNDICE C – ANÁLISE DA VPL E TIR PARA O CENÁRIO 3 PARA TODOS OS GRUPOS POPULACIONAIS AVALIADOS	201
ANÁLISE DO GRUPO A	201
ANÁLISE DO GRUPO B	203
ANÁLISE DO GRUPO C	205
ANÁLISE DO GRUPO D	207
ANÁLISE DO GRUPO E	209
ANÁLISE DO GRUPO F	212
ANÁLISE DO GRUPO G	215
ANÁLISE DO GRUPO H	218
ANÁLISE DO GRUPO I	221
ANÁLISE DO GRUPO J	224
ANÁLISE DO GRUPO K	227
ANÁLISE DO GRUPO L	230
ANÁLISE DO GRUPO M	233
ANÁLISE DO GRUPO N	236
ANÁLISE DO GRUPO O	239
APÊNDICE D – BALANÇOS DE MASSAS DOS GRUPOS ANALISADOS	242
BALANÇO DE MASSA GRUPO A	242
BALANÇO DE MASSA GRUPO B	243

BALANÇO DE MASSA GRUPO C	244
BALANÇO DE MASSA GRUPO D	245
BALANÇO DE MASSA GRUPO E	246
BALANÇO DE MASSA GRUPO F	247
BALANÇO DE MASSA GRUPO G	248
BALANÇO DE MASSA GRUPO H	249
BALANÇO DE MASSA GRUPO I.....	250
BALANÇO DE MASSA GRUPO J	251
BALANÇO DE MASSA GRUPO K	252
BALANÇO DE MASSA GRUPO L	253
BALANÇO DE MASSA GRUPO M	254
BALANÇO DE MASSA GRUPO N	255
BALANÇO DE MASSA GRUPO O	256

1 INTRODUÇÃO

Resíduo sólido urbano (RSU), popularmente conhecido como lixo, é todo rejeito doméstico gerado diariamente, como restos de alimentos, sacolas plásticas, frascos, papéis em geral, roupas, restos de podas, restos de feiras como: frutas, legumes, verduras em geral, e outros materiais orgânicos e não orgânicos. O RSU não inclui resíduos hospitalares, industriais, perigosos ou radioativos (ABNT, 2004).

O gerenciamento do RSU é um problema mundial. O aumento da população, o consumo e o desenvolvimento tecnológico contribuem para uma crescente geração de RSU. Este aumento tem efeitos negativos no meio ambiente e na saúde da população.

Ainda é muito comum o despejo de RSU diretamente no solo, sem qualquer tratamento. O lixão é uma forma inadequada de disposição final de resíduo sólido, caracterizado pela descarga direta no solo sem nenhum preparo adequado da área como impermeabilização e cobertura, assim colocando em risco o meio ambiente e saúde pública (ABNT, 2004).

O RSU despejado deste modo causa danos ambientais ao ar por meio de gases como o metano da água e o solo por meio do chorume, metais pesados e microorganismos.

O gás metano chega a ser 21 vezes mais agressivo para o aquecimento global que o CO₂, contribuindo para o agravamento do efeito estufa (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2008).

A técnica de disposição de RSU no solo que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou à intervalos menores se for necessário, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais é definido como aterro sanitário (ABNT, 1992).

A alternativa do aterro sanitário por meio das emissões fugitivas e a queima do biogás gera gases de efeito estufa como CH₄ e CO₂. As grandes áreas ocupadas pelos aterros sanitários e sua circunvizinhança ficam inutilizadas sem que possa utilizar para outros fins.

A incineração convencional tem sido usada para tratar o RSU utilizando-o como fonte de combustível, mas emitindo grandes quantidades de gases tóxicos. O processo de incineração libera gases como dioxinas, furanos, particulados e precursores da chuva ácida

(NO_x, SO_x), sendo altos os custos para purificação destas emissões (HEBERLEIN e MURPHY, 2008).

Outros processos térmicos têm sido explorados para o tratamento do RSU. Estes processos reduzem o grande volume do RSU a subprodutos ambientalmente corretos e com grande potencial para produção de eletricidade. As tecnologias de gaseificação e combustão transformam esses rejeitos em uma mistura de gases combustíveis e calor. No Brasil, mais de 200.000 ton de RSU são gerados diariamente. Grande parte (42%) é lançada diretamente no solo sem qualquer tipo de tratamento (ABRELPE, 2010). Esta situação tende a mudar se for cumprida a lei 12.305/2010 que exige que todos os municípios brasileiros devam dar um destino mais adequado ao RSU até 2014. Os 58% de RSU destinado corretamente são lançados em aterros sanitários, sendo que em poucos o biogás é aproveitado energeticamente como é feito em alguns aterros sanitários.

O aproveitamento de recicláveis nem sempre ocorre antes da disposição nos aterros, assim deixando de aproveitar quase 20% de todo volume de RSU gerado para reciclagem.

O uso do RSU para produção de eletricidade, além de ser uma boa opção para o tratamento de resíduos, tem um papel extremamente importante para a redução do consumo de combustíveis fósseis, como o petróleo, além de contribuir diretamente para os compromissos internacionais de redução das emissões atmosféricas.

Apesar de a gaseificação ser uma tecnologia já conhecida há décadas, a gaseificação de RSU ainda está em seu estágio inicial. Unindo a necessidade de reduzir o impacto ambiental do RSU e de gerar energia elétrica, a gaseificação vem como uma solução eficiente para os municípios brasileiros.

1.1 Objetivo principal

Analisar e avaliar a viabilidade econômica da instalação de usinas de gaseificação de RSU para geração de energia elétrica para diferentes faixas populacionais dos municípios brasileiros para o ano de 2012.

1.2 Objetivos específicos

- ✓ Classificação dos municípios brasileiros por faixas populacionais;
- ✓ Cálculo da geração de RSU e seu potencial energético para gaseificação;
- ✓ Avaliação e especificação do tipo de pré-tratamento do lixo;
- ✓ Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento e conversão energética;
- ✓ Análise de viabilidade econômica financeira;

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Resíduos Sólidos Urbanos - RSU

2.1.1 O Cenário no Brasil e no mundo

O consumo de energia tem apresentado atualmente índices elevados relacionado ao crescimento da população e o desenvolvimento tecnológico do país. A Figura 1.1 apresenta o percentual de crescimento no consumo de energia elétrica para os anos de 2000 a 2012 e o crescimento acumulado.

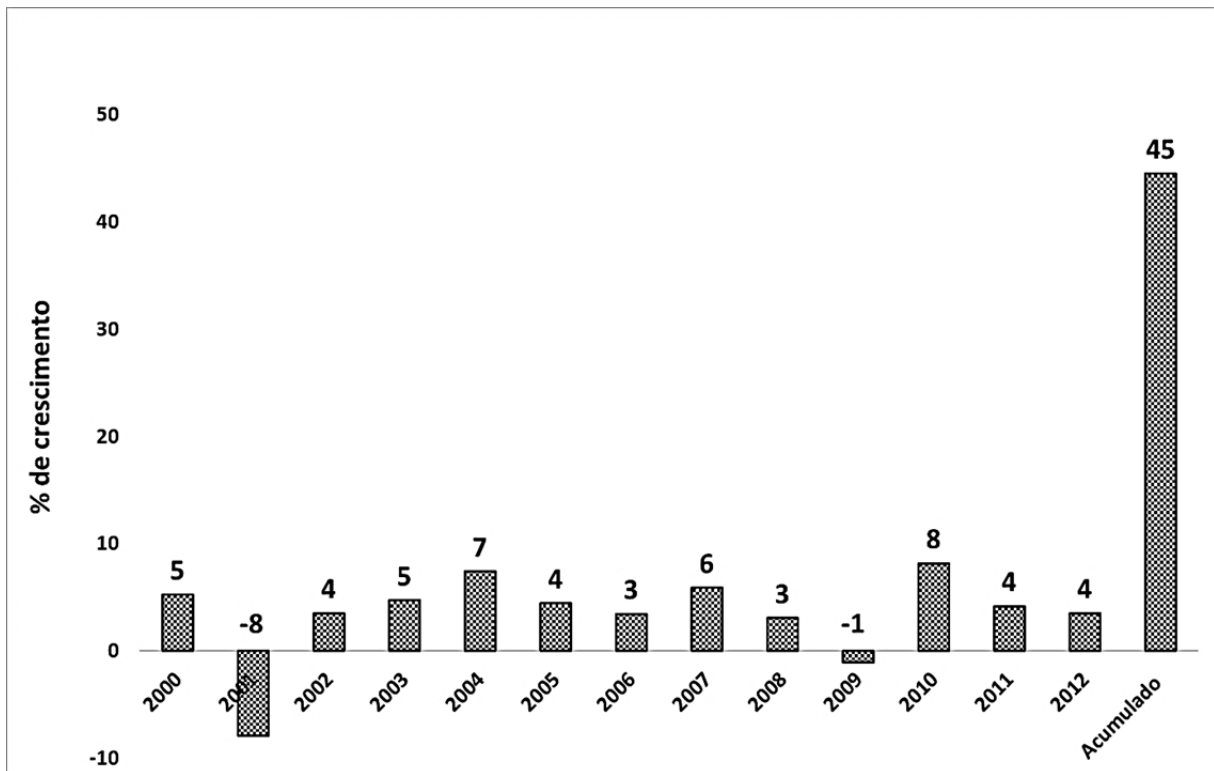


Figura 1.1: Crescimento no consumo de energia elétrica ao longo do período e o crescimento acumulado elaborado a partir de EPE 2013.

A Figura 1.2: mostra o consumo de energia per capita de um país comparado ao seu Índice de Desenvolvimento Humano. Pode observar que nenhum país que consome igual ou inferior a 4.000 kWh anualmente de energia elétrica por pessoa apresenta IDH maior que 0,9.

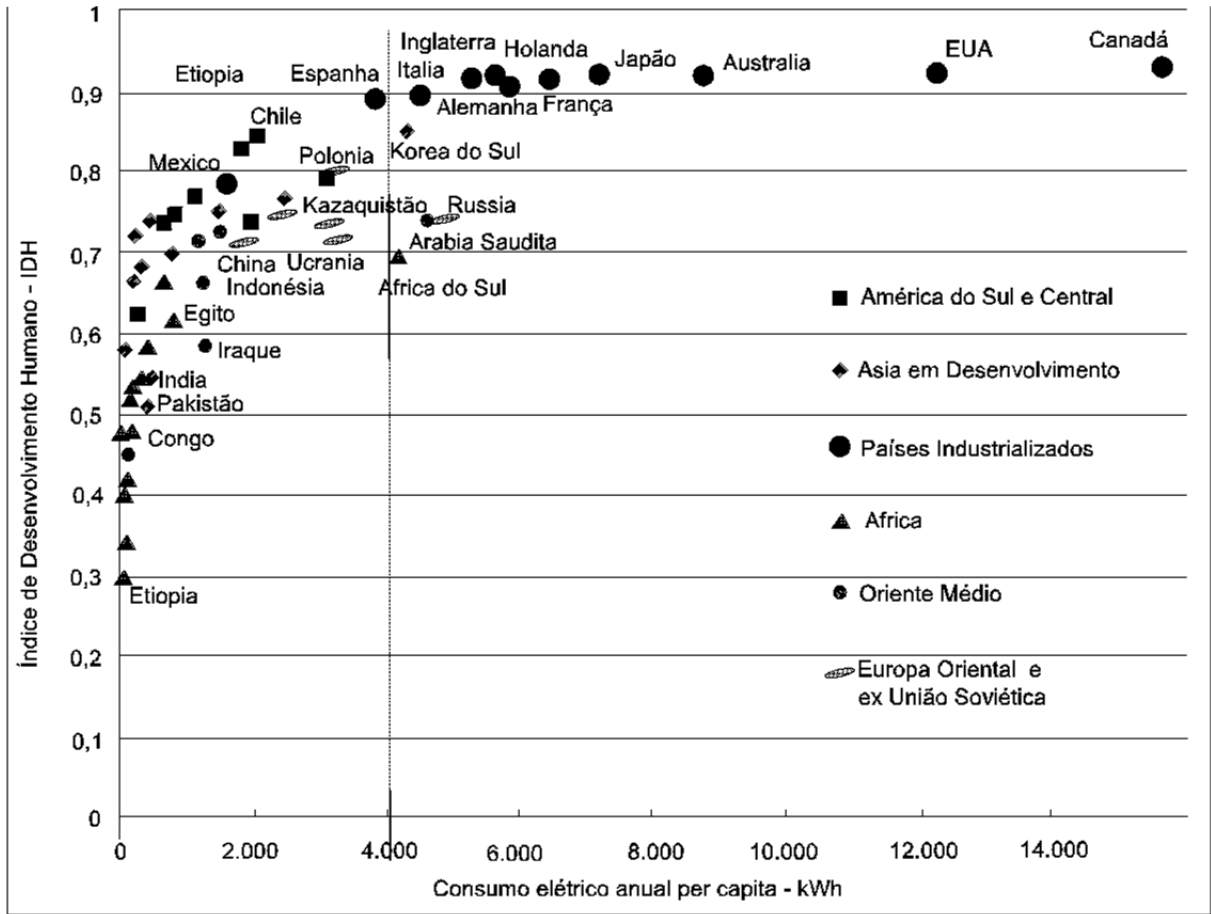


Figura 1.2: Comparação do Índice de Desenvolvimento Humano em relação ao consumo de energia per capita. Adaptado de (PASTERNAK, 2000).

O desenvolvimento tecnológico e o aumento da população resultam na geração de grandes quantidades de RSU. A Figura 1.3 faz uma comparação do IDH de alguns países com a geração de resíduos sólidos urbanos. A Figura 1.3 apresenta os países em baixo desenvolvimento humano, médio desenvolvimento humano, elevado desenvolvimento humano e muito elevado desenvolvimento humano. Observa-se que a geração de resíduos sólidos está diretamente relacionada ao desenvolvimento humano do país, pois quanto maior o IDH maior é sua geração de resíduos sólidos.

Em 2011, a população mundial alcançou 7 bilhões de pessoas e o Brasil ultrapassou os 190 milhões de habitantes chegando a quase 3% de toda população mundial.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), em 2050 a população mundial pode chegar a 9,7 bilhões.

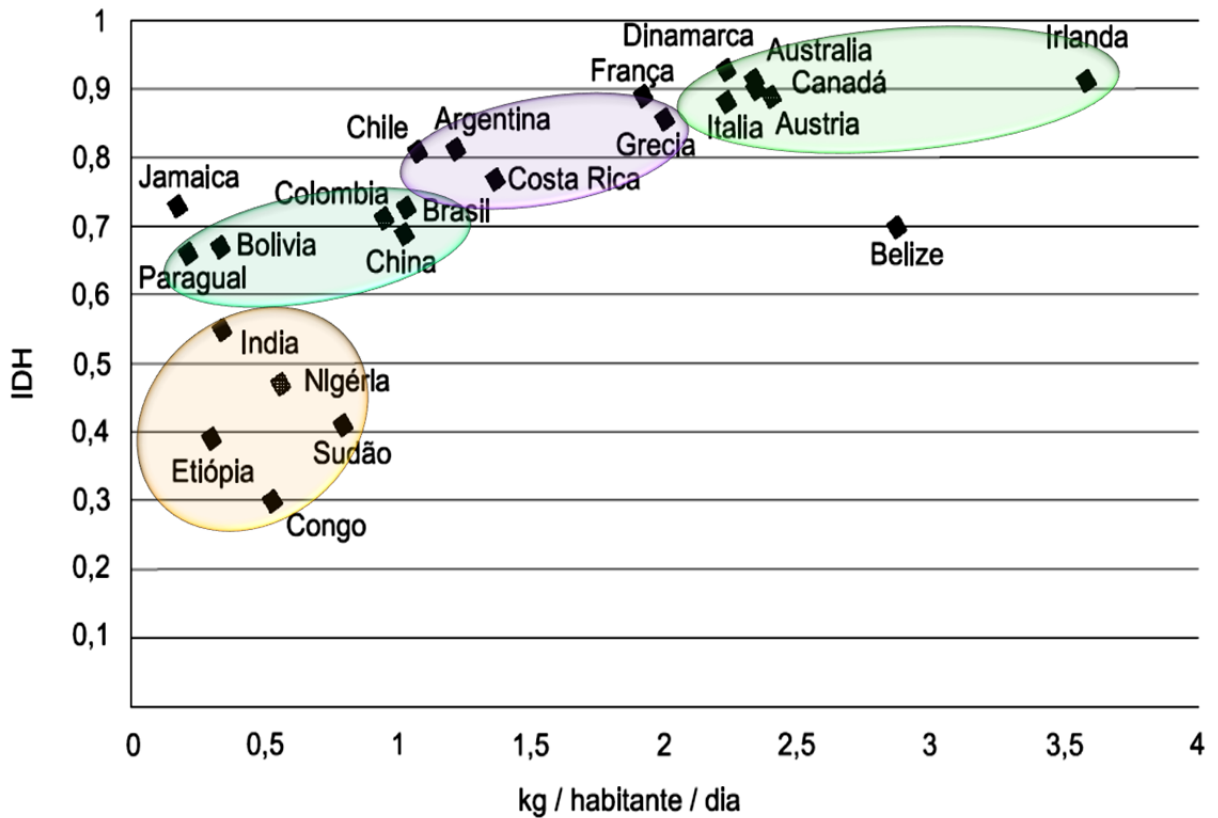


Figura 1.3: Índice de desenvolvimento humano comparado com a geração per capita de resíduos sólidos urbanos elaborado a partir de Hoornweg; Bhada-Tata e Relatório de Desenvolvimento Humano, 2012.

A quantidade de RSU produzida depende de vários fatores, tais como, hábitos e costumes da sociedade, contudo, algumas referências bibliográficas permitem uma estimativa da geração *per capita* com base no número de habitantes (FEAM, 2012).

O gerenciamento dos RSU encontra sérios problemas de gestão, desde o manejo adequado e o acondicionamento por parte da população, passando pela coleta por parte dos órgãos responsáveis, até a correta disposição final. Nos EUA, os municípios produzem a cada ano quantidades crescentes de resíduos sólidos, e no ano de 2006, produziram mais de 228 milhões de toneladas de RSU (GIUSTI, 2009).

Na Comunidade Europeia são geradas mais de 300 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (SANTOS, 2010).

A primeira base de dados nacional sobre limpeza urbana e coleta de RSU foi realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) em 1974. Entre 1980 e 1983 a pesquisa não foi realizada. Em 1989 os dados catalogados foram disponibilizados à população com o nome de Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB). No ano de 2000 o IBGE divulgou uma nova atualização do PNSB, a qual englobava todos os municípios brasileiros,

através da atuação de órgãos públicos e empresas privadas, permitindo uma avaliação sobre a oferta e a qualidade dos serviços prestados (HENRIQUES, 2004).

Em 2008 foi divulgada pelo IBGE uma nova atualização do PNSB, sendo que 100 % dos municípios brasileiros apresentaram serviço de manejo dos resíduos sólidos, o que incluem a coleta e destinação final do lixo e a limpeza pública. Constatou também que houve uma mudança na destinação adequada do RSU, pois aumentou a quantidade destinada aos aterros sanitários diminuindo os vazadouros a céu aberto conforme mostra a Figura 1.4.

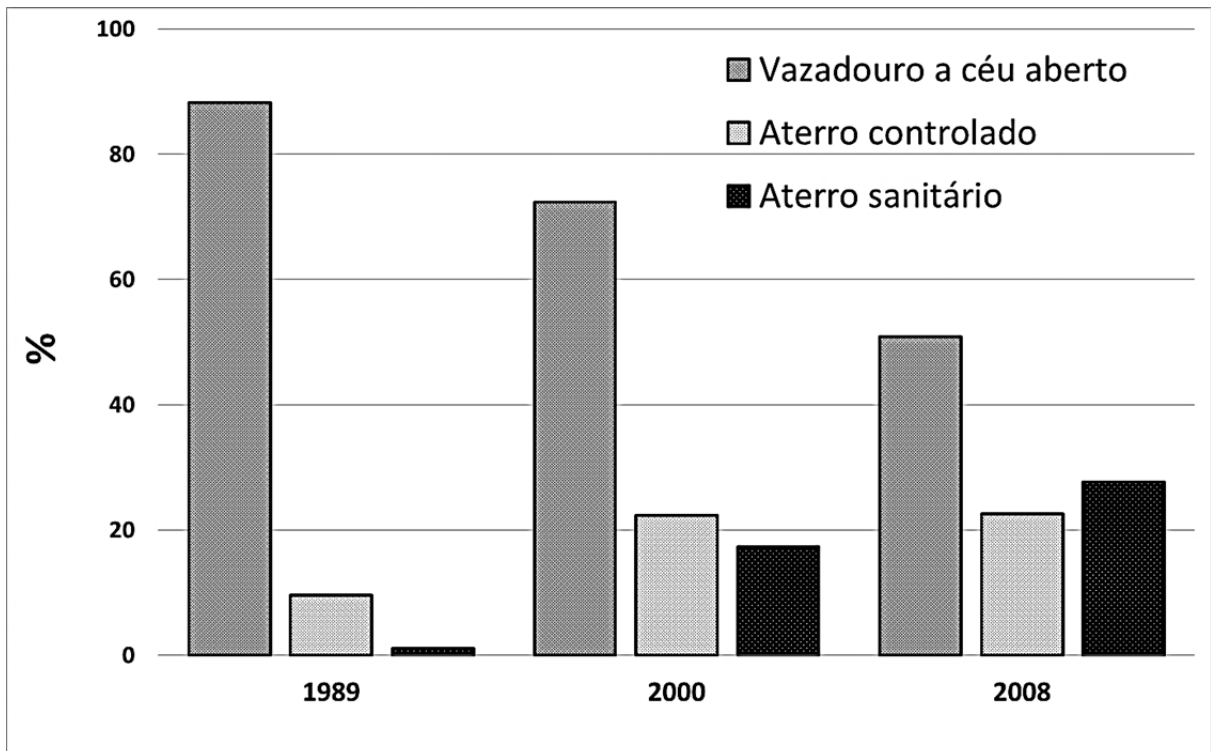


Figura 1.4: Destinação final do RSU conforme técnica empregada para tratamento (Elaborado a partir do PNSB 2008)

Segundo IBGE no ano de 1989, o Brasil gerou em média 96.287 ton. de RSU/dia, no ano de 2000 foram gerados cerca de 125.281 ton. de RSU/dia, e em 2008 gerou-se aproximadamente 186.036 ton. de RSU/dia.

A Figura 1.5 mostra que a geração de RSU no Brasil registrou um crescimento de 23% de 1989 para o ano de 2000, e um incremento de 31% de 2000 para o ano de 2008.

É importante analisar a possibilidade de se agregar valor aos resíduos como, por exemplo, por meio da recuperação energética. Entretanto, o aproveitamento energético do RSU, bem como de todo tipo de biomassa requer uma detalhada caracterização do combustível.

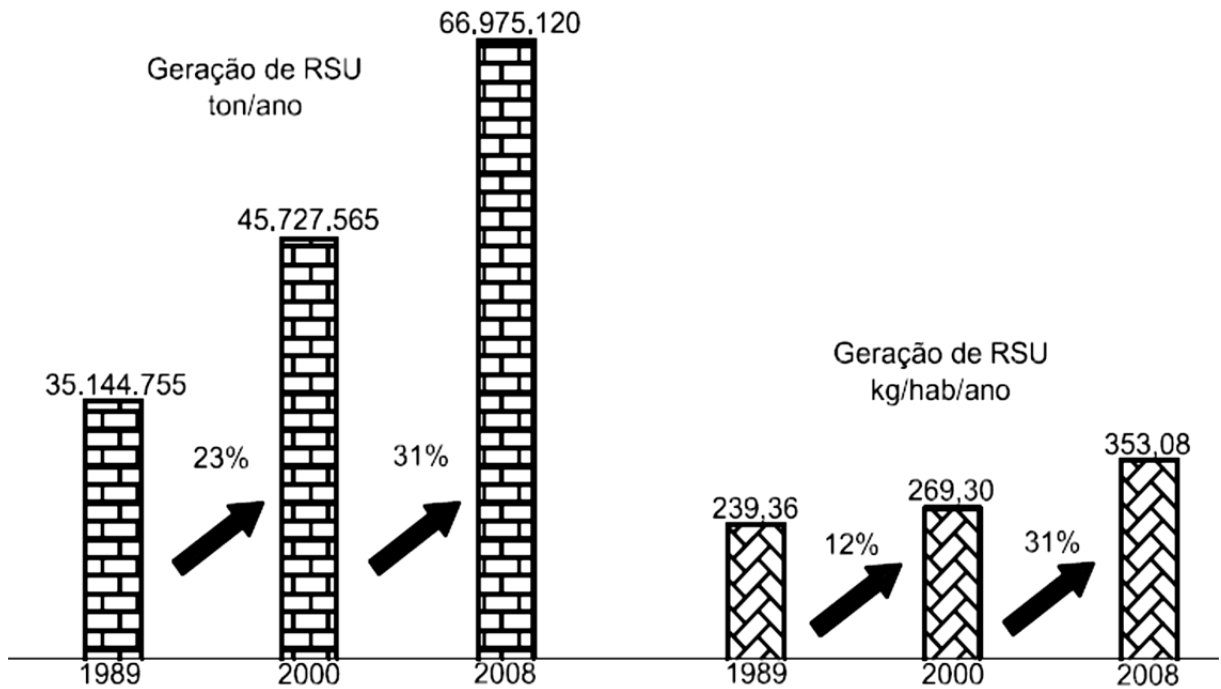


Figura 1.5: Produção total de RSU por ano e geração per capita de RSU no Brasil (Elaborado a partir de IBGE, 2011).

Atualmente a forma adequada de dispor o RSU brasileiro são predominantemente os aterros sanitários. Os aterros sanitários utilizam técnicas de disposição de RSU que reduzem os impactos ao meio ambiente e a população, pois preveem uma infraestrutura adequada para disposição do RSU se comparados aos vazadouros a céu aberto (lixão) e aterros controlados.

A Figura 1.6 apresenta a quantidade de RSU coletados durante o ano de 2008 nos EUA e no Brasil. Observa-se que a geração de RSU brasileira é menos de 1/3 da geração dos EUA.

A disposição de grandes quantidades de RSU exigem grandes áreas para deposição e uma gestão ambiental fortemente atuante.

A Figura 1.7 retrata o volume de RSU destinado adequadamente em 2009 e 2010 nos municípios brasileiros.

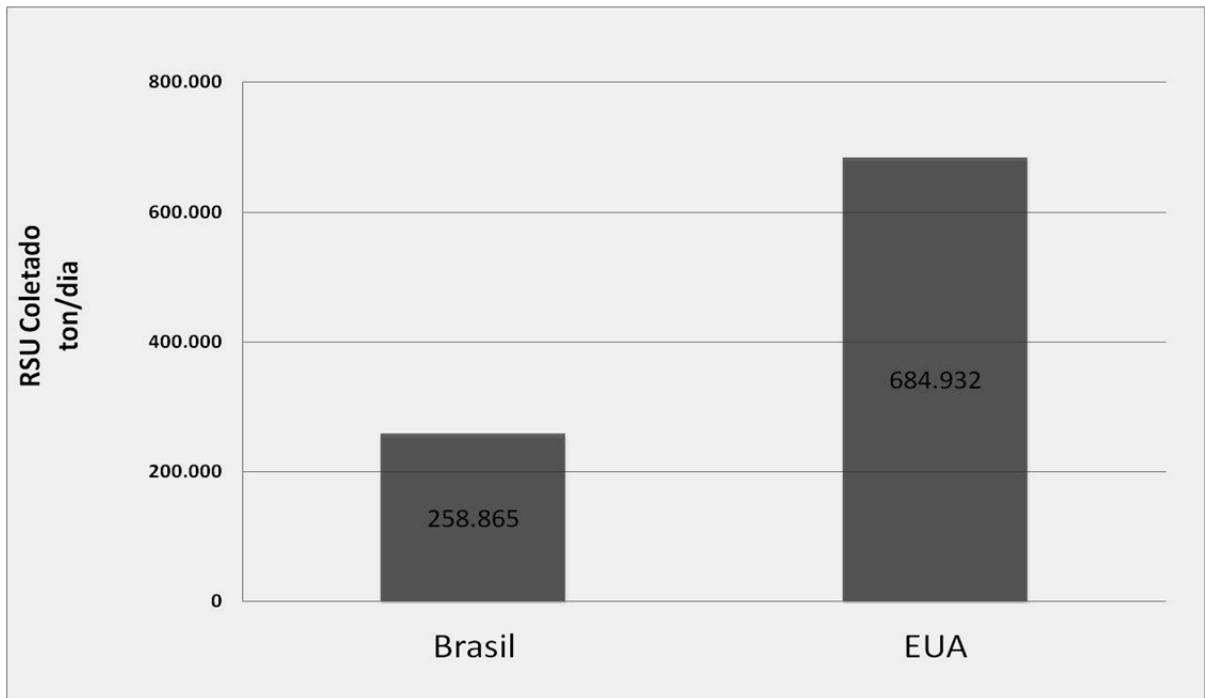


Figura 1.6: Quantidade de RSU coletados em 2008 no Brasil e nos EUA. (Adaptado de IBGE, 2010 e EPA, 2009).

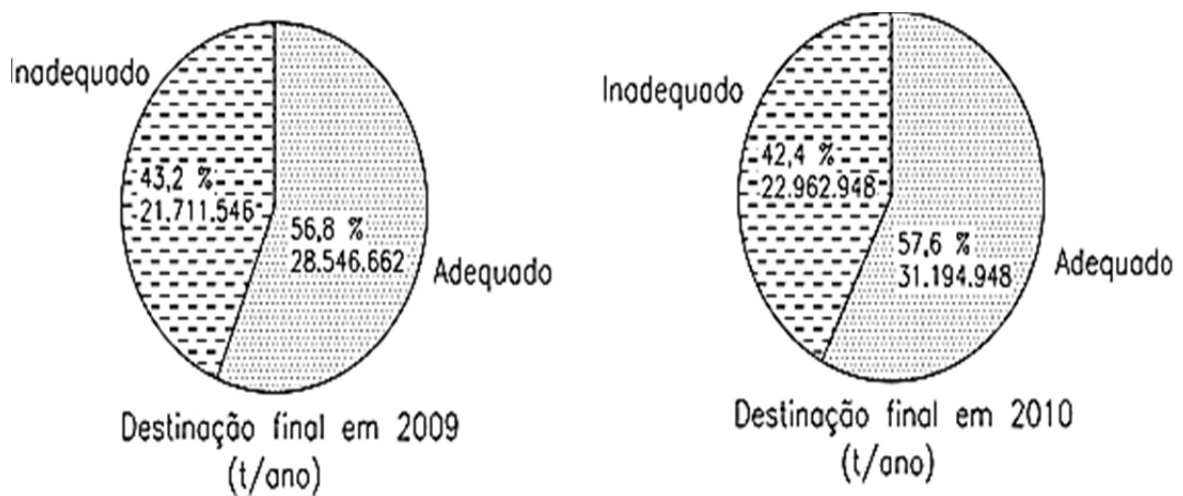


Figura 1.7: Destinação dos RSU no Brasil nos anos 2009 e 2010 (Abrelpe, 2010).

A maioria do RSU gerado no Brasil é destinada ao aterro sanitário seguido pela disposição a vazadouros á céu aberto e aterro controlado como mostrado na Figura 1.8. A Figura 1.9 apresenta a destinação dos resíduos sólidos na Europa, Ásia e EUA.

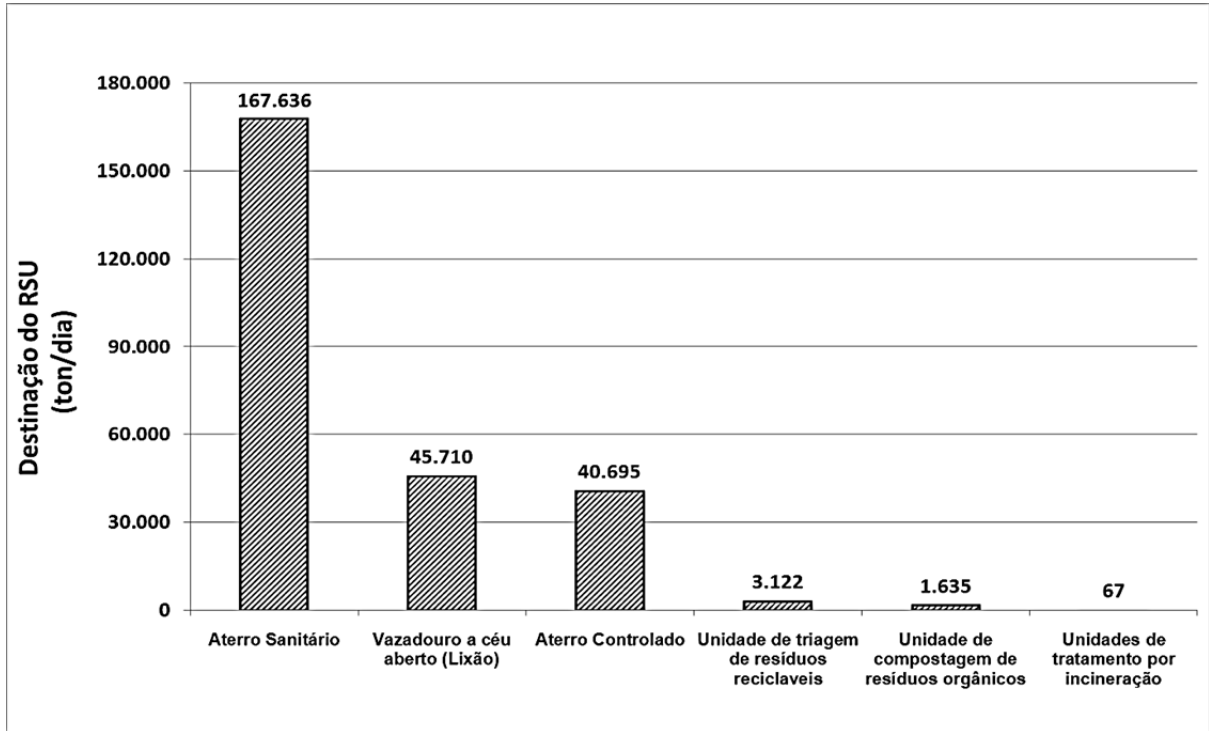


Figura 1.8: Quantidade diária de RSU e sua destinação (Elaborado a partir de IBGE, 2010).

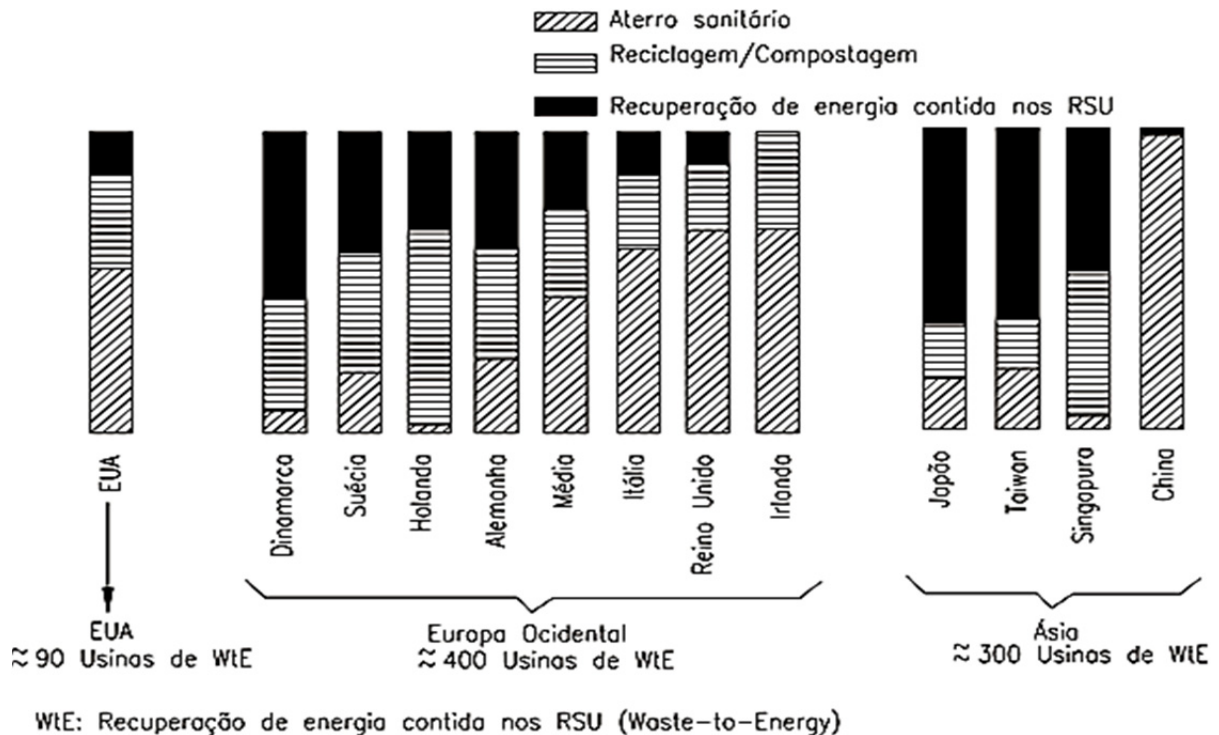


Figura 1.9: Destinação dos RSU em alguns países (DOE, 2010).

De acordo com dados 2010 do IBGE a reciclagem e triagem de resíduos, bem como compostagem e incineração ainda não tem um papel expressivo na destinação dos resíduos. De maneira geral, no Brasil ainda é reduzido o número de municípios estruturados

para coleta seletiva de RSU, sendo que grande parte do RSU coletado são misturados em caminhões compactadores, o que contamina os potencialmente recicláveis e dificulta a triagem, contribuindo para a inviabilidade técnica da reciclagem de alguns materiais (FEAM, 2012).

A Figura 1.10 retrata a situação da destinação do RSU dos municípios brasileiros, na qual é possível observar que apenas 16,82% têm tratamento de resíduos sólidos, 17,86% têm coleta seletiva dos resíduos recicláveis e 82,39% dispõem os resíduos coletados diretamente no solo.

Com base nesses dados, fica claro que o Brasil tem um grande potencial energético disponível, que poderia ser aproveitado, contribuindo tanto com o aumento da oferta de energia, como a preservação do meio ambiente.

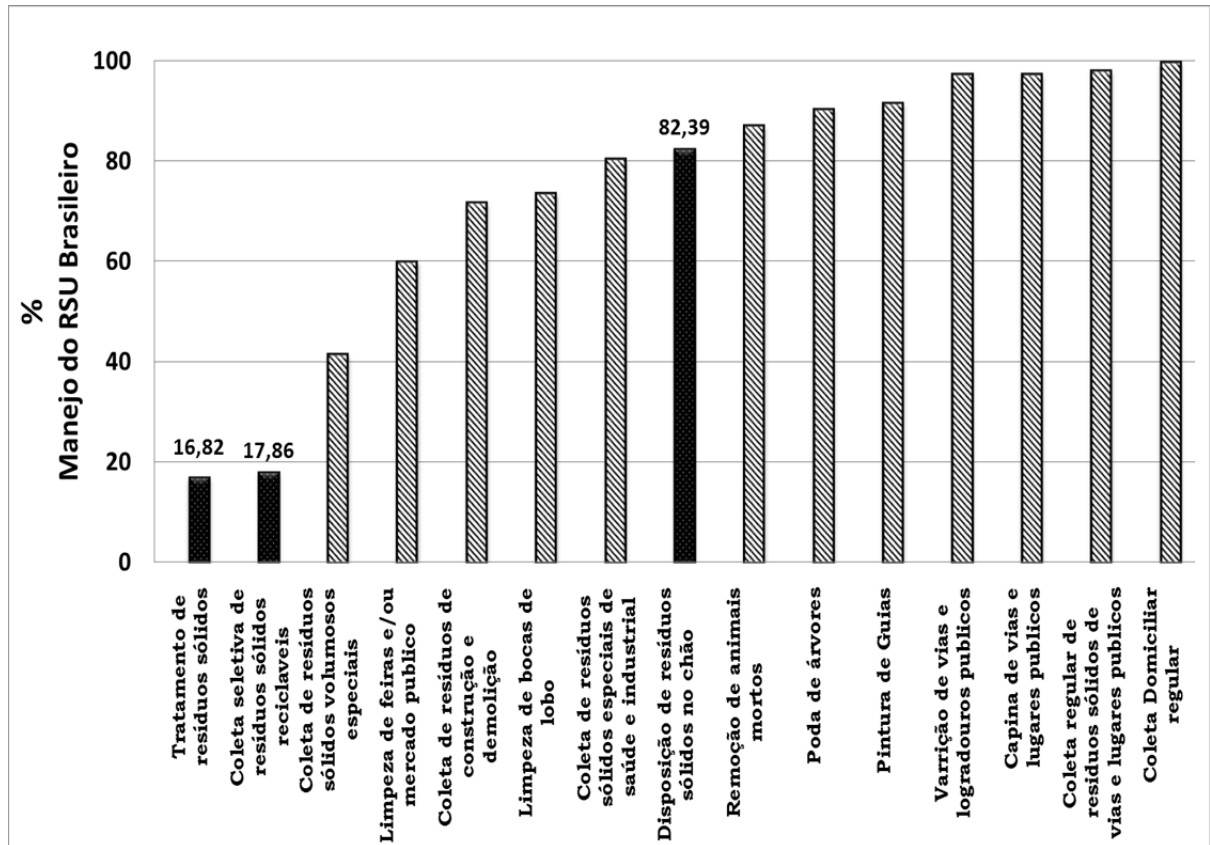


Figura 1.10: Percentual de municípios quanto ao manejo de seu RSU (Elaborado a partir de IBGE, 2010).

A Figura 1.11 mostra os gastos com a coleta do RSU por habitante e os demais serviços de limpeza urbana, que contemplam as limpezas de córregos e rios, podas de árvores no município e as capinas de ruas e vias.

Os valores médios para disposição de RSU em aterros sanitários variam de R\$ 20,00/t (administrados por prefeituras) a R\$ 80,00/t (aterros operados pela iniciativa privada), em geral, inferiores aos praticados por outras tecnologias de tratamento, o que pode inviabilizar a instalação de novas tecnologias, além de dificultar a remuneração do investimento e a cobertura dos custos de operação e manutenção dessas instalações (FEAM, 2012).

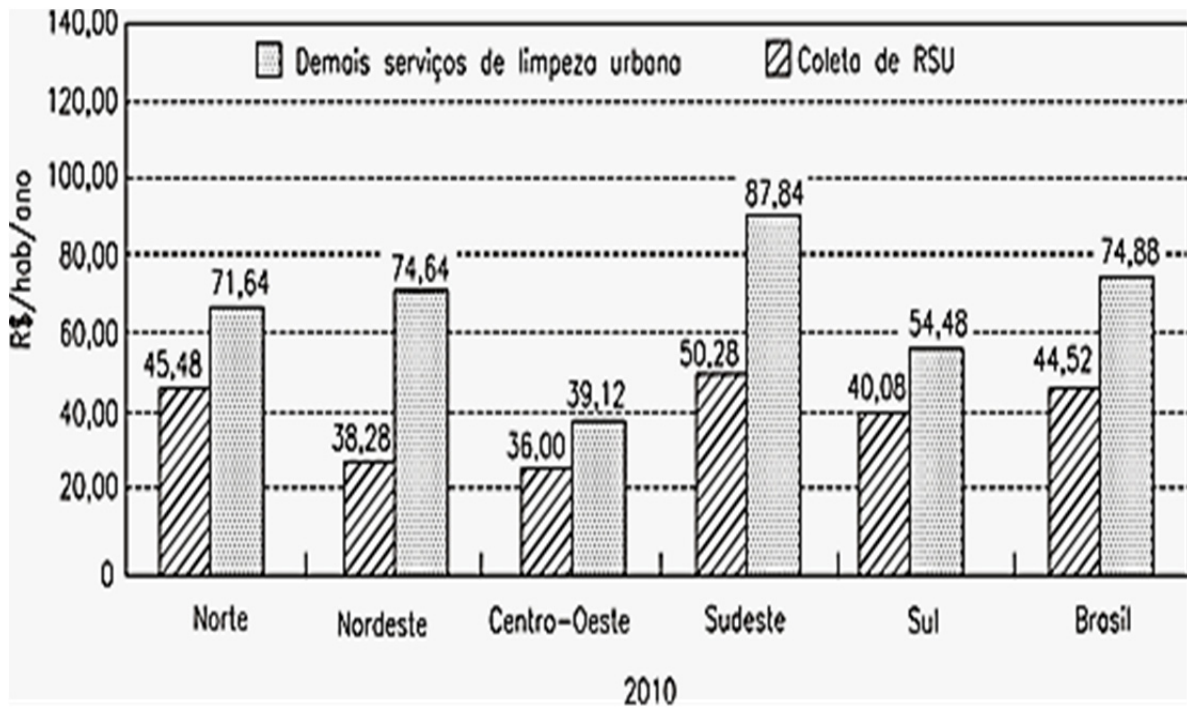


Figura 1.11: Custos com a coleta de RSU por habitante por ano, e demais serviços de limpeza urbana (ABRELPE, 2010).

Os métodos convencionais de armazenamento de resíduos, como em aterros sanitários, produzem grandes quantidades de CH_4 e CO_2 . O biogás tem que ser drenado e queimado. O gás fugitivo que não pode ser capturado pode chegar a 25% de todo gás gerado no aterro e é lançado diretamente na atmosfera. O efeito estufa se deve principalmente ao CH_4 , que possui um potencial de aquecimento global equivalente a 21 vezes em relação ao CO_2 . Além disso, os aterros ocupam grandes espaços nas cidades que aliado ao crescimento populacional causam um problema social, como indica (CHAE, KNAK *et al.*, 2006).

A Figura 1.12 mostra o conteúdo de metano presente na atmosfera e o seu respectivo crescimento médio, desde 1900 até 2000. A análise da curva mostra um ponto de maior crescimento em torno de 1975. É possível indicar um valor máximo na curva que corresponde ao ponto de inflexão por volta de 1978 (ALVIM, FERREIRA *et al.*, 2006).

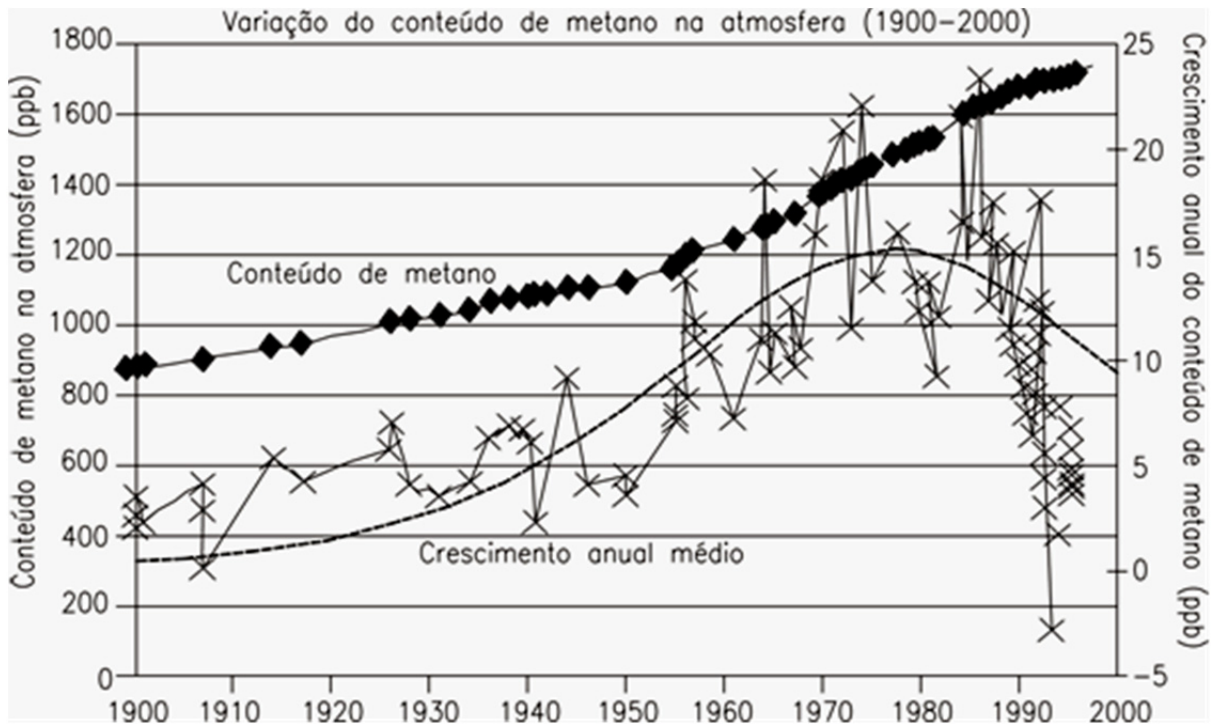


Figura 1.12: Variação do conteúdo de metano na atmosfera (Alvim et al., 2006).

A produção de energia elétrica a partir de RSU apresenta duas características importantes: exige-se coleta e transporte para concentrar os RSU, pois o conteúdo energético por unidade de volume é baixo e as tecnologias de conversão apresentam forte economia de escala (o investimento por unidade de insumo cai e as eficiências de conversão aumentam com a capacidade).

As principais rotas tecnológicas disponíveis para geração de energia elétrica a partir de RSU são (HARTENSTEIN e HORVAY, 1996; MALKOW, 2004; ARENA, 2012):

- Aproveitamento do biogás produzido em aterros sanitários, para queima em turbinas à gás ou motores de combustão interna.
- Triagem e seleção de materiais recicláveis (papéis, vidros, plásticos e metais) e digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos, para aproveitamento do biogás em turbinas à gás ou motores alternativos de combustão interna.
- Incineração dos RSU, para aproveitamento do calor residual para geração em um ciclo a vapor.
- Gaseificação e pirólise, com aproveitamento do gás produzido em turbinas à gás ou motores de combustão interna.
- Gaseificação dos RSU, com o aproveitamento dos gases em um ciclo combinado eficiente.

2.1.2 Fontes Geradoras

As fontes geradoras de RSU são classificadas conforme descrito abaixo:

a) em residência doméstica: Papel, plástico, roupa, sobras de alimento, latas e frascos, embalagens de alimento, podas de arvores e restos de jardins.

b) em estabelecimentos comerciais (restaurantes, escritórios, lojas em geral): Aparas de papel, restos d alimentos, caixas de papelão, plásticos, restos de jardins.

c) em órgãos Públicos (hospitais, prisões, escolas, bibliotecas): Papel, plásticos, restos de alimentos, restos de jardins, resíduos de sala de aula.

2.1.3 Composição Gravimétrica

A análise gravimétrica é a determinação da fração em peso de cada tipo de material que compõe o RSU. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a composição gravimétrica para as principais cidades brasileiras e algumas cidades do mundo. Pode-se observar que há uma variação da composição do RSU para cada cidade. Essa variação pode ser explicada devido à influência socioeconômica e cultural do país e região.

Tabela 1.1: Composição gravimétrica do RSU brasileiro e de diferentes países

País	Cidade	Ano	Percentual dos componentes do RSU (%)						Referência
			Orgânico	Papel	Plástico	Metal	Vidro	Outros	
Brasil	Média	2011	51,4	13,1	13,5	2,9	2,4	16,7	
	São Paulo	2003	60,1	11,1	16,8	2,2	1,8	8,0	
	Porto Alegre	2002	44,6	10,9	11,8	4,0	2,9	25,3	
	Rio de Janeiro	2006	62,1	14,8	14,7	1,6	1,8	2,8	
	Belo Horizonte	2004	62,6	9,5	10,9	2,3	2,7	11,8	(ABRELPE, 2010)
	Salvador	2003	54,7	5,3	12,8	1,7	1,9	23,7	
	Curitiba	2006	48,8	19,8	9,9	2,9	4,2	14,4	
	Manaus	2001	48,8	18,9	18,5	3,6	2,2	8,0	

Tabela 1.1: Composição gravimétrica do RSU brasileiro e de diferentes países

País	Cidade	Ano	Percentual dos componentes do RSU (%)						Referência
			Orgânico	Papel	Plástico	Metal	Vidro	Outros	
	Média	2010	33,7	28,5	12,4	9,0	4,6	11,8	(EPA, 2009)
E.U.A	Brownsville, Harlingen, San Benito	2008	34,7	29,9	16,6	6,6	4,8	11,6	(CHANG e DAVILA, 2008).
	McAllen, Mission, Edinburg	2008	31,2	25,8	20,9	11,5	8,9	5,0	(CHANG e DAVILA, 2008).
Palestina	Distrito de Nablus	2010	65,1	9,1	7,6	2,8	2,9	12,5	(AL-KHATIB, MONOU <i>et al.</i>)
Bósnia Herzegovina	Zavidovici	2005	43,0	16,0	15,0	2,0	5,0	18,0	(VACCARI, BELLA <i>et al.</i>)
México	Baja Califórnia	2003	80,0	7,2	4,5	1,3	4,0	3,2	(OJEDA- BENITEZ, ARMIJO DE VEGA <i>et al.</i> , 2003)
	Chihuahua	2008	45,0	17,0	13,0	3,0	5,0	16,0	(GOMEZ, MENESES <i>et al.</i> , 2008)

Tabela 1.1: Composição gravimétrica do RSU brasileiro e de diferentes países

País	Cidade	Ano	Percentual dos componentes do RSU (%)						Referência
			Orgânico	Papel	Plástico	Metal	Vidro	Outros	
República do Haiti	Cabo Haitiano	2009	65,5	9,0	9,2	2,6	5,8	7,9	(PHILIPPE e CULOT, 2009)
Malásia	Petaling Jaya,	2011	36,5	27,0	16,4	3,9	3,1	13,1	(SINGH, SINGH <i>et al.</i>)
	Kuala Lumpur,	2011	58,67	6,43	11,45	2,71	1,41	9,3	
	Shah Alam,	2011	47,8	20,6	14,0	6,9	4,3	6,4	
	Bangi.	2011	40,0	18,0	15,0	4,0	4,0	15,0	
Portugal	Média	1998	43,9	26,5	11,1	2,8	7,4	8,5	
	Lisboa	1982	57,4	18,8	7,8	1,9	3,8	10,3	
	Lisboa	1988	47,4	25,9	9,4	2,5	4,6	10,2	
Holanda	média	1988	50,5	22,8	6,8	4,4	7,2	8,3	(RUSSO, 2003)
Itália	Média	1988	60,4	22,3	7,2	3,0	7,1	0,0	
	Sul Italiano	1988	67,4	67,4	6,6	2,5	5,0	0,0	

A Tabela 1.2 mostra a possível variação da composição gravimétrica do RSU conforme o nível de desenvolvimento de um país.

Tabela 1.2:Variação da composição gravimétrica do RSU conforme grau de desenvolvimento do país (INTOSAI, 2002; COINTREAU, 2006).

Componentes do RSU	% dos componentes		
	Países Subdesenvolvidos	Países em Desenvolvimento	Países Desenvolvidos
Orgânicos	40 - 85	20 - 65	20 - 30
Papel	1 - 10	15 - 30	15 - 40
Plásticos	1 - 5	2 - 6	2 - 10
Metal	1 - 5	1 - 5	3 - 13
Vidro	1 - 10	1 - 10	4 - 10
Borracha	1 - 5	1 - 5	2 - 10
Outros	15 - 60	15 - 50	2 - 10
Umidade	40 - 80	40 - 60	5 - 20
Densidade (kg/m³)	250 - 500	170 - 330	100 - 170
Energia Disponível (kcal/kg)	800 - 1100	1000 - 1300	1500 - 2700

Por meio da análise do RSU é possível avaliar alguns aspectos e características da região ou país analisado. É possível observar que a geração de matéria orgânica e papel apresentam grandes variações conforme o grau de desenvolvimento país. A parcela úmida também apresenta grandes variações, pois ela está diretamente relacionada ao tipo de resíduo que compões o RSU e também, ao seu local de armazenamento e/ou disposição.

A energia disponível no RSU é diretamente proporcional ao nível de desenvolvimento do país, pois quanto mais desenvolvido o país, maior será a energia disponível no RSU, pois esse irá apresentar menor teor de umidade e maiores volumes de massa específica.

2.1.4 Caracterização Energética

A biomassa é formada por uma grande quantidade de compostos orgânicos constituídos por quatro principais elementos (carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio), umidade e uma pequena quantidade de impurezas inorgânicas como as cinzas (BASU, 2010).

É necessário conhecer a composição do combustível, bem como seu conteúdo energético, tanto em processos de combustão como em processos de gaseificação.

2.1.5 Composição elementar

A análise química elementar corresponde à porcentagem em massa dos principais componentes que constituem a biomassa.

Os elementos constituintes da biomassa são: o carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N), cinzas (A) e umidade (W).

A composição elementar é a característica técnica fundamental e de extrema importância do combustível e constitui a base para a análise dos processos de combustão e gaseificação. A quantidade de ar necessário para alimentar o processo de gaseificação e combustão, o volume de gases de saída e sua composição assim como o poder calorífico são determinados e calculados a partir da composição elementar.

Uma base de referência a ser utilizada para o cálculo da porcentagem dos diferentes elementos que compõem a biomassa deve ser estabelecida. É importante determinar o *as fired*, ou seja, utilizar a composição do combustível na umidade em que o mesmo irá queimar. Por estas razões, a composição química de um combustível é expressa em relação a umas das seguintes bases de referência (BASU, 2010):

- Composição em base úmida: refere-se à composição do combustível com a umidade com a qual este é queimado (Equação 2.1):

$$C^U + H^U + O^U + N^U + S^U + A^U + W^U = 100\% \quad (2.1)$$

- Composição em base analítica: refere-se a composição do combustível com a umidade que ele possui no momento em que se determina sua composição em laboratório, sem a presença de umidade externa, W^{ext} (Equação 2.2):

$$C^a + H^a + O^a + N^a + S^a + A^a + W^a = 100\% \quad (2.2)$$

- Composição em base seca: refere-se a composição do combustível expressa sem a presença de umidade (Equação 2.3):

$$C^s + H^s + O^s + N^s + S^s + A^s = 100\% \quad (2.3)$$

- Composição em base combustível: refere-se a composição do combustível sem umidade e cinzas (Equação 2.4):

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S^c = 100\% \quad (2.4)$$

Nos cálculos de combustão ou gaseificação se utiliza a composição em base úmida. Nos manuais e publicações especializados os valores da composição elementar dos combustíveis são apresentados em base seca e em base combustível, o que os torna independentes de eventuais variações nos teores de umidade e cinzas.

A Tabela 1.3 faz uma comparação da composição elementar do RSU e do carvão betuminoso.

Tabela 1.3: Análise elementar e valores de poder calorífico dos RSU e do carvão betuminoso (YONG, 2010).

Constituinte	Unidade	RSU	Carvão betuminoso
Carbono (C)	kg/kg seco	0,37418	0,73798
Hidrogênio (H)	kg/kg seco	0,05138	0,04896
Oxigênio (O)	kg/kg seco	0,29908	0,09133
Nitrogênio (N)	kg/kg seco	0,01186	0,01405
Enxofre (S)	kg/kg seco	0,00132	0,00801
Cloro (Cl)	kg/kg seco	0,00659	0,00199
Cinzas (A)	kg/kg seco	0,2556	0,09769
Umidade (W)	kg/kg úmido	0,241	0,089
PCI	MJ/kg seco	14,36	29,37
PCS	MJ/kg úmido	15,48	30,44

A Tabela 1.4 faz uma comparação da composição elementar do RSU e seus constituintes. Esta tabela é uma adaptação de SANNERet al., 1970 apud Basu, 2010, (CHANG e DAVILA, 2008), (PHILIPPE e CULOT, 2009) e HAMADA, 1997.

Tabela1.4: Composição Elementar e PCS de Alguns Combustíveis que compõe o RSU (SANNER, ORTUGLIO *et al.*, 1970; HAMADA, 1997; CHANG e DAVILA, 2008; PHILIPPE e CULOT, 2009)

Combustível	Elemento							
	%C	%H	%O	%N	%S	%Cinzas	%W	PCS (MJ/kg)
Resto de Alimento	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5	0	18,82
Papel e Papelão	44	6	44	0,3	0,2	6,8	0	16,33
Têxteis	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5	0	22,07
Madeira	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5	0	18,32
Plástico	60	7,2	22,8	0	0	10	0	25,28
RSU^a	47,6	6	32,9	1,2	0,3	12	0	18,77
RSU^b	37,14	5,28	28,11	0,27	0,52	5,90	21,77	17,25
RSU^c	52,7	2,4	-	1,7	-	21	55,9	8,26

É possível observar na Tabela1.4 que a variação da porcentagem de cada elemento constituinte do RSU é muito pequena, já o PCS apresenta uma variação maior, pois tem relação direta com a quantidade de carbono contida na biomassa.

2.1.6 Poder calorífico

O poder calorífico pode ser definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa de um determinado combustível. O valor dessa propriedade pode variar muito de acordo com o teor de umidade do combustível.

O Poder Calorífico Superior (PCS) considera que a água presente na biomassa não evapora junto com os gases de combustão. Já o Poder Calorífico Inferior (PCI) considera que a água presente na biomassa seja toda vaporizada junto com os gases de combustão. É importante ressaltar que para vaporizar a água presente na biomassa necessita-se de energia, sendo assim, justifica o PCS ser maior que o PCI.

O poder calorífico é determinado por meio da combustão de uma amostra analisada em uma bomba calorimétrica. Entretanto, se o valor do PCI não está disponível, é possível determinar esse valor utilizando uma relação matemática tendo como referência a tabela de

composição elementar do resíduo em análise. Existem inúmeras equações que permitem calcular o poder calorífico do combustível a partir da sua composição elementar.

Mendeleiev descreveu a primeira formula para calcular o PCI de um combustível, como mostrado na Equação 1.5.

$$PCI = (339,13 \times \%C) + (1029,95 \times \%H) - (108,85 \times (\%O - \%S)) - (25,12 \times \%W) \quad (1.3)$$

A Figura 1.13 mostra os valores de PCI para diferentes tipos de combustíveis incluindo o RSU.

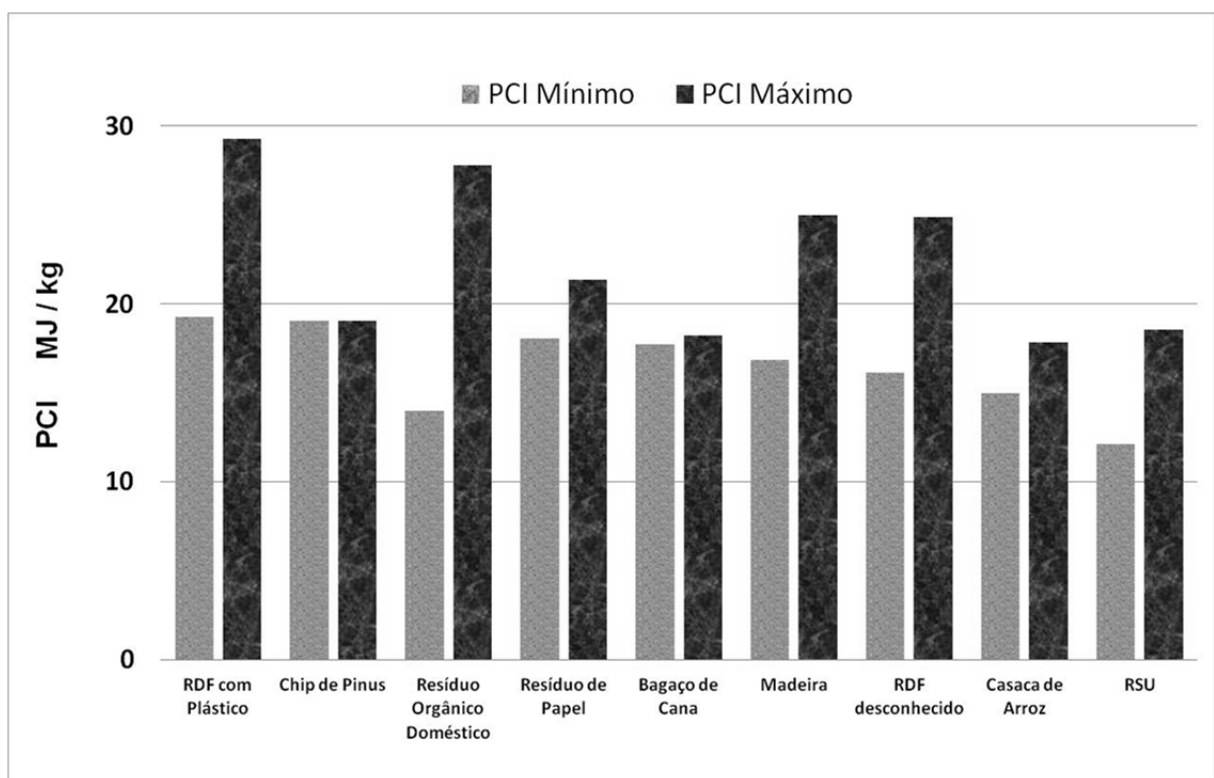


Figura 1.13: PCI máximo e mínimo de alguns combustíveis(ECN, 2007).

A Equação 1.6 apresenta outro método para determinação do PCS da biomassa (YONG, 2010).

$$PCS = (34,91 \times C) + (117,83 \times H) - (10,34 \times O) + (10,51 \times S) - (2,11 \times W) \quad (1.4)$$

A Figura 1.14 mostra os valores de PCS para diferentes tipos de combustíveis incluindo o RSU. A Tabela 1.5 mostra o poder calorífico de alguns combustíveis de acordo com a umidade.

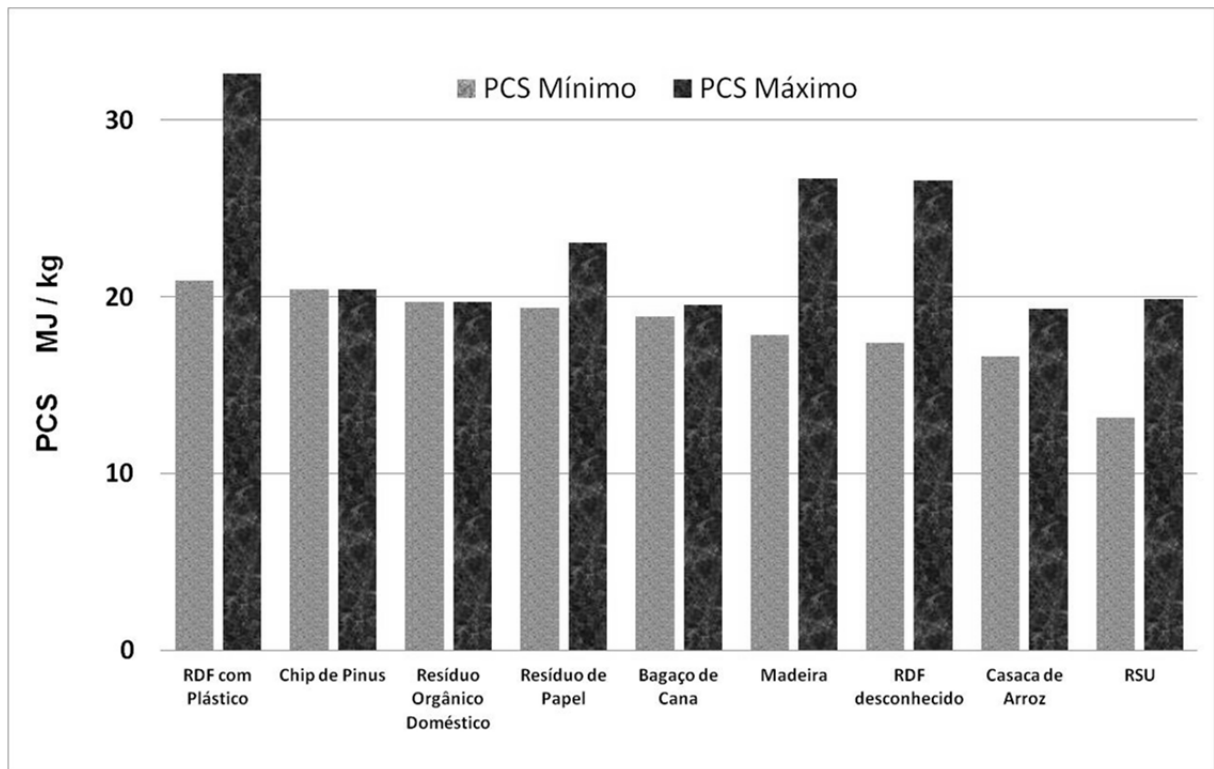


Figura 1.14: PCS máximo e mínimo de alguns combustíveis (ECN, 2007).

Tabela 1.5: Poder calorífico de cada resíduo que compõe o RSU (YONG, 2010).

Tipo de resíduo sólido	Poder calorífico (kJ/kg)	Umidade (% bu)
Resíduo de comida	4.600	70,0
Papel	16.700	6,0
Plástico	32.500	2,0
Têxtil	17.500	10,0
Borracha	23.300	2,0
Madeira	18.600	60,0
Resíduo de jardinagem	6.500	60,0

2.1.7 Umidade

Corresponde a quantidade de água presente em uma amostra de biomassa e é expresso tanto em base úmida (bu) quanto em base seca (bs). A

Tabela 1.6 apresenta valores típicos de umidade de diferentes biomassas.

Tabela 1.6: Umidade de alguns materiais (BASU, 2010).

Biomassa	Umidade (%bu)
Colmo de milho	40,0–60,0
Palha de trigo	8,0–20,0
Palha de arroz	50,0–80,0
Casca de arroz	7,0–10,0
Dejetos bovinos	88,0
Casca de árvore	30,0–60,0
Serragem	25,0–55,0
Resíduos de comida	70,0
Pellets de RDF	25,0–35,0
Aguapé	95,3

2.1.8 Aproveitamento Energético

O grande volume de RSU e seu problema apresentado principalmente em grandes centros têm despertado interesse em processos térmicos para o tratamento e destinação dos RSU. O aproveitamento energético do RSU visa aumentar a vida útil dos aterros sanitários reduzindo o volume depositado sendo aproveitados os recicláveis e outra parte gerando eletricidade.

O aproveitamento energético dos RSU pode ser feito por meio de diferentes rotas tecnológicas, térmicas, bioquímica e física, as quais são mostradas na Tabela 1.7.

Atualmente existem 240 plantas em funcionamento no mundo que tratam e processam o RSU adequadamente, obtendo como subproduto energia elétrica e vapor. Essas plantas utilizam-se das diferentes técnicas de tratamento térmico, biológico-químico e/ou físico. A Figura 1.15 mostra a localização dessas plantas no mundo.

É possível observar que os EUA apresentam 52 plantas em operação, a Alemanha com um total de 42 e a Itália com 19 plantas em operação.

Tabela 1.7: Classificação das rotas tecnológicas para aproveitamento energético dos RSU (URS CORPORATION, 2005b).

Grupo da tecnologia	Tecnologia
Tecnologia térmica	Reciclagem térmica avançada
	Pirólise
	Pirólise/gaseificação
	Gaseificação convencional – Leito fluidizado
	Gaseificação convencional – Leito fixo
	Gaseificação por plasma
Biológica/Química	Digestão anaeróbia
	Digestão aeróbia/compostagem
	Fermentação
	Gás de síntese – etanol
	Biodiesel
	Depolimerização térmica
Física	Quebra catalítica
	Combustível Derivado de Resíduos (RDF)
	Densificação/Peletização
	Secagem
	Separação mecânica
	Redução da granulometria
	Processamento com vapor/autoclavagem

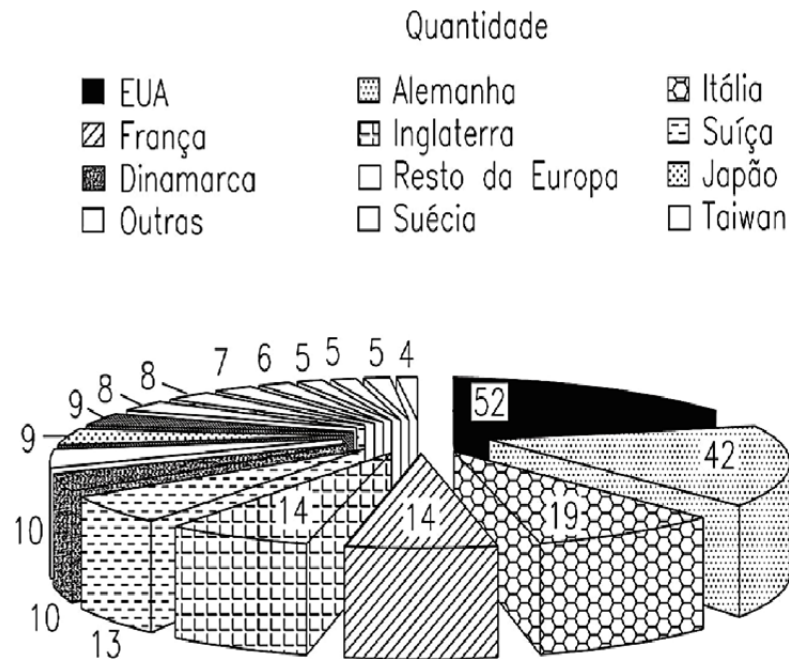


Figura 1.15: Quantidade de plantas tecnológicas para aproveitamento energético dos RSU, em diversos países (Industcards, 2012).

ARENA 2012, relata que as principais vantagens do tratamento térmico do RSU são:

- a) Redução da massa dos resíduos em 70% e 80 % e o volume entre 80% e 90%, preservando espaços nos aterros.
- b) Redução do uso da terra para construções de aterros. Estima-se que uma planta de tratamento térmico de resíduos para tratar 1 milhão de toneladas por ano durante 30 anos necessita de aproximadamente 100.000 m². Já um aterro sanitário necessita aproximadamente 300.000 m² de área física para tratar a mesma quantidade de RSU pelo mesmo período de tempo.
- c) Destruição de contaminantes orgânicos como hidrocarbonetos halogenados.
- d) Concentração e imobilização de contaminantes inorgânicos, eles poderão ser reutilizados de forma segura ou dispostos de maneira apropriada.
- e) Utilização de recicláveis dos resíduos térmicos, tais como, metais ferrosos e não ferrosos, das cinzas e escórias.
- f) Utilização de recicláveis, uma vez que o material é submetido a processo de triagem e separação.
- g) Redução dos gases de efeito estufa (GEE) formados pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica do RSU.
- h) Geração de energia renovável a partir de resíduos sólidos.

As tecnologias disponíveis para o tratamento térmico do RSU para a geração de eletricidade são: combustão, pirólise e a gaseificação.

A tecnologia de gaseificação converte o resíduo sólido em uma mistura de gases combustíveis, denominada de gás de síntese. Essas reações são definidas como oxidação parcial dos RSU na presença de uma quantidade de oxidante (oxigênio) menor do que a estequiométrica requerida para a combustão. Uma parte do combustível é queimada para fornecer o calor necessário para gaseificar o restante do combustível. Este processo é denominado autotérmico (MALKOW, 2004; ARENA, 2012).

A incineração é um processo de destruição térmica de resíduos sob alta temperatura, em torno de 900 a 1200 °C com tempo de residência controlada. O processo é feito por meio de uma decomposição térmica via oxidação à alta temperatura. Uma parcela orgânica dos resíduos é transformada em gases e outra parcela é transformada em sólida. Esta prática ajuda a reduzir o volume, o peso e a periculosidade dos materiais destinados a este tratamento. As escórias e cinzas são destinadas a aterros adequados, os efluentes líquidos são encaminhados para estação de tratamento, e os gases da queima são tratados e monitorados através de parâmetros como vazão, temperatura, níveis de O₂, CO e também índices de NO_x, SO_x e materiais particulados (LAURENT BONTOUX, 1999).

As principais desvantagens da incineração são as emissões de dioxinas, furanos, particulados e precursores da chuva ácida (NO_x, SO_x). Estes poluentes encarecem o tratamento e a purificação dos gases produzidos, além da obtenção de produtos sólidos e líquidos (BRERETON, 1996; HEBERLEIN e MURPHY, 2008).

A pirólise é um processo de degradação termoquímica que ocorre quando se aplica calor a uma substância ou material, em ausência total de oxidante. Neste sentido, a pirólise é um processo endotérmico que precisa de uma fonte externa de energia (calor) para seu desenvolvimento. Este processo permite a transformação dos resíduos em três frações: sólida, gasosa e líquida. A fração sólida consiste principalmente em cinzas e carbono (dependendo da temperatura empregada no processo), que podem ser utilizadas como combustível ou na fabricação de carvão ativado por meio da sua posterior ativação com CO₂ e/ou vapor. A fração gasosa é também combustível, sendo composta por H₂, CO, CO₂, CH₄ e outros hidrocarbonetos. A fração líquida é composta por uma mistura complexa de hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos oxigenados (LORA e VENTURINI, 2012).

A gaseificação geralmente resulta em uma taxa de conversão de carbono em torno de 99% comparada com tecnologia da incineração, no qual este valor situa-se na faixa de 70–80%, e ainda requer suporte adicional de combustível no processo. O processo de incineração

emite alcatrão não totalmente queimado e material orgânico volátil, além de causar odores desagradáveis (BASU, 2010; WAGLAND, KILGALLON *et al.*, 2011).

O processo de gaseificação é realizado em um ambiente abaixo das condições estequiométricas, cerca de 60 a 80% abaixo da quantidade de oxigênio requerida no processo de combustão. O processo de gaseificação é feito com bom controle da temperatura, a qual varia em torno de 800 a 1000°C e produz gases combustíveis como CO e H₂, além de uma pequena quantidade de CO₂, CH₄, alcatrão e material particulado. O processo de incineração, além de HCl, HF, NO_x, SO_x, produz dioxinas e furanos (MALKOW, 2004).

A formação de dioxinas ocorre por meio do átomo de cloro que troca de lugar com o átomo de hidrogênio dentro da molécula de celulose. Dependendo da posição que o átomo de cloro se instala na molécula é como a dioxina é classificada. Os furanos são moléculas semelhantes às dioxinas, porém eles possuem um átomo de oxigênio a menos, totalizando 135 moléculas ao todo. Dentre as diferentes combinações de dioxinas e furanos existem 17 tipos que são efetivamente cancerígenas (LEFCORT, IYER *et al.*, 2010).

O gás de síntese é predominantemente composto de H₂, CO e pequenas quantidades de CH₄. Todavia, o gás de síntese também contém pequenas quantidades de contaminantes, tais como, particulados, alcatrão, álcalis, metais, compostos clorados e sulfatos, que devem ser retirados em um sistema de limpeza apropriado. O principal produto de interesse na tecnologia da gaseificação é gás de síntese (CO e H₂). Este gás pode ser convertido em energia (vapor ou eletricidade), outros gases, combustíveis e produtos químicos, conforme apresentado na Figura 1.16.

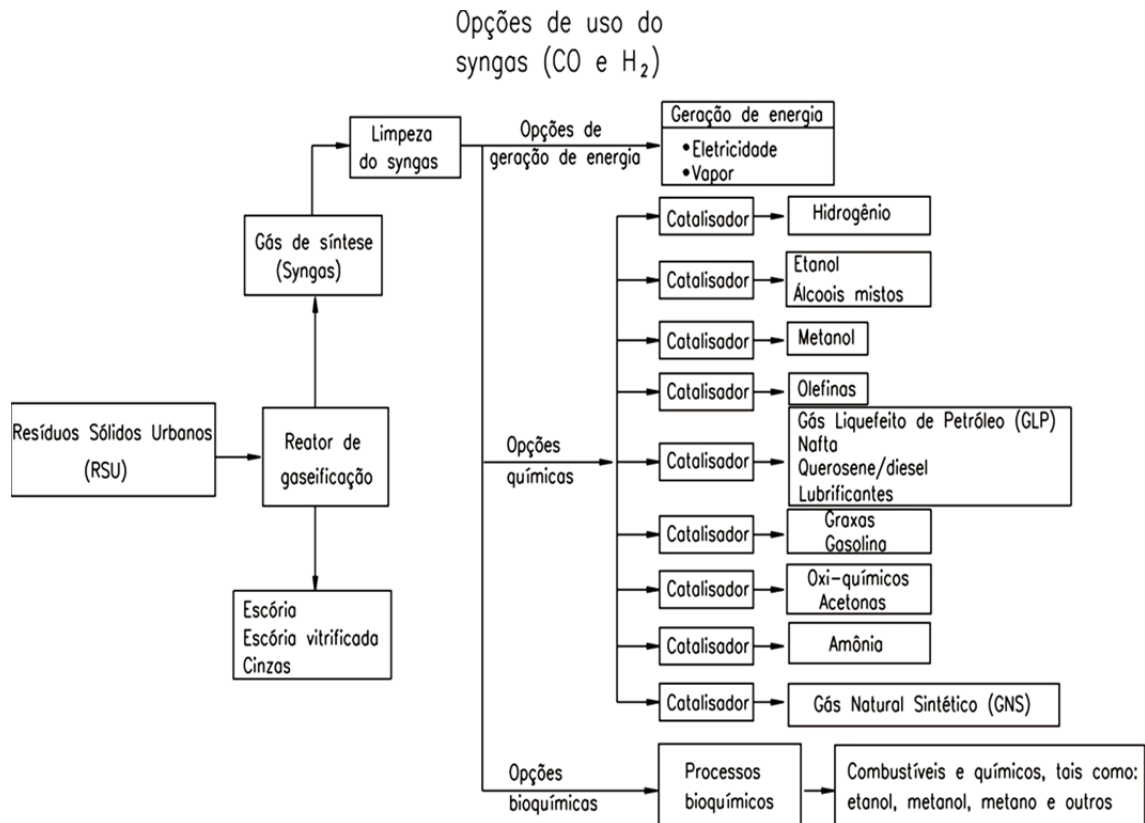


Figura 1.16: Aproveitamento do RSU para a geração de energia, gases, combustíveis e outros produtos químicos (YONG, 2010).

2.1.9 Produção de Combustível Derivado de Resíduos (RDF)

O RDF compreende uma grande variedade de material, dentre eles, a matéria orgânica do RSU, os plásticos e resíduos biodegradáveis, lodo de esgoto, e resíduos agrícolas. A transformação de resíduos em combustíveis derivados de resíduos atende a dois propósitos principais: reduzir o volume de resíduos em aterros sanitários e fornecer combustíveis alternativos às indústrias que fazem uso intensivo de energia (GENDEBIEN, LEAVENS *et al.*, 2003). O RDF tem demonstrado que é um substituto eficaz para combustíveis fósseis, pois apresentam baixo custo de produção e um poder calorífico significativo.

As definições utilizadas para o RDF são (ARCHER, BADDELEY *et al.*, 2005):

Combustível produzido por separação, fragmentação e processamento de resíduos mistos.

Combustível preparado por separação dos RSU e processamento de fração com maior poder calorífico em pellets de uso comercial.

Resíduos que tenham sido parcialmente separados e classificados previamente à sua queima.

Os RDF podem ser classificados em 7 categorias (ASTM, 2006):

RDF-1: resíduos usados da forma como são descartados.

RDF-2: resíduos processados de granulometria grosseira, como ou sem separação de metais ferrosos, tais que, 95% em massa atravessam a peneira de malha de 6 polegadas quadradas.

RDF-3: resíduos transformados, com separação de vidros, metais e materiais inorgânicos, tais que, 95% em massa atravessam a peneira de malha de 2 polegadas quadradas.

RDF-4: resíduos combustíveis processados na forma de pó, ou seja, 95% em massa atravessam a peneira de malha de 0,035 polegadas quadradas.

RDF-5: resíduo combustível densificado (comprimido) em forma de pellets ou briquetes, ou seja, RDF densificado.

RDF-6: resíduos combustíveis processados em forma líquida (lamas combustíveis).

RDF-7: resíduos combustíveis transformados em combustíveis gasosos (gás de síntese).

De acordo com a forma os RDF possuem os seguintes tipos: RDF desagregado, pellets e briquetes (PERNES, 2008; BAPTISTA, 2010):

Desagregado: material solto, de baixa densidade, que tem a característica de se transportável pelo ar.

Pellets: RDF produzido por aglomeração de material solto em cubo, disco ou cilindro. O diâmetro ou seu equivalente é geralmente inferior a 25 mm.

Briquete: bloco ou cilindro de RDF produzido por aglomeração de material solto. O diâmetro ou seu equivalente é superior a 25 mm.

Além dos RDF existem Combustíveis Derivados de Plásticos (PDF) e Combustíveis Derivados de Papel e plástico (PFP). A composição química e física dos RSU, utilizados como matéria-prima irá influenciar na qualidade final dos RDF a sua qualidade final, sobretudo no que se refere ao seu conteúdo em substâncias poluentes. A Tabela 1.8 faz uma comparação entre o RDF prensado e desagregado.

Tabela 1.8: Comparação entre os tipos de RDF.

CARACTERÍSTICAS	RDF Prensado	RDF Desagregado
Combustão	Estável e uniforme	Estável e uniforme
Poder calorífico	Homogêneo e altamente calórico (maior que 18,841 MJ/kg)	Homogêneo e altamente calórico (maior que 23,027 MJ/kg)
Armazenagem	Permite armazenagem por longo prazo	Não permite armazenagem em longo prazo
Aplicação	Ideal para uso posterior: armazenagem e transporte	Ideal para uso imediato: queima em caldeira com gerador de energia acoplado
Balanco energético	Positivo: usa parte do RDF no processo de secagem e uma parte referente a moldagem	Mais positivo: usa parte do RDF para secagem, mas há menor perda de energia no processo.
Custo de produção	Menor que usina de incineração	Menor que uma usina de incineração

Em alguns países existem normas específicas de qualidade do RDF, como na Alemanha, Finlândia, Itália e Suécia. O Comitê Europeu de Normalização (CEN) criou uma comissão para a elaboração de uma única norma válida para todo o território Europeu.

A Figura 1.17 mostra a composição média dos RDF em termos de seus constituintes básicos (plásticos, papéis, matéria orgânica, tecidos, etc.). A Tabela 1.9 apresenta a composição dos RDF em relação a sua análise elementar, imediata, poder calorífico e metais pesados.

Composição Média dos RDF

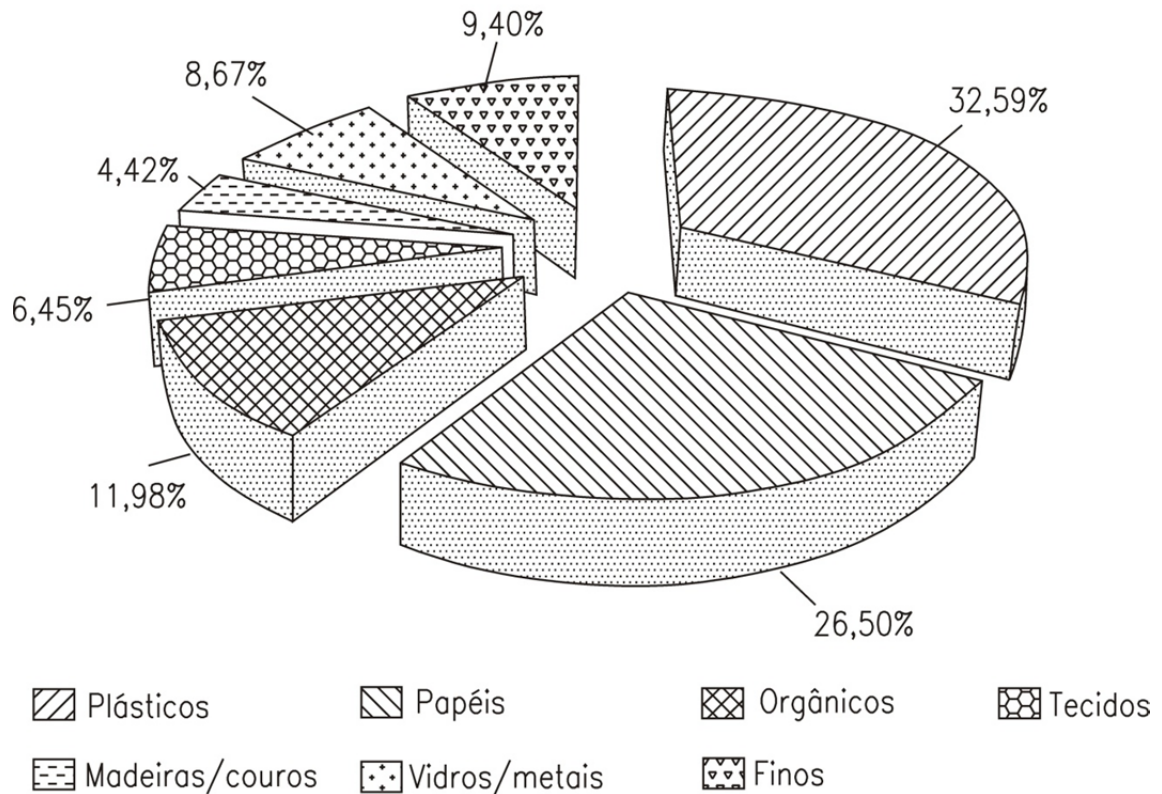


Figura 1.17: Composição média dos RDF (VOUNATSOS, ATSONIOS *et al.*, 2012).

Tabela 1.9: Composição do RDF (WAGLAND, KILGALLON *et al.*, 2011).

Parâmetro	Unidade	RDF
Análise imediata		
Umidade	%	30,4
Cinzas	%	16,2
Voláteis	%	46,1
Análise elementar		
C	% daf	28,10
H	% daf	3,40
N	% daf	0,98
S	% daf	0,32
O	% daf	66,95
Cl	% daf	0,25

Parâmetro	Unidade	RDF
Poder calorífico		
PCS	MJ/kg	14,80
PCI	MJ/kg	13,20
Análise de metais no combustível		
Pb	mg/kg seco	71,2
Cu	mg/kg seco	66,3
Zn	mg/kg seco	1.970
As	mg/kg seco	2,1
Cd	mg/kg seco	0,30
Mn	mg/kg seco	164
Cr	mg/kg seco	25,2
Na	mg/kg seco	5.362
K	mg/kg seco	3.454
Tl	mg/kg seco	<0,1
Hg	mg/kg seco	0,19

O dimensionamento deste tipo de instalações necessita da realização de estudos prévios, tratamento e qualidade do produto final desejado.

O RSU é submetido ao processo de tratamento físico que reduz o volume do material, aumenta seu poder calorífico e fornece um combustível de maior facilidade de manipulação, transporte e utilização. Este procedimento aumenta sua eficiência e reduz a produção de cinzas nas unidades de conversão. Os principais processos de produção de RDF são: separação na fonte, triagem ou separação mecânica e seleção de fluxos, redução do tamanho das partículas (retalhamento, moagem), secagem, homogeneização/densificação, embalagem e armazenamento. O rendimento energético e o balanço de massa e de energia são empregados para se avaliar o sucesso dos processos de produção de RDF (PERNES, 2008).

As principais operações, fluxos de materiais separados e exemplos de técnicas/equipamentos para o processo de separação mecânica são mostrados na Tabela 1.10 (BAPTISTA, 2010).

Tabela 1.10: Métodos de separação mecânica e seleção de fluxos (BAPTISTA, 2010).

Operação	Fluxo de materiais separados/	Principais exemplos de técnicas/equipamentos
Triagem manual	Vários	–
Separação mecânica	Fração leve/fração pesada	Grua/garra/balde/alcatruz
Separação magnética de metais	Metais ferrosos	Tambor rotativo, Pulley, Cross Belt, In Line
	Alumínio	Corrente de Foucault, Cascata.
Separação gravimétrica e dessimétrica	Fração leve/fração pesada	Separação por vento, separação balística, separação úmida.
Clivagem e peneiração	Fração pequena/fração grande	Tambor rotativo, crivos (oscilante, de discos ou de estrelas)

A quantidade de RDF produzida por tonelada de RSU pode variar por diversos fatores. O resíduo é submetido a um peneiramento para remover a fração reciclável como, por exemplo, metais e vidros.

Após a separação dos materiais o restante é reduzido a uma granulometria inferior a 100 mm para posterior manipulação. O material é composto principalmente por resíduos de comida, papel, alguns plásticos (recicláveis e não recicláveis), material orgânico (resíduos de madeira e outros materiais). Com esse processo pode se conseguir uma redução de até 50% no volume de RSU em relação ao volume que entrou no processo.

O RDF é submetido a um processo de secagem até atingir uma umidade em torno de 12%. Um possível peneiramento antes da compactação pode ser aplicado para remover contaminantes neste material. Após as etapas descritas acima, o material está pronto para a densificação e/ou peletização (cubos, pelotas, pellets, briquetes) desde que atenda a norma CEN/TC 335(BELBO, 2006).

2.2 A gaseificação

A gaseificação é um processo de transformação de combustíveis sólidos e líquidos em gases combustíveis, predominando o CO e H₂, utilizando oxigênio, ar ou vapor em quantidades controladas. Pode ser definida também como uma oxidação parcial de resíduos na presença de agente oxidante em uma quantidade inferior a necessária as condições

estequiométricas da combustão. A gaseificação de resíduos é classificada em função do tipo de agente de gaseificação (ARENA, 2012):

Oxidação parcial com ar, com ar enriquecido com oxigênio ou oxigênio puro.

Gaseificação com vapor.

Gaseificação por plasma.

Uma planta para a gaseificação de biomassa para a geração de energia deve incluir os seguintes itens (Figura 1.18):

- Sistema de manuseio e alimentação dos resíduos no reator de gaseificação (recepção dos RSU, triagem, trituração, secagem, briquetagem e armazenamento).
- O reator de gaseificação (leito fixo, leito fluidizado borbulhante ou circulante, leito arrastado).
- Sistema de limpeza dos gases produzidos na gaseificação (ciclone, filtro de mangas, reator catalítico, lavador de gases).
- Sistema de remoção, transporte e disposição das escórias e/ou cinzas resultantes.
- Sistema de conversão de energia (motor alternativo de combustão interna, gerador elétrico).

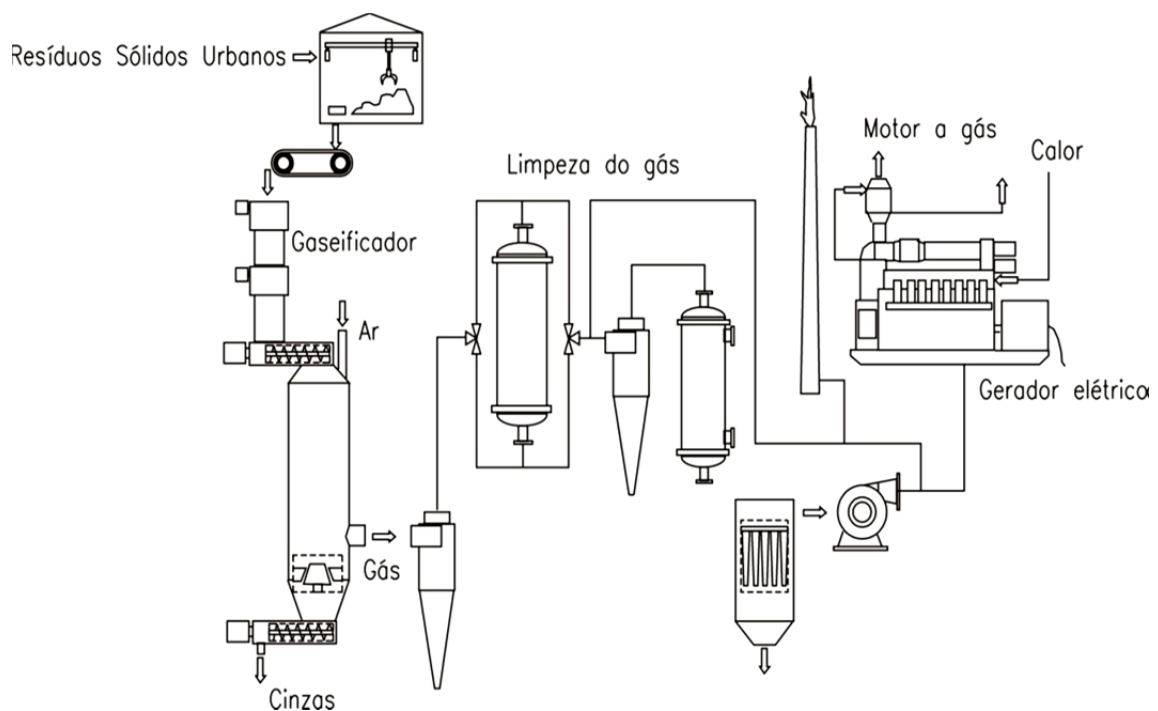


Figura 1.18: Fluxograma do processo de gaseificação.

A Figura 1.19 mostra um esquema das etapas do processo de gaseificação. A secagem e pirólise constitui a primeira fase do processo, na qual se forma carvão vegetal, alcatrão e gases. Em paralelo, uma fração pequena do combustível é oxidada, a fim de elevar a temperatura de reação até valores compreendidos entre 800 e 1200°C, dependendo principalmente da quantidade e do tipo de agente de gaseificação fornecido. Assim, é possível se atingir o nível de temperatura adequado, tanto para o desenvolvimento da etapa de pirólise, como para a gaseificação propriamente dita dos produtos gerados na pirólise.

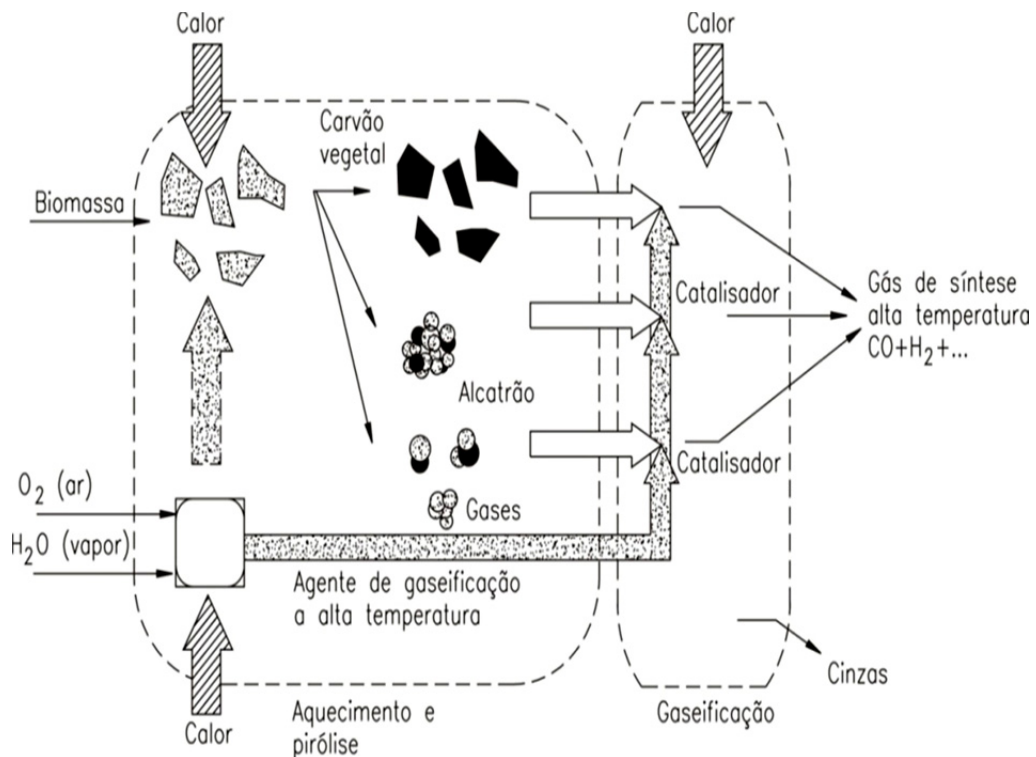


Figura 1.19: Principais etapas da gaseificação (KNOEF, 2002).

A gaseificação de resíduos ocorre em uma sequência de reações endotérmicas e exotérmicas, as quais são secagem, pirólise, combustão e gaseificação. A Figura 1.20 mostra as possíveis rotas químicas para a gaseificação da biomassa.

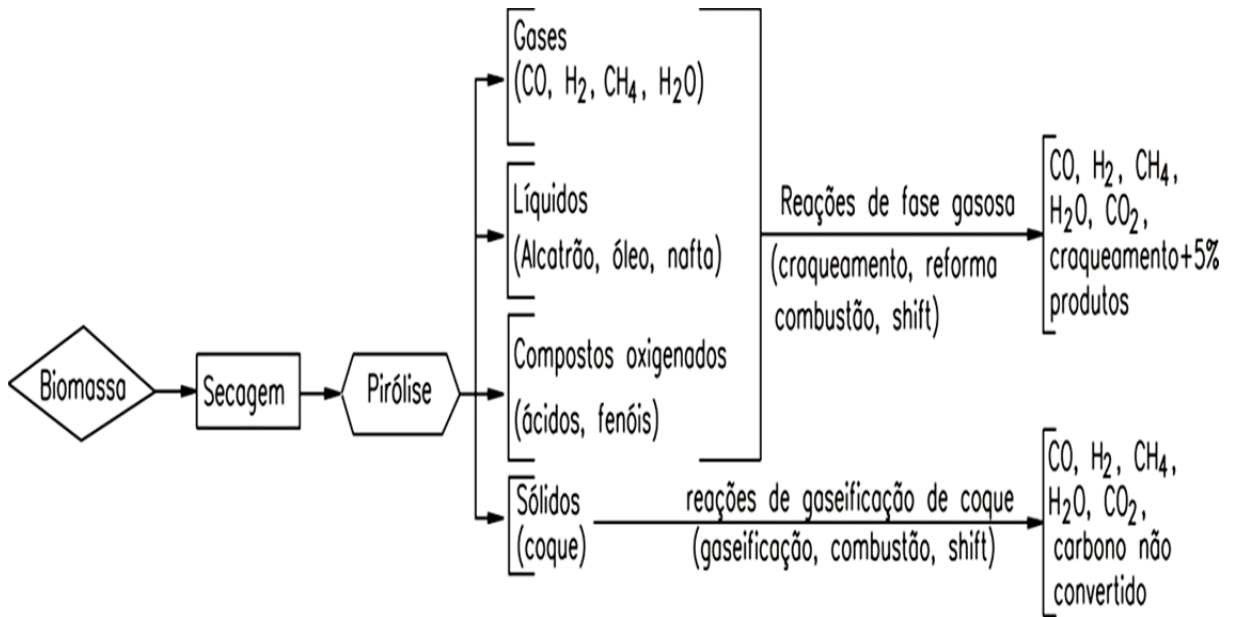


Figura 1.20: Típico processo de gaseificação(BASU, 2010).

Secagem: a umidade da biomassa pode variar desde 30–60% até valores superiores a 90%, e cada unidade de massa do material requer 2.260 kJ de energia do gaseificador para vaporizar a água. Portanto, é necessário eliminar a umidade dessa biomassa de 10 a 20%, antes de alimentar o reator para a produção de um gás de poder calorífico aceitável. A secagem final é realizada no interior do reator a uma temperatura média de 100°C.

Pirólise: ocorre a temperatura superior a 400°C envolvendo as reações de craqueamento térmico e transferência de massa e calor e formação de gases H_2 , CO_2 , H_2O , hidrocarbonetos e quantidades menores de outros compostos como ácidos orgânicos. Os hidrocarbonetos formados são o CH_4 e compostos orgânicos conhecidos como alcatrão. A quantidade de hidrocarbonetos formados é influenciada principalmente pelo tamanho das partículas, temperatura do processo, pressão, tempo de residência.

Oxidação ou combustão: o carbono da biomassa reage com O_2 do ar produzindo CO_2 , CO e vapor de H_2O . A temperatura da combustão varia de 700 a 1.200°C, sendo que a reação libera energia necessária as reações de pirólise e gaseificação.

Redução ou gaseificação: a fase de redução é uma reação endotérmica que ocorre a temperatura de 800 a 1100°C. Nesta fase o carvão é convertido principalmente em CO , CH_4 , H_2 e H_2O .

Os fatores que afetam o desempenho do sistema de gaseificação são (LORA e VENTURINI, 2012):

- ✓ A razão de equivalência de ar.
- ✓ O tipo de agente de gaseificação.
- ✓ O tempo de residência, o qual é limitado pela velocidade de fluidização quando o processo é realizado em reatores de leito fluidizado, e para o caso dos reatores de leito fixo, principalmente pelo projeto e pela operação da grelha.
- ✓ As características do combustível em termos físico-químicos e energéticos.
- ✓ A utilização ou não de catalisadores.

O gás produzido em um processo de gaseificação é composto dos seguintes gases combustíveis: CO, CH₄, H₂, CO₂, N₂, H₂O, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆ e outros hidrocarbonetos (alcatrão) em baixas concentrações, além de contaminantes como particulados, metais, cloretos, álcalis, sulfetos, etc. Quando se emprega ar como agente de gaseificação o PCI do gás de síntese resultante fica entre 3 a 6 MJ/Nm³, devido a diluição pelo nitrogênio do ar. Quando se utiliza O₂ puro como agente de gaseificação é possível obter um PCI na faixa de 10 a 19 MJ/Nm³, entretanto, o elevado custo de produção do oxigênio pode inviabilizar a utilização em plantas de gaseificação (BRIDGWATER, 1995; MORRIS e WALDHEIM, 1998; MALKOW, 2004; BASU, 2010; WAGLAND, KILGALLON et al., 2011).

O processo de oxidação parcial com ar produz um gás diluído em nitrogênio acima de 60% com poder calorífico entre 4 e 7 MJ/Nm³. Este valor é considerado muito baixo para ser utilizado numa turbina a gás, que geralmente trabalha com gás natural cujo PCI varia em torno 38 MJ/Nm³. Porém nos últimos anos têm sido desenvolvidas pesquisas em turbinas de nova geração que estão aptas a trabalhar com gás de baixo poder calorífico. Outro processo também utilizado é gaseificação com ar enriquecido com oxigênio o qual garante um teor de gás combustível no processo entre 21 a 50%. O objetivo é aumentar o PCI, como consequência da redução da quantidade de nitrogênio nas reações e aumento da temperatura do processo (BRIDGWATER, 1995; MORRIS e WALDHEIM, 1998; MALKOW, 2004).

A gaseificação com oxigênio puro produz um gás praticamente sem nitrogênio o que garante um poder calorífico entre 10 e 15 MJ/Nm³. O investimento nesse tipo de gaseificação é bastante dispendioso e se justifica às instalações em grande escala. A gaseificação com vapor produz um gás com alto teor de hidrogênio e um poder calorífico médio (15–20 MJ/Nm³). Como neste caso, o vapor é o único agente gaseificante, o processo não inclui reações exotérmicas e, portanto é necessário o fornecimento de energia externa para as reações endotérmicas.

Na gaseificação com plasma a fonte de calor do reator é feita através de tochas de plasma que cria um arco elétrico e produz um gás a alta temperatura (cerca de 15.000°C). O

processo permite a utilização de combustível com grandes variações no teor de umidade, composição elementar, tamanho entre outros (GOMES e MAIA, 2012).

O gás produzido na gaseificação pode ser usado para acionar um motor de combustão interna, turbina a gás, uma célula à combustível, um forno de secagem de revestimento cerâmico, caldeiras, na produção de compostos químicos, combustíveis, dentre outros. A composição do gás gerado é influenciada pelas condições de operação do gaseificador como temperatura e pressão, pelas características do combustível como umidade, tipo de combustível, composição e teor de oxigênio no agente gaseificador. A Figura 1.21 mostra o processo de conversão dos RSU para a geração de eletricidade.

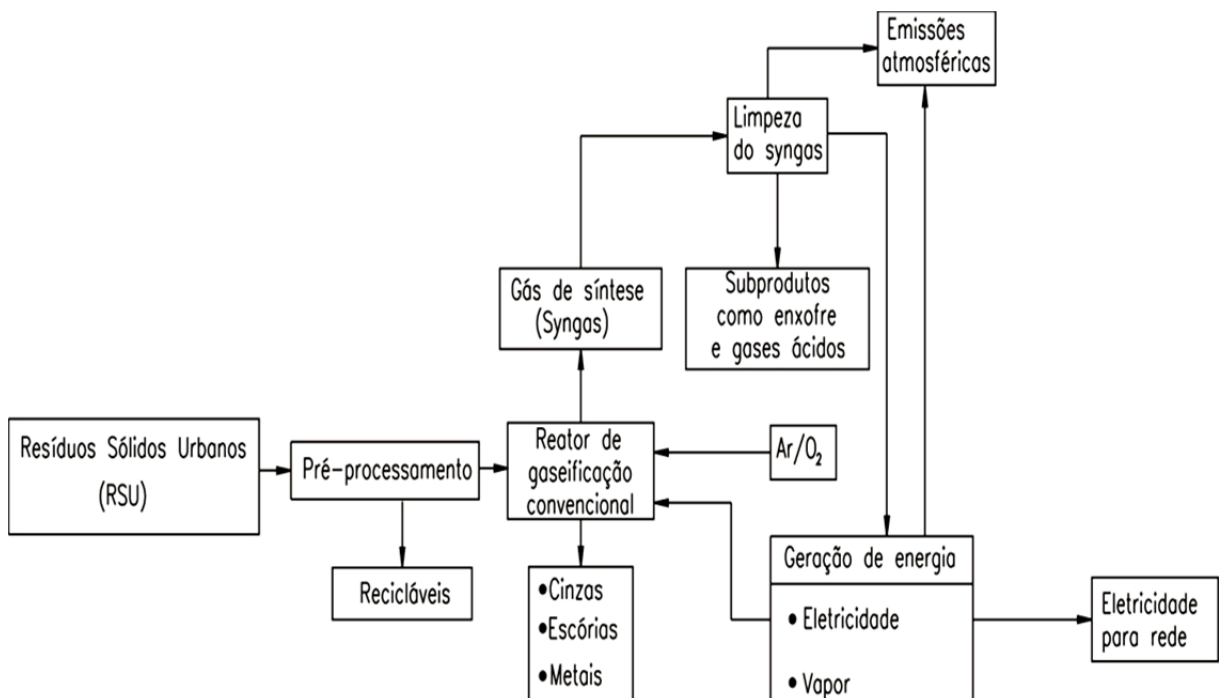


Figura 1.21: Processo de conversão dos RSU em eletricidade através da gaseificação (YONG, 2010).

O craqueamento térmico do combustível explica por que reatores com maior temperatura de operação se caracterizam por menores teores de alcatrão no gás de síntese. A secagem do combustível, até valores de 10 a 15% é importante para uma alta eficiência de gaseificação. Pois em caso contrário, parte da energia liberada seria consumida na secagem.

O estudo teórico da gaseificação pode ser realizado a partir de duas abordagens: termodinâmica (equilíbrio químico) e cinética química (taxa de reação). A primeira abordagem permite obter informação sobre a concentração do gás produzido, e outras variáveis, como por exemplo, poder calorífico, potência, eficiência, etc., a partir de dados referentes à composição do combustível e do agente de gaseificação. A segunda abordagem

permite o cálculo da velocidade de reações envolvidas e a determinação das taxas de formação dos produtos.

A gaseificação de resíduos é um processo complexo, que inclui uma variedade de interações físicas e químicas a uma temperatura superior a 600°C. A composição do gás de síntese depende das variáveis de processo como, por exemplo, as características do combustível, temperatura das reações, quantidade de agente de gaseificação e tempo de residência. O processo de gaseificação ocorre em equipamentos denominados gaseificadores e resulta de diversas reações que ocorrem em diferentes etapas. Existe um grande número de reações de gaseificação, conforme mostrado na Tabela 1.11, mas é possível individualizar três reações de gaseificação independentes: a reação de água-gás (reação 6 da Tabela 1.11), a reação de Boudouard (reação 12 da Tabela 1.11) e a reação de hidrogaseificação (reação 10 da Tabela 1.11).

Tabela 1.11: Reações homogêneas e heterogêneas que ocorrem durante a gaseificação (Arena, 2012).

Nº da reações	Reação	Energia de reação (MJ/kmol)
Reações de oxidação		
1	$C + 1/2O_2 \rightarrow CO$	-111,0
2	$CO + 1/2O_2 \rightarrow CO_2$	-283,0
3	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	-394,0
4	$H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$	-242,0
5	$C_nH_m + n/2O_2 \Leftrightarrow nCO + m/2H_2$	Exotérmica
Reações de gaseificação envolvendo vapor		
6	$C + H_2O \Leftrightarrow CO + H_2$	+131,0
7	$CO + H_2O \Leftrightarrow CO_2 + H_2$	-41,0
8	$CH_4 + H_2O \Leftrightarrow CO + 3H_2$	+206,0
9	$C_nH_m + nH_2O \Leftrightarrow nCO + (n + m/2)H_2$	Endotérmica
Reações de gaseificação envolvendo hidrogênio		
10	$C + 2H_2 \Leftrightarrow CH_4$	-75,0
11	$CO + 3H_2 \Leftrightarrow CH_4 + H_2O$	-227,0
Reações de gaseificação envolvendo dióxido de carbono		
12	$C + CO_2 \Leftrightarrow 2CO$	+172,0
13	$C_nH_m + nCO_2 \Leftrightarrow 2nCO + m/2H_2$	Endotérmica
Reações de decomposição de alcatrão e hidrocarbonetos		
14	$pC_xH_y \rightarrow qC_nH_m + rH_2$	Endotérmica
15	$C_nH_m \rightarrow nC + m/2H_2$	Endotérmica

De modo geral o processo de gaseificação de biomassa é caracterizado pelas rotas químicas mostradas na Figura 1.22.

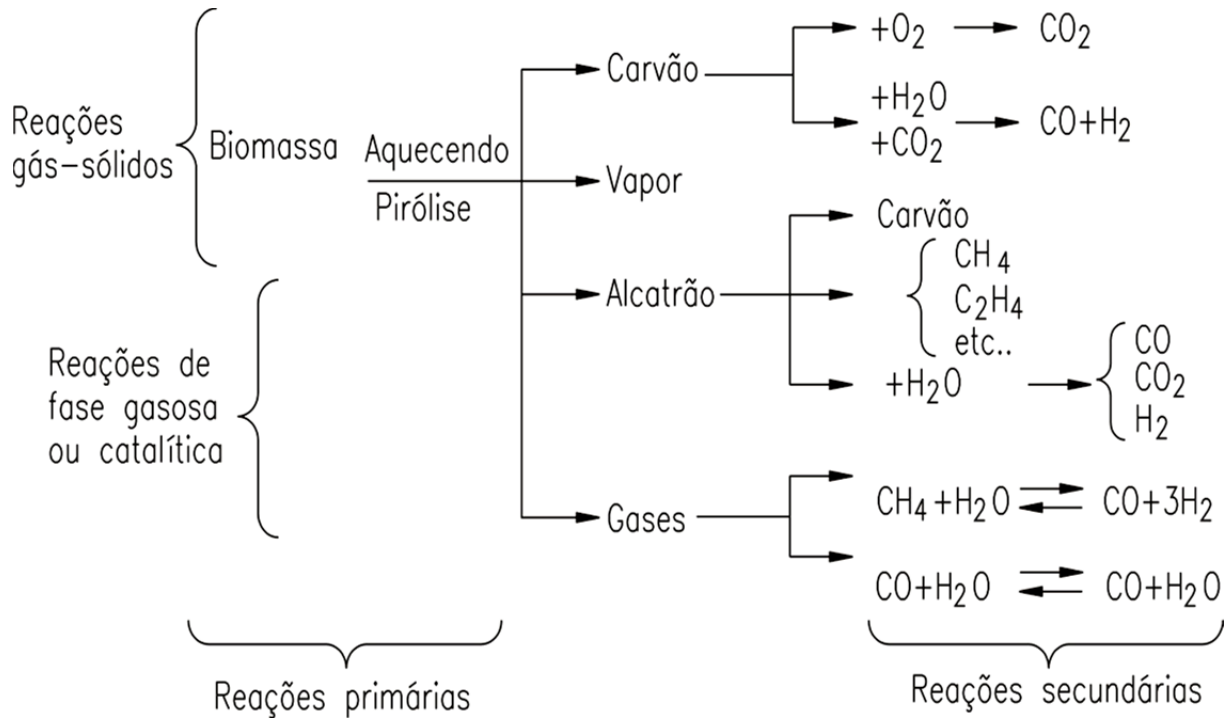


Figura 1.22: Reações químicas do processo de gaseificação(MORRIS e WALDHEIM, 1998).

2.2.1 Tipos de Gaseificadores

Os gaseificadores são equipamentos onde se realiza o processo de gaseificação e são classificados segundo a pressão de trabalho em atmosféricos ou pressurizados, e segundo o tipo de leito sendo em movimento (fixo) ou fluidizado. Os gaseificadores de leito fixo se dividem em co-corrente, contracorrente e fluxo cruzado e os de leito fluidizados se dividem em borbulhante e circulante (CIFRENO.J.P e MARANO.J.J, 2002).

Todos eles podem ser de aquecimento direto (autotérmico) ou de aquecimento indireto (alotérmico). A classificação baseia-se na direção relativa do fluxo de biomassa e do agente de gaseificação, e na forma de fornecimento de calor ao reator.

Os gaseificadores de leito fixo apresentam a vantagem de utilizar uma tecnologia simples, porém há um limite de dimensionamento da planta de 10–15 toneladas de biomassa seca por hora, e normalmente ele opera em uma temperatura de $1000^{\circ}C$. Dependendo da direção do fluxo do ar e de biomassa, os gaseificadores de leito movente ou fixo são classificados em: contracorrente, co-corrente ou fluxo cruzado. São sistemas simples e eficientes trabalhando com combustíveis prensados e com grande peso específico e granulometria de 10mm a 100 mm.

Os gaseificadores de leito fixo têm como característica uma ampla distribuição da temperatura. Outro fator que limita a aplicação desses gaseificadores são os limites de capacidade. A grande vantagem desse tipo de gaseificador é sua alta eficiência na conversão de carbono em gás e a baixa produção de cinzas, além de produzir um gás com baixo teor de alcatrão (WARNECKE, 2000).

Os gaseificadores de leito fluidizado são recomendados para plantas com maior capacidade quando comparados aos gaseificadores de leito fixo e conseguem atingir temperatura de operação mais rapidamente. A desvantagem dessa configuração é que os gases produzidos contêm grande concentração de material particulado devido ao processo de fluidização que ocorre no interior do gaseificador.

2.2.2 Gaseificador de Leito Fixo Co-corrente (Downdraft)

Gaseificadores co-corrente já são conhecidos há anos com a utilização em carros e ônibus para produção de gás de madeira para a queima em motores de combustão interna.

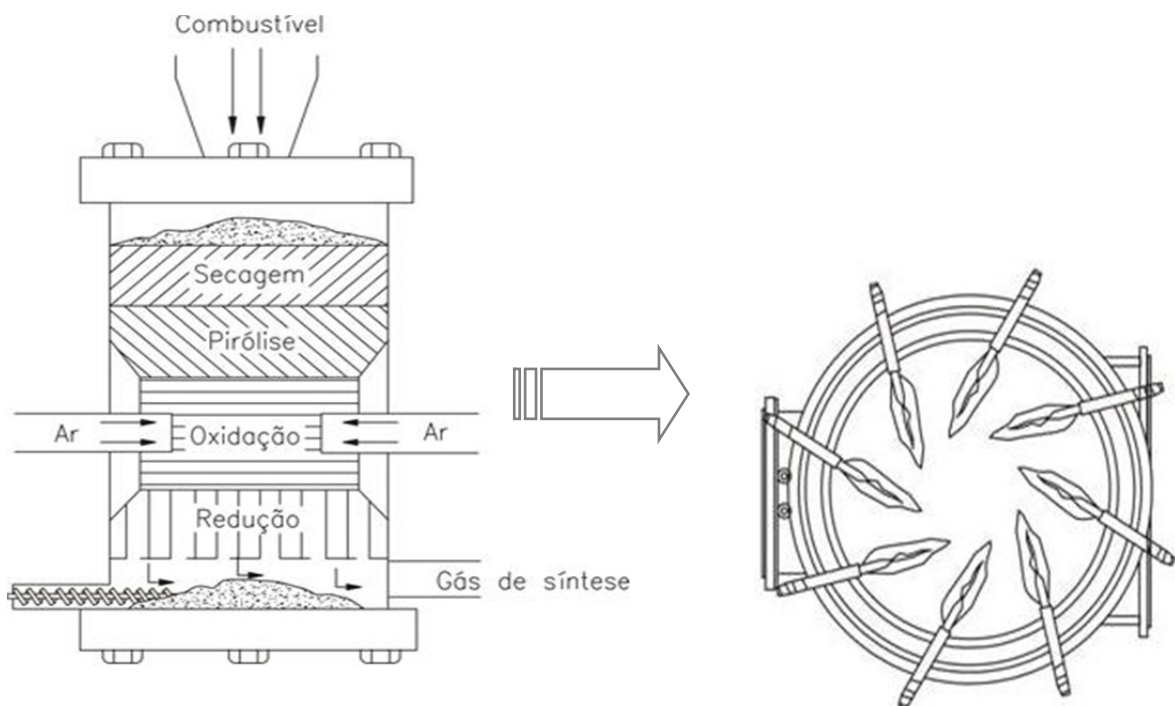


Figura 1.23: Desenho esquemático de uma gaseificador co-corrente e injeção de agente gaseificante. Adaptado de (OLOFSSON, NORDIN *et al.*, 2005).

No gaseificador co-corrente a alimentação de biomassa é feita pelo topo e o ar pode ser fornecido ao sistema como agente de gaseificação, tanto pelo topo como pela lateral, e a extração do gás é feita na parte inferior, como apresentado na Figura 1.23.

Os gases deixam o equipamento após passarem pelas zonas quentes, onde o alcatrão contido nos gases é submetido ao craqueamento. As zonas de reação nesse tipo de gaseificador estão bem definidas. A biomassa passa pela zona de secagem, pirólise, combustão e por último pela zona de redução onde forma-se CO e H₂ (MARTINEZ, LORA et al., 2011; GAI e DONG, 2012).

O projeto deste tipo de gaseificador apresenta uma redução do diâmetro interno na região de combustão, conhecido por garganta. Nessa região os injetores de ar visto na Figura 1.20 são posicionados de modo a garantir uma distribuição uniforme da temperatura para tornar eficiente o processo de craqueamento do alcatrão. A vantagem desse sistema é que aproximadamente 99% do alcatrão formado são decomposto dentro do gaseificador, além de ter baixo custo operacional. Porém essa configuração requer biomassa seca com baixo teor de umidade. O gás de saída possui uma elevada temperatura variando entre 900 e 1000°C (MARTINEZ, LORA et al., 2011; GAI e DONG, 2012).

Gaseificadores co-corrente funcionam bem quando acoplados a motores de combustão interna. A sucção do motor desenha um fluxo de ar através do leito de biomassa e o gás é produzido no final. O baixo teor de alcatrão (0.015–3 g/Nm³) no gás de síntese é outra motivação para uso integrado com motores de combustão interna. Um gaseificador co-corrente requer menos tempo para aquecer e levar a planta até a temperatura de trabalho (BASU, 2010).

Em geral, os parâmetros de desempenho de gaseificação de biomassa em um reator co-corrente, ou seja, a composição do gás, seu poder calorífico, o rendimento e a eficiência de conversão do processo dependem de propriedades físicas e químicas da matéria-prima como granulometria. Também há a influência dos parâmetros de processo, como a relação de equivalência de ar que determina os níveis de temperatura. O desempenho também é afetado por uma série de características de projeto do reator, tais como a localização das entradas de ar, o volume da zona de gaseificação e do projeto da grelha (GARCÍA-BACAICOA P, BILBAO R et al., 1994; ZAINAL ZA, RIFAU A et al., 2002; JAYAH TH, AYE L et al., 2003).

Para comparar as eficiências de gaseificação, a maioria dos autores considera eficiência a frio a fim de evitar incertezas. Valores típicos da eficiência frio para gaseificação de biomassa em reatores co-corrente estão entre 50 e 80% (MARTINEZ, LORA et al., 2012).

A eficiência média de uma gaseificador co-corrente usando diferentes tipos de biomassa derivados da madeira é de cerca de 75%, mas pode chegar a 90% em alguns casos especiais (BALU e CHUNG, 2012). A Tabela 1.21 mostra a eficiência de trabalho de um gaseificador co-corrente utilizando diferentes biomassas.

Tabela 1.12: Eficiência média de trabalho de um gaseificador co-corrente trabalhando com diferentes tipos de biomassa (BALU e CHUNG, 2012)

Tipos de Biomassa				
	Pinus	Estrume de Cavalo	Carvalho Vermelho	Papelão
Eficiência do gaseificador	81,9 %	84,3 %	84,6 %	81,6 %

2.3 Gaseificação de Resíduos Sólidos Urbanos

O RSU tem uma vantagem se comparado com outros tipos de biomassa, pois eles constituem um combustível que já está coletado e armazenado em locais como, por exemplo, em aterros sanitários e aterros controlados.

Analisando o potencial energético dos RSU com a futura escassez de combustíveis fósseis, tais como, petróleo o aumento do consumo de energia e os problemas causados, torna-se necessária uma solução eficiente para o tratamento desses resíduos. Essa busca leva a tecnologias de tratamento como a gaseificação, que tem o papel de transformar os detritos gerados pelas sociedades em gás combustível.

A qualidade do RSU como combustível para um processo da gaseificação é importante para o projeto do gaseificador O RSU tem particularidades como, umidade, quanto maior a umidade menor será o poder calorífico do gás (Figura 1.24) e irregularidades na granulometria do RSU que compõe o lixo dificultando o processo de alimentação do gaseificador.

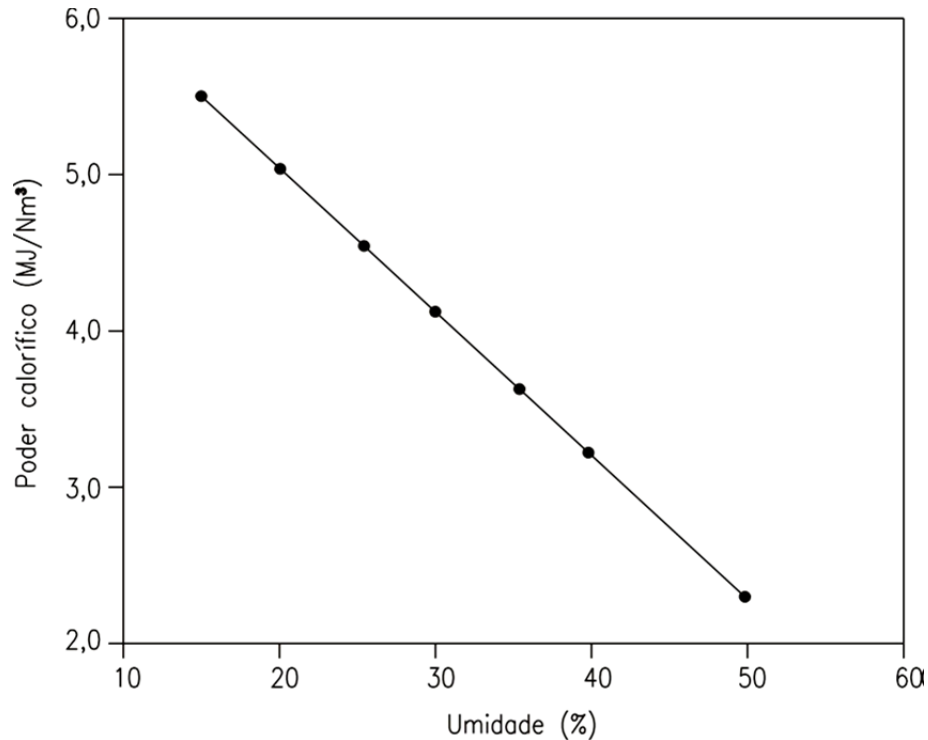


Figura 1.24: Relação entre o poder calorífico do gás e a umidade de entrada do combustível.

Os gaseificadores convencionais de biomassa necessitam da redução da granulometria das partículas utilizando mecanismos mecânicos para que se possa alimentar o gaseificador. O rejeito gerado durante o processo de gaseificação (cinzas) é removido na parte inferior do gaseificador através de roscas helicoidais e as cinzas em suspensão são removidas através de filtros e ciclones.

Há uma percepção geral que as tecnologias da pirólise e da gasificação têm muitas vantagens sobre a combustão, sendo já difundido esse conceito na Europa. Estas vantagens percebidas incluem as altas taxas de reciclagem dos RSU, menores emissões atmosféricas, uso eficaz da energia, custos mais baixos, necessidade de utilização de menores áreas e um impacto visual reduzido.

A incineração ou queima direta dos RSU é a tecnologia de tratamento que envolve a destruição do lixo pela queima controlada em altas temperaturas acompanhada da geração de calor. O calor da combustão pode ser convertido em energia (água quente, vapor ou eletricidade). A incineração é comum em grandes municípios, pois reduz a quantidade de RSU a ser enviada a aterros sanitários (UNEP, 2005).

A incineração consiste na queima bruta dos RSU sem nenhum tratamento prévio, com exceção da remoção de materiais com granulometria muito grande, que podem ser prejudiciais ao processo. Esses itens são detectados por inspeção visual, como, por exemplo,

eletrodomésticos. Estes sistemas são desenvolvidos em capacidades variando de 45 a 900 t/dia na Europa (EMEP, 2009).

A incineração dos RSU passou por duras críticas nas décadas de oitenta e noventa devido às altas emissões de poluentes, principalmente de dioxinas. Por esta razão, limites de emissão rigorosos foram aplicados ao setor, o que praticamente impediu a instalação de novas plantas. Entretanto, o recente avanço nas tecnologias de tratamento de efluentes atmosféricos tornou a tecnologia atraente do ponto de vista ambiental e seu uso vem sendo encorajado em boa parte dos países desenvolvidos (UNEP, 2005).

Comparando os limites de emissão válidos para incineradores de lixo com outras plantas de combustão, pode-se dizer que os novos sistemas de incineração estão entre as mais limpas e confiáveis fontes de energia sob a forma de calor e eletricidade (STEHLIK, 2009). Devido aos impactos causados pelos aterros sanitários, a legislação europeia estipulou que a quantidade de lixo biodegradável aterrado permanentemente em aterros sanitários deve ser reduzida para 75% em 2010, e para 35% em 2020, comparando-se com os níveis de 1995 (Council Directive, 1999). A Tabela 1.13 mostra uma comparação geral da combustão e gaseificação.

Tabela 1.13: Comparação entre as tecnologias de tratamento de RSU(STEFANIS, 2007).

Características	Tecnologia	
	Combustão	Gaseificação /Pirólise
Impacto ambiental	Muito bom	Melhor potencial
Recuperação de energia	Bom	Alto potencial
Recuperação de material fundido	Em desenvolvimento	Potencial recuperação de materiais
Aspectos técnicos	Tecnologia consolidada	Problemas ainda não resolvidos como limpeza dos gases, dificuldade de escalonamento.
Aspectos operacionais	Definido	Ainda não definido
Investimento e custos operacionais	Custo elevado	Igual ou superior a combustão

A Tabela 1.14 apresenta a eficiência na produção de energia elétrica quanto ao processo de tratamento térmico e o sistema utilizado.

Tabela 1.14: Eficiência na produção de energia de acordo com o sistema de geração (DEFRA, 2007).

Tecnologia de conversão	Eficiência da Planta	
	Gaseificação/Pirólise	Combustão (Incineração)
Turbina a vapor	10–20%	14–27 %
Motor de combustão interna	13–28%	n.a.
Turbina a gás - ciclo combinado	30%	n.a.

n.a.: não avaliado

As análises realizadas pelas fontes relatadas não consideram a energia térmica potencial que poderia ser gerada por outros processos de recuperação de energia. A Figura 1.25 mostra as eficiências de geração de energia elétrica, conversão térmica e eficiência global. A Tabela 1.15 mostra uma tentativa de determinar os parâmetros totais da utilização do combustível para diferentes soluções tecnológicas.

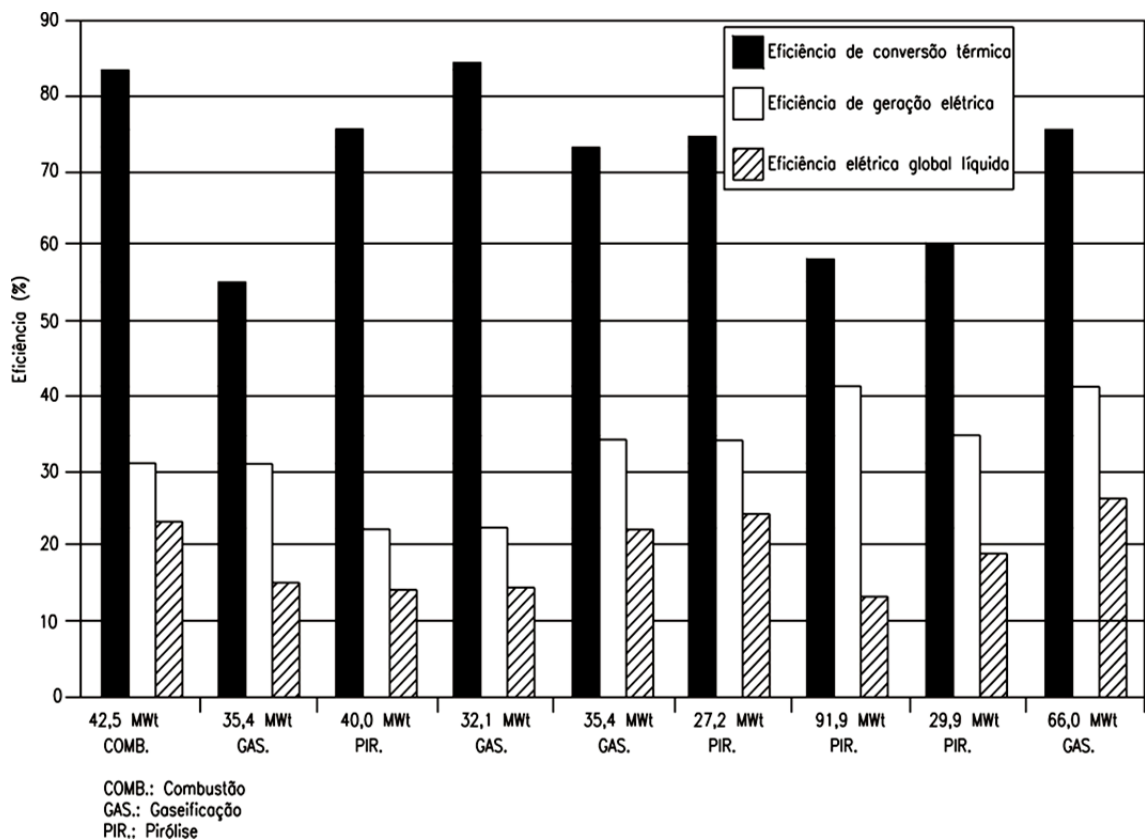
Figura 1.25: Eficiência na conversão térmica, elétrica e global em diferentes de conversão térmica de RSU (GENON, DURANTE *et al.*, 2010).

Tabela 1.15: Eficiências para diferentes tipos de energia proveniente de RSU (GENON, DURANTE *et al.*, 2010).

Características	Combustão de RSU (%)	Gaseificação de RSU para motor de combustão interna (%)	Gaseificação de RSU para turbinas à gás (%)
Eficiência na conversão térmica	80,0	70,0	70,0
Eficiência na geração de potência	31,0	38,0	30,0
Eficiência na geração elétrica	25,0	27,0	21,0
Eficiência na geração térmica	0	45,0	42,0
Eficiência da energia térmica	0	32,0	29,0
Utilização do combustível	25,0	58,0	50,0

Independentemente da tecnologia de gaseificação utilizada para a geração de energia através de RSU o sistema será composto pelas seguintes etapas:

- a) Recebimento e triagem do material do RSU.
- b) Secagem, trituração e compactação do RSU.
- c) Armazenagem do material combustível tratado.
- d) Unidade de gaseificação dos RSU.
- e) Sistema de limpeza e tratamento do gás de síntese produzido na gaseificação.
- f) Unidade moto-geradora.

2.3.1 Recebimento e triagem do RSU

Nessa seção o caminhão de coleta contendo o RSU descarrega o material em uma área especialmente preparada para sua recepção, contando inclusive com uma canalização para coleta dos despejos de efluentes líquidos provenientes desta instalação.

A área de recepção do RSU deve ter piso concretado, constituído de colunas regularmente espaçadas com cobertura de aço na parte superior e nas laterais, dotado de viga de rolamento para receber uma ponte rolante e também um sistema de drenagem pluvial. A altura da cobertura possibilita a descarga do RSU através do caminhão-basculante. O fosso de

descarga do RSU deve ser construído em concreto com paredes inclinadas e em nível superior para permitir o escoamento do RSU até a mesa de triagem.

A partir deste ponto o RSU segue através de esteiras para separação manual e posterior seleção através de um imã eletromagnético para separação de metais. Os materiais devem ser divididos em grupos de acordo com sua natureza específica: metais, metais não ferrosos, vidros, rejeitos, pedras, dentre outros. Os materiais triados podem ser dispostos em tambores metálicos ou bombonas plásticas, pois estes são de fácil manejo e higienização.

A mesa de triagem é construída em metal e deve ser mecanizada, tendo uma altura de aproximadamente 90 cm para facilitar a triagem e diminuir o tempo gasto nesta etapa. A Figura 1.26 mostra uma ilustração do sistema de recebimento dos RSU.

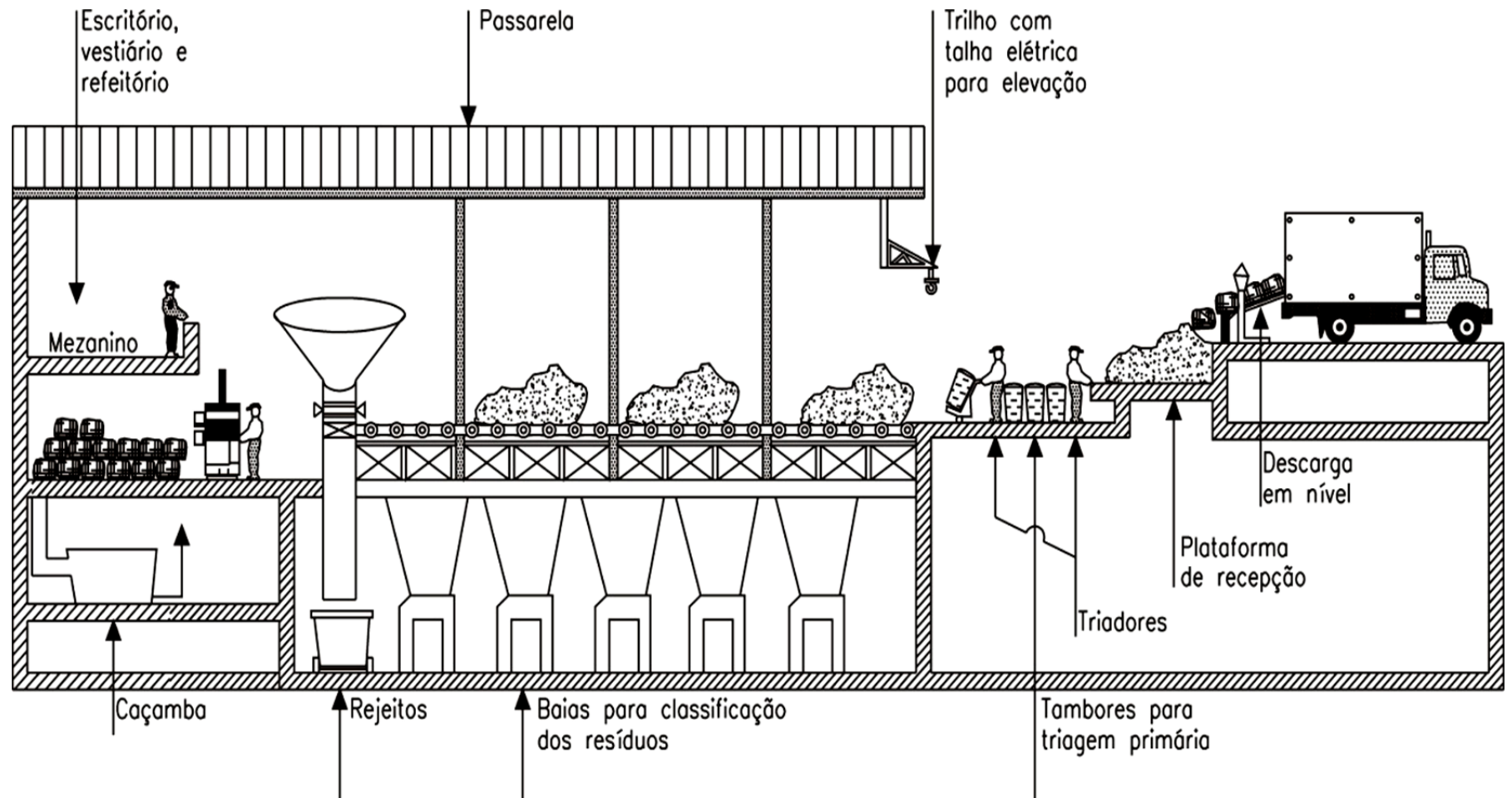


Figura 1.26: Desenho esquemático do sistema de recebimento e triagem dos RSU

2.3.2 Secagem, trituração e compactação.

Após a passagem do RSU pela etapa de triagem para separação de metais, vidros, pedras, dentre outros seguem para a próxima seção, cujo objetivo é produzir RDF na forma de briquetes, os quais são produzidos através da secagem, trituração e compactação do RSU. Os briquetes de RDF são formados por pequenas partículas de material residual, que são, prensadas para formar blocos de forma definida e de maior tamanho.

O processo de compactação pode ser do tipo térmico e pressurizado, porque os briquetes produzidos possuem maior densidade, resistência mecânica e durabilidade. Em torno de 100 °C ocorre a plastificação da lignina contida no RSU, que irá atuar como um aglutinante entre as partículas, dispensando o uso de aglutinantes adicionais. Além disso, temperaturas elevadas evaporam parte da umidade, contribuindo para o incremento do PCI do briquete de RDF. Para que esse processo de aglomeração seja bem sucedido o teor de umidade deverá ficar compreendido entre 8 e 15%, e a granulometria das partículas deverá estar situado entre 10 e 25mm. O sistema de secagem deve ser composto por uma correia transportadora para alimentar o RSU proveniente da triagem em um tambor metálico giratório para realização da secagem.

A taxa de carregamento do RSU possui um grande efeito sobre o funcionamento do secador, se ela for muito elevada o teor de umidade final ideal (entre 8 e 15%) não será cumprido. A Figura 1.27 mostra um esquema do sistema de trituração e secagem do RSU. A trituração deve ser realizada antes da secagem pois alguns compostos do RSU podem reduzir seu tamanho com o calor.

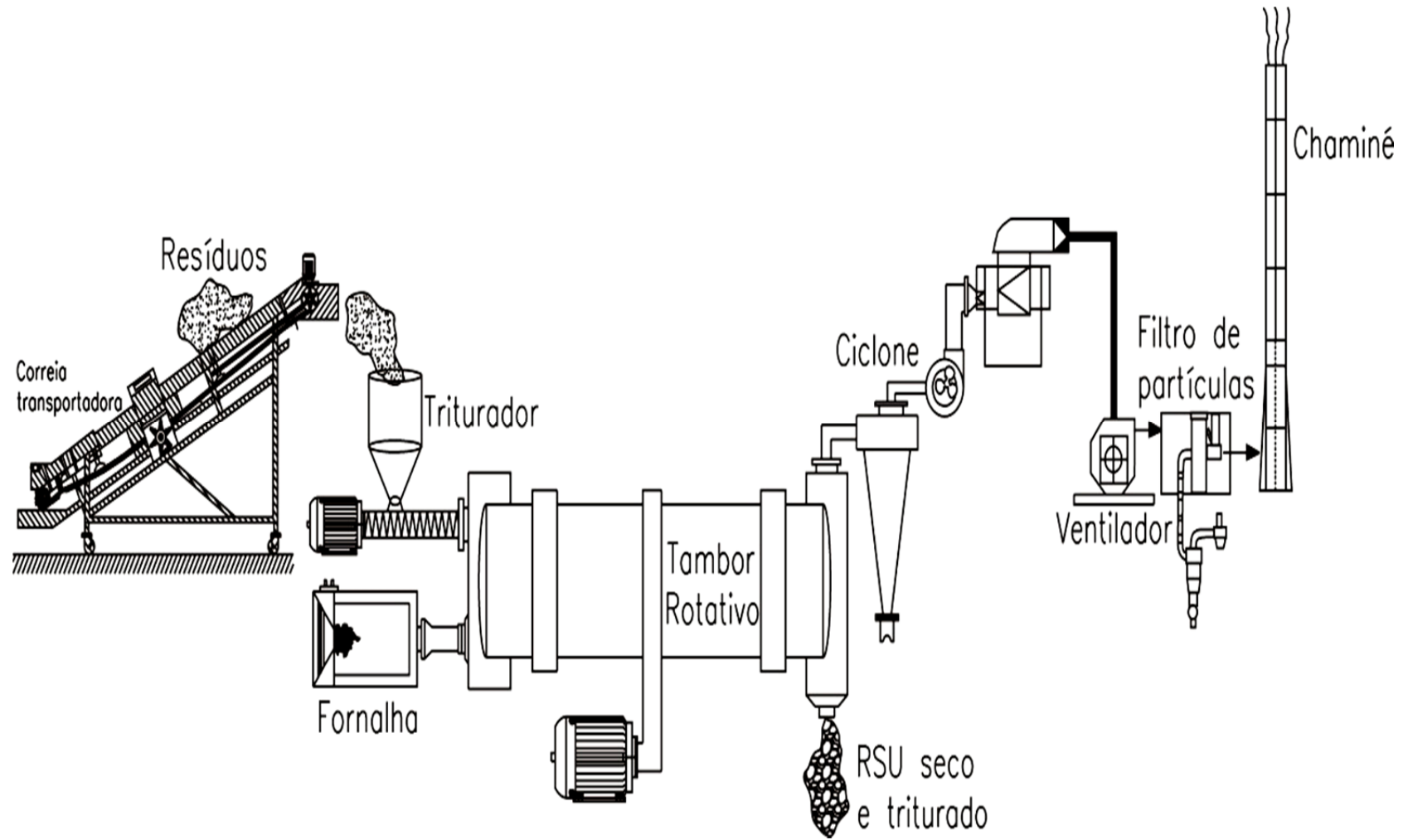


Figura 1.27: Desenho esquemático do sistema de trituração e secagem.

2.3.3 Armazenagem do material combustível tratado

Depois de produzidos os briquetes de RDF combustível devem ser transportados e armazenados em um local próximo ao gaseificador para facilitar a alimentação no equipamento. Este local obrigatoriamente deve ser isolado, completamente identificado e sinalizado, longe de fontes de calor e adequadamente ventilado para que não sejam produzidas misturas que possam resultar em incêndio.

O tamanho do estoque de briquetes deve ser bem definido afim de não ocupar muito espaço físico e também sirva como regulador para eventuais paradas das etapas anteriores evitando a não geração de eletricidade.

2.3.4 Unidade de gaseificação

O gaseificador é um equipamento capaz de converter o RSU em um gás combustível (gás de síntese) através de uma combustão controlada em condições subestequiométricas. A planta de gaseificação de RSU deve incluir os seguintes itens:

- a) O reator de gaseificação.
- b) Sistema de alimentação do RSU no reator de gaseificação.
- c) Sistema de limpeza dos gases.
- d) Sistema de remoção, transporte e disposição das cinzas resultantes.

2.3.5 Sistema de limpeza e tratamento do gás combustível gerado

O gás produzido no sistema de gaseificação dos briquetes de RDF contém impurezas, tais como, os alcatrões e o material particulado, os quais podem causar danos ao sistema de geração de energia. Portanto, é indispensável a utilização de equipamentos de limpeza que tenham por finalidade remover ou transformar os alcatrões e o material particulado presente na mistura gasosa.

O sistema de limpeza pode ser composto por dois processos distintos, por meio da via mecânica seco e por meio da via úmida, sendo que cada um utiliza equipamentos específicos.

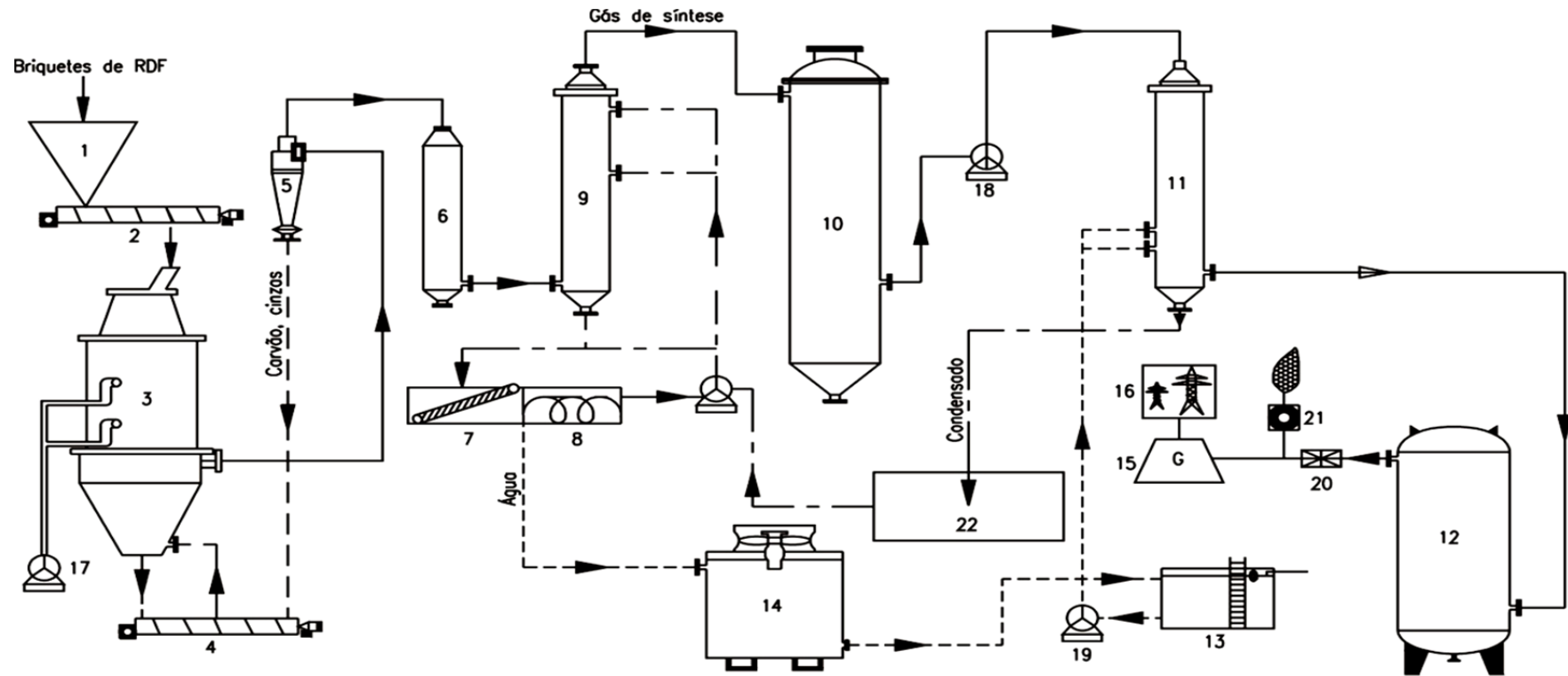
Na via úmida são utilizados lavadores de gases, e na via mecânica seca emprega-se

ciclones e filtros de manga. O sistema de limpeza dos gases deve realizar a remoção de material particulado, alcatrões, álcalis e enxofre a níveis compatíveis para utilização do gás de síntese em motores de combustão interna convertidos para esta finalidade.

Os alcatrões são definidos como uma mistura complexa de hidrocarbonetos condensáveis, que por suas características físico-químicas não são admissíveis em aplicações diretas em motores de combustão interna. O alcatrão pode obstruir as válvulas de injeção do motor e ou contribuir para corrosão das paredes do pistão, dentre outros.

O sistema de limpeza pode ser composto por um ciclone, reator catalítico para craqueamento do alcatrão, filtros de mangas, lavador de gases, coluna de resfriamento e leito de Zinco (Figura 1.28). Após a remoção das impurezas sólidas em um ciclone, o gás de síntese passa por um reator catalítico para craqueamento térmico dos alcatrões resultantes da gaseificação. Em seguida, o gás de síntese deve ser resfriado até o ponto de orvalho em uma coluna de resfriamento antes de passar por filtros de mangas. Os filtros de mangas são fabricados em fibra de vidro e operam a uma temperatura em torno de 260°C, com isso a eficiência requerida na remoção de material particulado, álcalis e dos componentes mais pesados do alcatrão será alcançada.

Depois o gás de síntese irá passar em um lavador de gases para remoção das partículas residuais (cinzas e compostos alcalinos), substâncias orgânicas (alcatrão não removido, gases condensáveis orgânicos, etc.), halogênios e compostos nitrogenados. A limpeza úmida pode remover até 50% do alcatrão presente no gás, e quando seguida por um lavador Venturi, a eficiência de remoção do alcatrão aumenta para 97%.


Legenda dos dispositivos:

1- Silo de armazenamento	7- Coletor de cinzas	13- Tanque de água do ciclo fechado	19- Bomba de água
2- Transportador de briquetes de RDF	8- Tanque do ciclo de resfriamento	14- Torre de resfriamento da água	20- Corta-chamas
3- Gaseificador de duplo estágio	9- Coluna de resfriamento dos gases	15- Moto-gerador	21- Queimador (flare)
4- Extrator de cinzas	10- Filtro de mangas	16- Rede de energia elétrica	22- Tanque de condensado
5- Ciclone	11- Lavador de gases	17- Soprador de ar	
6- Craqueamento catalítico do gás	12- Tanque de armazenamento dos gases	18- Ventilador de tiragem forçada	

Legenda dos fluxos:

- - - - - Água ————— Gás de síntese - - - - - Carvão, cinzas — — — — Condensado

Figura 1.28: Sistema para limpeza do gás de síntese.

2.3.6 Unidade moto-geradora

Para a geração de eletricidade através do gás de síntese produzido no processo de gaseificação deve-se utilizar um motor de ignição por centelha a gás e/ou diesel convertido para esta finalidade. O motor deve ser acoplado a um gerador elétrico que irá operar de forma isolada ou acoplado à rede elétrica (Figura 1.29).

A qualidade do gás produzido na gaseificação é baixa se comparada com GLP ou gás natural. Por isso, para operarem com gás de biomassa proveniente da gaseificação os motores de combustão interna requerem determinadas modificações na sua configuração. Os parâmetros mais importantes que devem ser analisados são: potência, torque, eficiência, emissões atmosféricas, temperatura dos gases na exaustão, análise da tendência de pré-ignição (batida de pino), influência da relação de equivalência ar/combustível e das taxas de compressão.

Quando o motor de combustão interna opera com gás de biomassa as emissões de hidrocarbonetos e monóxidos de carbono são elevadas (MUNOZ, MORENO *et al.*, 2000; SRIDHAR, PAUL *et al.*, 2001).

Os motores a diesel possuem certas vantagens em relação aos motores do ciclo Otto, tais como: maior eficiência em função da maior taxa de compressão (12 a 24), maior durabilidade, baixa manutenção, dentre outras. Motores a diesel podem operar sem modificações com até 80% de substituição do combustível original (diesel).

Os gases e o ar são geralmente misturados em um coletor de admissão e em seguida a mistura de ar-combustível entra nos cilindros do motor.

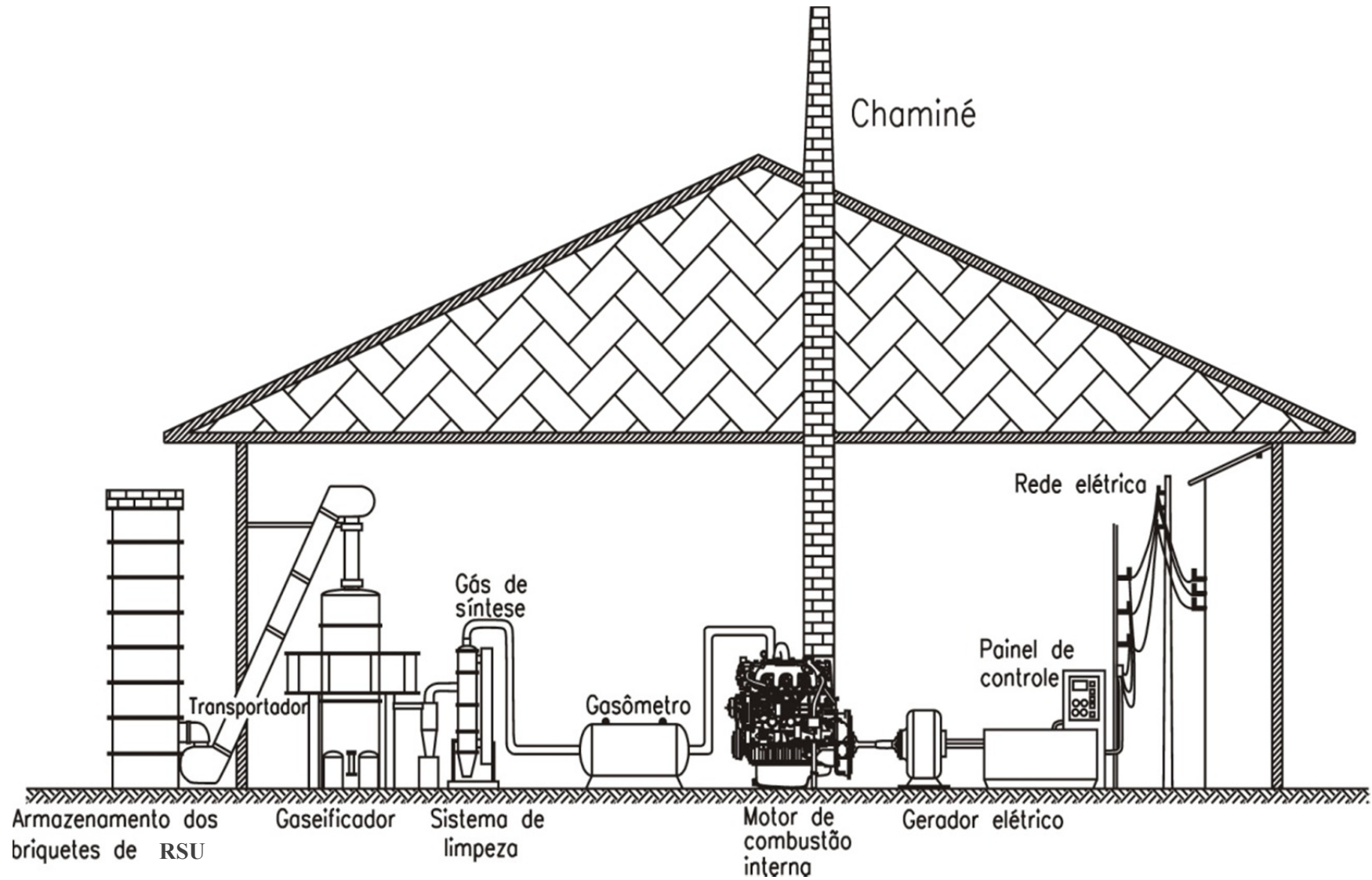


Figura 1.29: Sistema de gaseificação de RSU acoplada a um motor de combustão interna e gerador elétrico.

2.3.7 Localização da Usina

Todo negócio, empresa ou indústria deve apresentar como fator importante em seu planejamento a sua localização. Essa fase do projeto deve ser avaliada com muita cautela, pois o local escolhido será a base para suas atividades de transformação e ou prestação serviço e sua administração geral. A má escolha da localização pode implicar em grandes transtornos para o empreendimento, pois pequenos detalhes considerados desprezíveis no contexto do projeto podem se transformar em grandes desvantagens comerciais e sociais.

Para empreendimentos como uma usina de gaseificação para geração de eletricidade a partir do RSU deve considerar as seguintes condições de localização:

- a) *Logística* – nessa situação deve-se pensar na melhor maneira de coletar o RSU, coletando o máximo de RSU com mínimo de recurso necessário. Coletar o RSU diariamente e ou determinar uma periodicidade adequada, principalmente na estação chuvosa, buscando coletar o RSU com o mínimo de umidade possível.
Analisar a facilidade de acesso e tráfego dos veículos e pessoas.
- b) *Integração ao sistema elétrico* – toda energia elétrica gerada pela usina de gaseificação será transmitida ao sistema elétrico. É importante lembrar-se dos elevados custos para construção de linhas de transmissão, por isso o quanto mais perto de uma rede para integração ao sistema menor será os custos com transmissão.
- c) *Infraestrutura* – todo empreendimento necessita ter acesso aos serviços básicos como água, esgoto e energia elétrica. Caso esses serviços não estejam disponível no local escolhido será necessário um maior incremento no capital de investimento para custear esses serviços.
- d) *Geografia* – deve observar nesse item questões relacionadas a geografia local como rios, morros, barrancos e condições das vias de acesso, pois enchentes inesperadas, deslizamentos de terra e a má conservação das vias de acesso podem limitar as operações da usina de tratamento.
- e) *População local* – é importante pensar nas moradias próximas ao local escolhido, pois todo empreendimento pode gerar emissões, estas podendo ser sólidos, gases e líquidos. As emissões gasosas podem gerar incômodos na

população local através de seus odores, assim como as emissões de sólidos e líquidos pode poluir o solo e corpos d'água da região. É importante ponderar sobre o ruído também, pois todo processo industrial ou não pode apresentar ruído, podendo ultrapassar o permitido por legislação.

2.4 Análise Econômica

2.4.1 Análise econômico-financeira

Os mais importantes métodos para avaliação de investimento em um projeto são o valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR).

Valor Presente Líquido (VPL) é a soma dos fluxos líquidos anuais descontados o ano zero do investimento. O fluxo de caixa líquido anual é a diferença entre as entradas e saídas de dinheiro incluindo os impostos e juros para o determinado período de tempo.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto em que o VPL é igual a zero. Este método também é conhecido como a Taxa de Juros de Retorno, Taxa de Fluxo de Caixa descontado de retorno do investimento e ou Índice de Rentabilidade.

O período de retorno é o intervalo de tempo entre o início das vendas e o ponto em que o fluxo de caixa do projeto torna-se positivo. O Valor do dinheiro no tempo pode ou não ser usado (REMER, STOKDYK *et al.*, 1993).

Os investidores precisam de ferramentas para prever a rentabilidade dos investimentos propostos. Estes métodos de avaliação podem ser aplicados a projetos independentes para determinar se é viável investir ou não no negócio. Esse método é muito importante para empresas, executivos e engenheiros.

Como há uma discussão entre investidores e economista se perguntando qual a melhor opção de análise de investimentos utilizarem, opta-se por realizar os dois métodos para a elaboração de projetos de geração de bioenergia. A utilização dos dois métodos pode apresentar bom respaldo para a tomada de decisão, uma vez que empresários tem a opção de escolher qual o mais adequado dentro de seus conceitos.

3 METODOLOGIA

Para possibilitar o projeto e a avaliação da viabilidade econômica da instalação de uma usina de gaseificação do RSU para cada um dos 5.565 municípios brasileiros, estes foram classificados em 15 grupos de acordo com a faixa populacional. Outra opção para viabilizar o projeto e a avaliação seria a criação de consórcios municipais, ou seja, agrupar municípios de acordo com suas proximidades. Os consórcios também podem ser aplicados em cidades com mais de 1.000.000 de habitantes.

O projeto prevê a instalação de uma unidade de gaseificação do RSU e aplicação do gás gerado como combustível em um motor de combustão interna acoplado a um gerador elétrico para cada faixa populacional.

Foram projetadas 15 usinas com capacidade para tratar o RSU da população média de cada um destes grupos.

Cada projeto foi dimensionado a partir de equipamentos disponíveis no mercado brasileiro. No período entre setembro e outubro de 2012 foi solicitado um orçamento para cada equipamento atendendo a capacidade necessária.

Para cada um dos projetos foi realizada uma avaliação econômica por meio do VPL e TIR.

Todos os cálculos e análise foram realizados e analisados em planilhas eletrônicas em Excel®. Para a avaliação dos resultados utilizou-se o *Crystal Ball* um suplemento do Excel de análise estatística.

3.1 Projeto

A fim de facilitar o entendimento do processo de tratamento do RSU foi elaborado layout e fluxograma. Todo processo deve ser organizado de forma a obter uma sequência das atividades a serem desenvolvidas.

O layout é uma maneira de apresentar as etapas do processo de forma organizada, já o fluxo de processo é a maneira de descrever as etapas do processo.

3.1.1 Fluxo de processo.

O fluxo de processo é a descrição de maneira sequencial de todas as atividades necessárias para transformação de uma matéria prima em um produto final. O mesmo define a operação e seu número, as características mais importantes da operação e as observações necessárias de interesse do projeto.

3.1.2 Layout

Foi elaborado um layout com a disposição e sequencia dos equipamentos. Os equipamentos foram alocados e distribuídos de acordo com o fluxo de processo.

Esse layout foi generalizado. Cada grupo populacional deve utilizar o mesmo layout para organização dos equipamentos, pois a sequencia das atividades é sempre a mesma.

3.2 Memorial de cálculos

3.2.1 Classificação dos municípios brasileiros

Foram utilizados os dados demográficos do último censo do IBGE de 2010. Os 190.755.799 brasileiros estão desigualmente distribuídos em 5.565 municípios. A densidade demográfica varia de menos de um a mais de 100 habitantes/km². A população dos municípios varia de 805 a mais de 11 milhões de habitantes.

Os 5.565 municípios brasileiros foram classificados em 15 faixas populacionais, nomeados por letras de A a O, em ordem crescente de população. A população média de cada grupo foi obtida pela divisão da população total dos municípios pertencentes a este grupo pelo número destes municípios.

3.2.2 Geração diária de RSU por faixa populacional

Segundo a ABRELPE (2011), cada brasileiro produz em média 1,2 kg de lixo por dia. A geração diária (GD) de RSU de cada grupo foi calculada segundo a equação 3.1:

$$GD = \text{população média do grupo} \times \text{geração de lixo per capita} \quad (3.1)$$

3.2.3 Separação do material reciclável

Segundo o art. 9º da lei nº 12.305, sobre RSU, deve-se separar os materiais passíveis de reciclagem antes da realização do tratamento e/ou disposição final correta. Segundo a ABRELPE (2011), pela análise gravimétrica, o lixo brasileiro é composto por 2,4% de vidros, 2,9% de metais, 13,1% de papel, papelão e tetrapak, 13,5% de plásticos, 16,7% outros e 51,5% de matéria orgânica. O papel contido no lixo foi considerado todo contaminado sendo utilizado seus 13,1% para a conversão energética.

Logo, antes do tratamento térmico do RSU, considerou-se a separação dos seguintes recicláveis: 13,5% de plásticos, 2,4% de vidros e 2,9% de metais.

3.2.4 Equação para a conversão da massa do RSU úmido em seco

O RSU deve estar seco antes de ser briquetado. Apresenta-se na equação 3.2 a estimativa da massa do RSU seco:

$$\text{lixo seco} = \text{lixo úmido} \times 0,30 \quad (3.2)$$

O valor 0,30 é a constante obtida pela divisão da umidade de saída desejada pela umidade de entrada. Conforme Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (IBAM, 2001) a umidade do RSU pode variar de 40 a 60% de acordo com a estação do ano. Logo, foi considerada como umidade de entrada do lixo 50% e a umidade de saída desejada de 15%.

3.2.5 Tipos de gaseificadores

Os gaseificadores co-correntes de leito fixo apresentam alta eficiência na conversão do carbono contido na biomassa, produzindo pouca cinza e um gás com baixo teor de alcatrão (WARNECKE, 2000).

A eficiência média dos gaseificadores co-correntes de leito fixo fica acima dos 75% para diferentes tipos de biomassa derivada de madeira, podendo chegar a 90% em alguns casos (BALU e CHUNG, 2012).

MARTINEZ, LORA *et al.*, 2012 relata que a eficiência a frio de um gaseificador co-corrente pode variar entre 50% e 80%.

O gaseificador co-corrente de leito fixo foi utilizado no projeto as usinas deste trabalho. Foi considerada uma eficiência do gaseificador de 70% a frio para todas as faixas populacionais.

3.2.6 Energia térmica disponível no RSU

Energia térmica (PT) é a quantidade de energia disponível em uma determinada vazão de um combustível. Segue o cálculo da potência térmica conforme a equação 3.3:

$$PT = PCI \times \text{vazão mássica} \quad (3.3)$$

O PCS (poder calorífico superior) do RSU pode ser obtido por meio de um calorímetro. O PCI (poder calorífico inferior) pode ser estimado por meio da equação (3.4) a partir da composição elementar do RSU. A composição elementar define as frações de cada composto da biomassa.

Para o presente trabalho foi utilizado o cálculo estimado através da formula proposta pelo cientista russo Dimitri Mendeleiev:

$$PCI = (339,13 \times \%C) + (1029,95 \times \%H) - (10,8,85 \times (\%O - \%S)) - (25,12 \times \%W) \quad (3.4)$$

As porcentagens de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), enxofre (S) e umidade (W) estão de acordo com a composição elementar do RSU mostrada por (BASU, 2010).

3.2.7 Eficiência dos equipamentos do sistema de conversão do RSU em energia elétrica

A eficiência utilizada para os motor-geradores foi baseada em Schmitz e Koch (1996). Segundo eles, quanto maior a escala do motor maior será sua eficiência.

A Figura 1.30 mostra a eficiência elétrica dos motores de combustão interna, é observado que a potência do motor tem influência direta na sua eficiência.

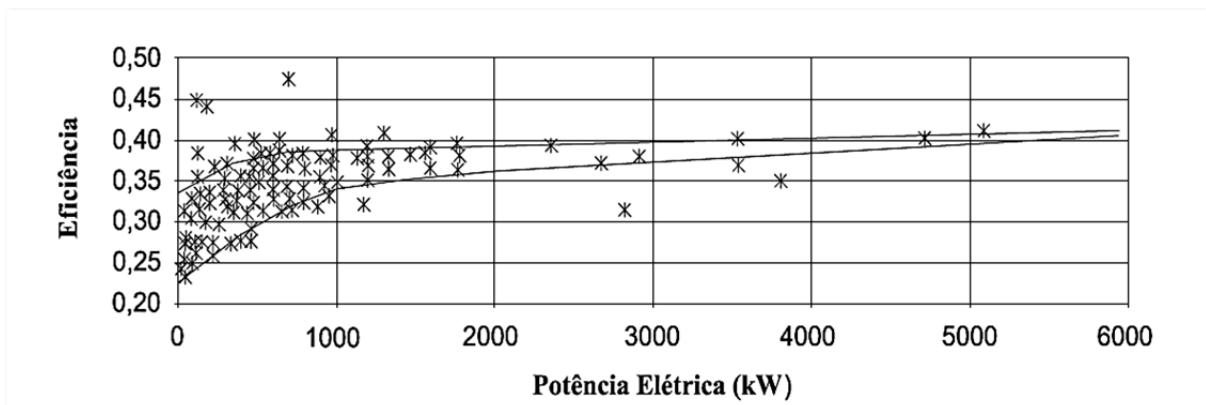


Figura 1.30: Eficiência elétrica dos motor-geradores, adaptado de acordo com (SCHIMITZ e KOCH, 1996).

A eficiência total do sistema (E_{ts}) foi calculada multiplicando a eficiência do motor pela eficiência do gaseificador.

A potência elétrica total disponível foi calculada pela multiplicação da eficiência total do sistema pela energia térmica disponível no RSU.

3.2.8 P.I, Pe.B e Pe.L

A potência instalada (P.I) é a capacidade total de geração do motor-geradores, ou seja, é a potência elétrica nominal especificada pelo fornecedor. A capacidade produtiva de geração é dividida em bruta e líquida.

A potência específica bruta (Pe.B) é a energia disponível por tonelada de lixo úmido antes de contabilizar o consumo energético do processo, é dada pela equação 3.5:

$$Pe.B = \frac{PT \times E_{ts}}{V.L.U.T} \quad \frac{kW}{ton. lixo. úmido} \quad (3.5)$$

A potência específica líquida (Pe.L) é a energia disponível por tonelada de lixo seco após contabilizar o consumo energético (CE) do processo, é calculado pela equação 3.6:

$$Pe.L = \frac{Pt \times Ets}{V.L.S.T} - (CE) \left[\frac{Kw}{ton.lixo.seco} \right] \quad (3.6)$$

3.2.9 Eficiência da Usina (Eficiência Líquida)

A eficiência líquida da usina (El.U) é o quanto de energia líquida foi disponibilizado para consumo em relação à energia de entrada. A eficiência global foi dada pela equação 3.7:

$$El.U = \frac{Pe.L}{PT} \times 100 \quad (3.7)$$

3.2.10 Créditos de Carbono

A tecnologia de gaseificação pode gerar uma redução de emissão de 0,078601 toneladas de carbono por tonelada de RSU tratado (URS CORPORATION, 2005a).

Os créditos de carbono (CC^G) gerados pela eletricidade gerada a partir da gaseificação foram calculados pela equação 3.8:

$$CC^G = \Sigma \text{ do RSU tratado } \times 0,0786 \quad (3.8)$$

A geração de energia elétrica para a rede resulta em ganhos de créditos de carbono (CC^T) por MW transferido. De acordo com o Ministério de Ciência e Tecnologia, o fator para calcular os créditos de carbono de geração é de 0,6573 para o mês de outubro de 2012 (BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA).

Os créditos de carbono de taxa de geração foram calculados pela equação 3.9:

$$CC^T = Pe.L \times 0,6573 \times \Sigma \text{ do RSU tratado} \quad (3.9)$$

O somatório dos créditos de carbono (T e G) resulta nos créditos de carbono disponível para comercialização.

As RCE's (Reduções Certificadas de Emissão) foram negociadas a R\$ 4,83 a tonelada (€ 1,83) no período de 2 a 9 de outubro de 2012 (INSTITUTO CARBONO BRASIL, 2012).

3.2.11 Custo de Investimentos

Os custos de implantação foram divididos em custos de capital e capital de giro. Os custos de investimentos correspondem à aquisição dos equipamentos, instalações de utilidades (água, ar comprimido e gás), elétricas e equipamentos, construção civil, instrumentação e controle, projetos de engenharia, terreno e outros serviços.

Os custos de implantação foram estimados a partir dos custos dos principais equipamentos mostrados na Tabela 1.16.

Tabela 1.16: Custos e capacidade dos equipamentos(cotações realizadas em set.- out./2012)

Custos e capacidade produtiva dos equipamentos			
Equipamento	Capacidade Produtiva	Custo (R\$)	Potência Instalada (CV)
Separação Primária	0,4ton./hora	207.420,000	35
	2,1ton./hora	700.000,00	60
	4,2ton./hora	870.000,00	70
	10ton./hora	2.182.000,00	180
	16,7ton./hora	3.530.000,00	240
Tratamento Mecânico (briquetes)	0,5 ton./hora	231.700,00	60
	0,8 ton./hora	324.800,00	75
	1,0 ton./hora	357.800,00	90
	1,5 ton./hora	415.400,00	110
	2,0 ton./hora	488.100,00	135
Gaseificador	500 kWt/hora	250.000,00	5
	1.000 kWt/hora	430.000,00	7
Motor-gerador	120 KVA/hora	145.832,00	0
	250 KVA/hora	298.700,00	0
	330 KVA/hora	345.780,00	0

De acordo com (PETERS e TIMMERHAUS, 1991) a estimativa dos custos pode apresentar até 20% de erro para mais e para menos. O método destes autores consiste no incremento de um valor para cada tipo de atividade necessária para a implantação da usina buscando considerar os custos com projeto, terreno, instalação, instrumentação, obra civil e outros serviços. Os percentuais de incremento para todas as atividades são mostrados na Tabela 1.17. Aplica-se o incremento percentual de cada atividade sobre o valor do equipamento e soma-se ao final.

Tabela 1.17 Incremento percentual para estimativa de custo (adaptado de (PETERS e TIMMERHAUS, 1991))

Atividade	Incremento Percentual
Instalação dos Equipamentos	25%
Instrumentação e Controle	15%
Instalação de Utilidades	8%
Instalações Elétricas	25%
Construção Civil	18%
Terreno	6%
Projetos de Engenharia	9,2%
Outros Serviços	1,2%

O capital de giro é o valor estimado para garantir o pagamento de despesas como operação, manutenção e despesas extras até a usina começar apresentar receitas com a venda dos subprodutos.

O capital de giro pode variar de 10% a 20% do custo de capital de acordo com (PETERS e TIMMERHAUS, 1991). O valor de 10% sobre o custo de capital foi considerado como capital de giro para este trabalho.

O custo de implantação para cada usina proposta foi a soma dos custos de capital mais o capital de giro.

3.2.12 Custos de Operação e de Manutenção (O&M)

Os custos operacionais (C.O) consideram os gastos com salários e encargos relacionados à operação e manutenção da usina. O cálculo de custos de operação é dado pela equação 3.10:

$$C.O = C.M.O \times N.T \quad (3.10)$$

Foi considerado um trabalhador para cada tonelada de lixo recebido na usina.

Os custos de mão de obra (C.M.O) foram calculados pela equação 3.11:

$$C.M.O = SAL + E.T \quad (3.11)$$

Foi considerado no cálculo da mão de obra o salário mínimo nacional brasileiro (SAL) de R\$ 622,00 vigente no ano de 2012. Os encargos trabalhistas (E.T) considerados foram: INSS, férias, 13º salário e fundo de garantia, totalizando 71,5% do salário.

Os custos de manutenção dos equipamentos (C.M.E) foram fornecidos pelos fabricantes, os mesmos apresentam variações. As variações foram de R\$ 4.600,00 a R\$ 12.720,00 para cada 24 horas de operação.

O custo de manutenção (C.M) foi calculado pela equação 3.12:

$$C.M = HT \times C.M.E \quad (3.12)$$

Foi definido 7500 horas de trabalho (H.T) na usina por ano, equivalente a 313 dias.

3.2.13 Fator de Utilização

O fator de utilização (F.U) é a fração de utilização do equipamento, ou seja, é a quantidade processada (Q.P) no equipamento dividido pela sua capacidade de processamento (C.P). Esse parâmetro pode ser utilizado para determinação da ociosidade da planta e ou a disponibilidade para aumento de capacidade produtiva.

O fator de utilização foi calculado pela equação 3.13:

$$F.U = \frac{Q.P}{C.P} \quad (3.13)$$

Se o fator de utilização for maior que um (>1) a planta está com a capacidade menor que a demanda e se o valor for menor que um (<1) a planta está ociosa, ou seja, sua capacidade é maior que a demanda.

3.2.14 Análise Econômica

O período considerado para análise econômica foi de 20 anos. De acordo com o Finem (BNDES), os custos de financiamento para recuperação de passivos ambientais é estabelecido conforme a capacidade de pagamento do empreendimento.

A análise econômico-financeira foi realizada por meio dos indicadores VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno) e análise do resultado operacional.

Foi feita a avaliação de três diferentes cenários. O cenário 1 com taxa de juros de 10,58% a.a. Esta taxa de juros foi a soma da TJLP (Taxa de Juros em Longo Prazo, out/2012) que foi de 5,5% a.a, mais 4,18% de taxa de risco de crédito e mais 0,9 de remuneração básica do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento) totalizando 10,58% a.a. O cenário 2 considerou a taxa Selic de 7,5% a.a de setembro de 2012 (taxa básica de juros no Brasil) e o cenário 3 considerou o dobro da taxa Selic, sendo de 15% a.a.

A análise econômica foi baseada na avaliação do VPL e TIR. O objetivo desta análise é dar respaldo para empresas privadas e investidores que tenham interesse no tratamento de RSU. Para o setor público foi analisado apenas o resultado operacional, uma vez que a sustentabilidade justifica o investimento, ou seja, sua capacidade de pagar seus custos de investimento, manutenção e operação.

Foi elaborado um fluxo de caixa com todas as entradas e saídas.

As entradas foram os rendimentos com a venda da eletricidade produzida, vendas dos créditos de carbono, vendas dos materiais recicláveis e taxas para tratamento do lixo.

As despesas incluem os custos com os equipamentos e instalação, juros de financiamento e custos com operação e manutenção.

O preço de venda da eletricidade foi considerado R\$ 150,00/ MW. De acordo com os leilões de energia de reserva da CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), o preço do MW variou de R\$ 130,00 a R\$ 160,00 no ano 2012. Essa variação de preço foi considerada para a validação do cálculo do VPL.

Para o cálculo dos rendimentos dos recicláveis foram utilizados os valores de outubro de 2012 da CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem): R\$ 1400,00/ton. plásticos, R\$ 240,00/ton. vidro e de R\$ 190,00/ton. metais.

As taxas pela disposição do tratamento do RSU em aterros sanitários variam de R\$ 40,00 a R\$ 80,00. O valor médio de R\$ 60,00 por tonelada foi adotado como taxa de tratamento de lixo.

O resultado operacional (R.O) foi calculado pela dedução dos custos (operação, manutenção, de instalação e juros de empréstimos) dos rendimentos (B.A) anuais da usina. Os custos de operação, manutenção e instalação (C.A.M.O.I) foram uniformizados e divididos igualmente para cada ano do financiamento. Já os juros foram deduzidos diretamente.

O resultado operacional é o lucro ou prejuízo do investimento. Os valores dos custos e dos rendimentos foram uniformizados para todos os anos e foi estabelecida uma equivalência do valor futuro da moeda para o valor atual. Foram considerados os custos anuais de operação, manutenção e instalação e os rendimentos anuais (entradas).

O resultado operacional foi avaliado em dois períodos, sendo o primeiro até 10 anos e o segundo de 10 a 20 anos. O primeiro período corresponde à análise do resultado operacional incluindo todos os custos de investimento. O segundo período é análise do resultado operacional sem os custos de investimento, ou seja, após a amortização do capital investido.

O resultado operacional foi calculado através da equação 3.14.

$$R.O = B.A - (C.A.M.O.I - JUROS) \quad (3.14)$$

Os resultados da análise econômica foram obtidos utilizando-se valores fixos para o preço de venda de eletricidade de R\$150,00, número de horas trabalhadas de 7500h/ano e taxa paga para o tratamento do RSU de R\$ 60,00, assim como o valor médio de RSU disponível para cada faixa populacional.

No entanto, estes valores apresentaram uma variação previsível de R\$130,00 a R\$160,00 para o preço de venda de eletricidade, de 6750 a 8760 horas para as horas trabalhadas por ano e de R\$40,00 a R\$80,00 para a taxa de tratamento do RSU. Por meio do Crystal Ball foram realizadas para cada faixa populacional análises da probabilidade de atingir a viabilidade econômica (TIR, VPL e Resultado operacional) ser maior que zero, considerando estas possíveis variações.

Foi realizada uma análise de sensibilidade considerando os valores fixos da venda de eletricidade, horas trabalhadas, vendas dos recicláveis e créditos de carbonos. Essa análise variou apenas a taxa de tratamento do RSU buscando determinar mínimo valor cobrado para que a usina tenha viabilidade econômica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Classificação dos municípios brasileiros

Considerando a impossibilidade de projetar e realizar a avaliação da viabilidade econômica da instalação de uma usina de gaseificação do RSU para cada um dos 5.565 municípios brasileiros, foi necessária a divisão destes em faixas populacionais (Figura 4.1, Tabela 4.1).

Tabela 4.1: Classificação dos municípios brasileiros e geração diária de RSU

Grupo	Faixa populacional	População média	Número de municípios	Geração média de RSU ton./dia
A	805 a 5.000	3.362	1.301	4,10
B	5.001 a 10.000	7.048	1.212	8,60
C	10.001 a 20.000	14.093	1.401	17,19
D	20.001 a 30.000	24.110	581	29,41
E	30.001 a 40.000	34.203	311	41,73
F	40.001 a 50.000	44.371	151	54,13
G	50.001 a 75.000	60.714	220	74,07
H	75.001 a 100.000	85.306	105	104,07
I	100.001 a 150.000	117.515	106	143,37
J	150.001 a 200.000	173.231	44	211,34
K	200.001 a 350.000	259.845	70	317,01
L	350.001 a 500.000	411.891	25	502,51
M	500.001 a 750.000	597.139	15	728,51
N	750.001 a 1.000.000	844.251	8	1.029,9
O	Acima de 1.000.000	2.677.360	15	3.266,4

O Brasil é um país no que predominam os municípios pouco populosos. Cerca de 80% dos municípios brasileiros possui menos que 30.000 habitantes (grupos Aa D). No entanto,

apenas 24,5% dos brasileiros vivem nestes municípios. A maioria dos brasileiros (75,5%) se concentra em apenas 20% dos municípios (grupos E a O, Tabela 4.1).

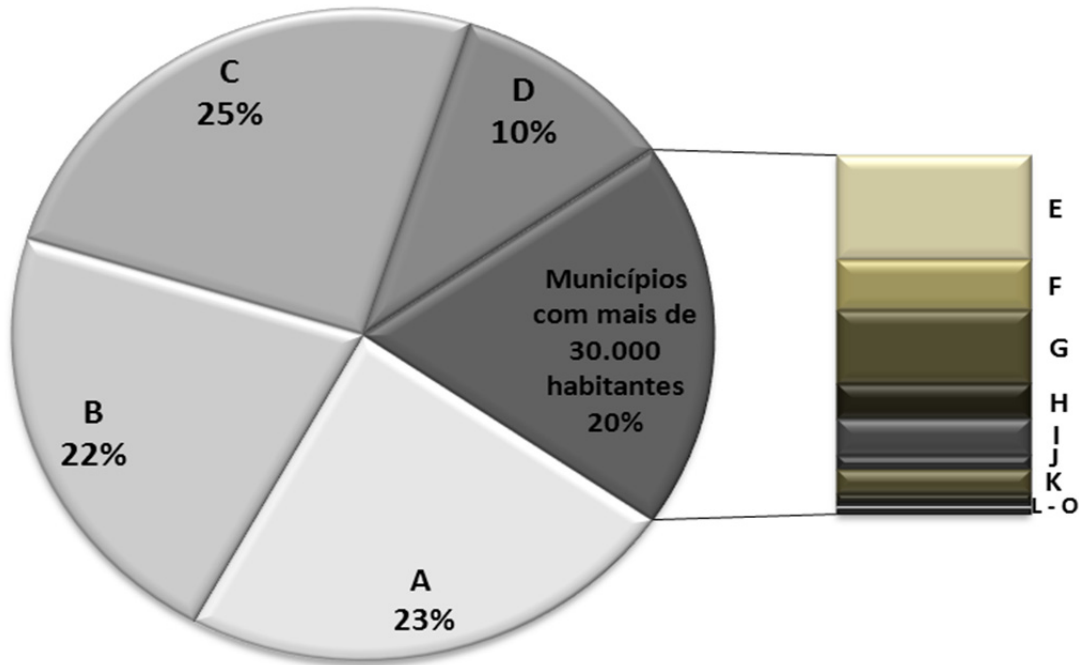


Figura 4.1: Percentual equivalente de município em relação ao total de municípios brasileiros para cada faixa populacional.

Os municípios brasileiros mais populosos, ou seja, 1/5 dos municípios (grupos E a O) produzem diariamente cerca de 3/4 dos RSU brasileiro.

Os resultados mostram que se o RSU for tratado e disposto adequadamente em apenas 1/5 dos municípios brasileiros, incluindo os mais populosos o Brasil terá 3/4 de todo RSU gerado tratado corretamente com aproveitamento energético e dos recicláveis.

4.2 Geração diária de RSU, recicláveis e energia disponível.

A população e a geração per capita de lixo foram à base para o cálculo da geração média de resíduos por município. A geração média de lixo foi utilizada para os cálculos da capacidade de todos os equipamentos e processos para o tratamento do RSU. O tratamento do RSU foi dividido em quatro etapas (Separação Primária, Tratamento Mecânico, Conversão Térmica e Produção de Eletricidade), sendo que cada etapa tem seus processos e característica específica. A Figura 4.2 detalha todo processo através de um fluxograma.



Figura 4.2: Fluxograma para o tratamento do RSU por gaseificação.

Considerando a composição gravimétrica da ABRELPE (2011) para os grupos estudados a disponibilidade média de RSU (sem recicláveis) variou de 3 a quase 3.000 toneladas por dia. Este estudo não considerou as possíveis diferenças, porém o RSU de grandes cidades pode apresentar diferentes composições se comparado ao RSU de cidades menores e afastado dos grandes centros urbanos.

De acordo com o fluxograma da Figura 4.2 a separação primária consiste na realização da triagem. Esta é a etapa mais importante para o processo, pois é onde são retirados os recicláveis, principalmente os metais, pois podem danificar equipamentos das etapas seguintes.

Os materiais recicláveis são separados em plásticos, metais e vidros e acondicionados de forma adequada para comercialização.

Conforme a composição gravimétrica média do lixo brasileiro os recicláveis separados equivalem a 18,2% do lixo de entrada, restando 81,8%. Este restante foi utilizado para o cálculo da energia disponível. A energia disponível constituiu a base para a determinação da potência dos geradores possibilitando assim a determinação da potência instalada da usina

proposta. A Figura 4.3 mostra a disponibilidade média de RSU (sem recicláveis) e a potência instalada da usina.

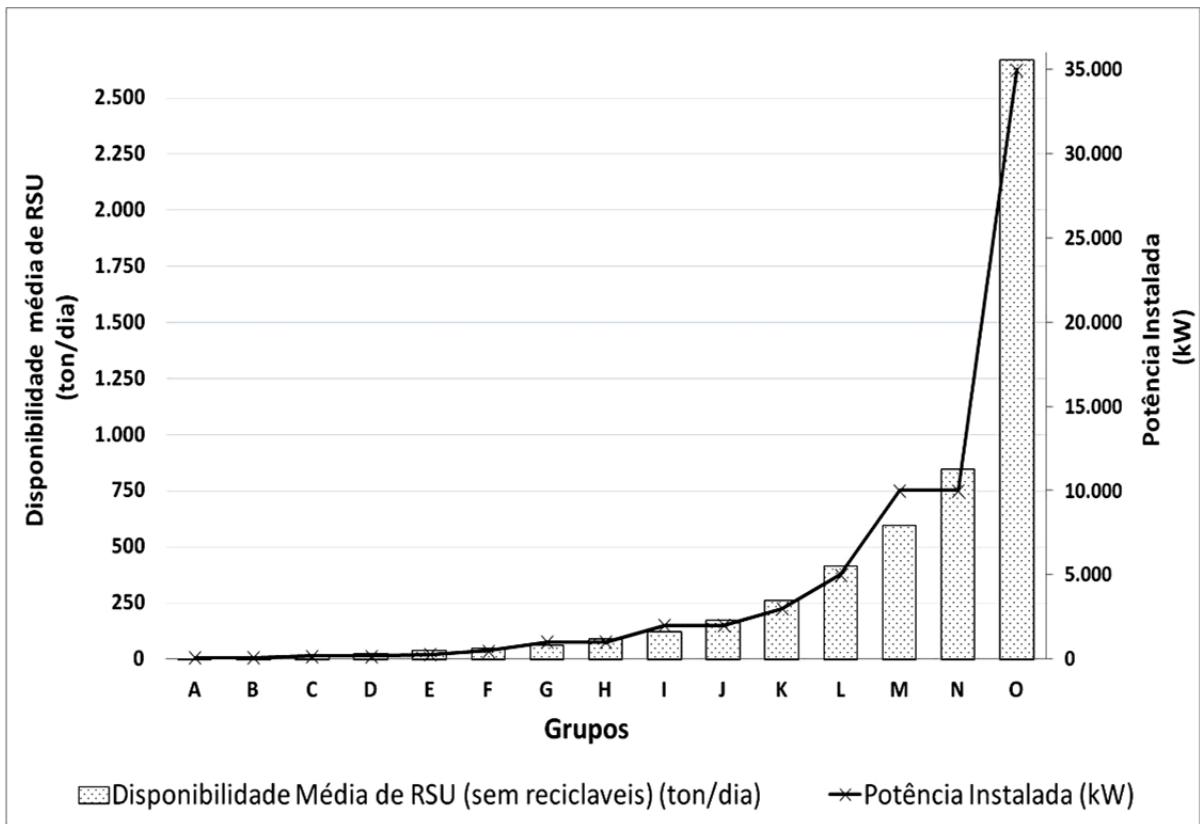


Figura 4.3: Disponibilidade média de RSU e Potência Instalada

A potência instalada variou de 96 kW (grupo A) com 3,3 toneladas de RSU diário a 35.000 kW (grupo O) com 2.660 toneladas de RSU.

A Figura 4.3 mostra a relação da quantidade de RSU disponível para tratamento e a potência instalada. A potência instalada não cresce na mesma proporção que a média de lixo devido ao fator de utilização.

Analisando os grupos A e B da Figura 4.3 é possível observar que ambos têm a mesma potência instalada, mas com fatores de utilização diferentes conforme Figura 4.4. Foi observado que o mesmo ocorre para os grupos C e D, G e H, M e N.

O fator de utilização variou devido a falta de equipamentos compatíveis com a necessidade de cada projeto, sendo necessário em vários casos a utilização de equipamentos com capacidade maior que a necessidade.

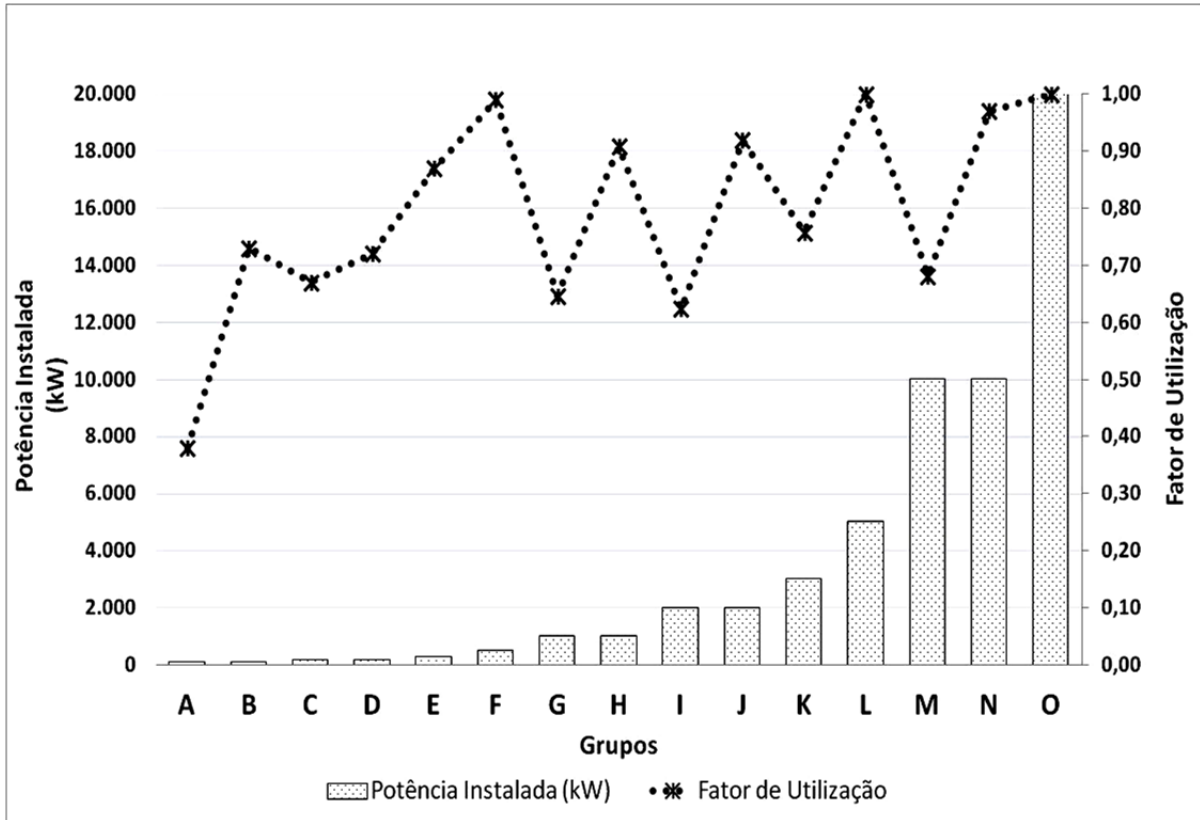


Figura 4.4: Fator de utilização da usina

Se o fator de utilização é menor que 1, indica que mesmo trabalhando um menor número de horas a planta terá a mesma eficiência. Sendo este fator menor que um significa que a planta apresenta ociosidade. Este período de ociosidade pode ser aproveitado para a realização da manutenção preventiva, buscando garantir o ótimo desempenho de funcionamento da planta e aumentar sua vida útil. No entanto o projeto já considera um período de 1260 horas (52 dias) para manutenção e paradas inesperadas.

Os grupos F, H, J, L, N e O, que têm um alto fator de utilização, apresentam melhor aproveitamento dos equipamentos. Os grupos B, C, D, E, G, I, K, e M apresentam baixos fatores de utilização sem perder a eficiência conforme a Figura 4.5.

O fator de utilização serve como base para a escolha do equipamento mais adequado para suprir a demanda. Logo os grupos que apresentam fator de utilização entre 0,6 a 0,9 tem capacidade para uma possível expansão, pois de acordo com a Figura 4.6, há uma forte tendência no crescimento diário da geração de RSU o que justifica uma maior capacidade da usina.

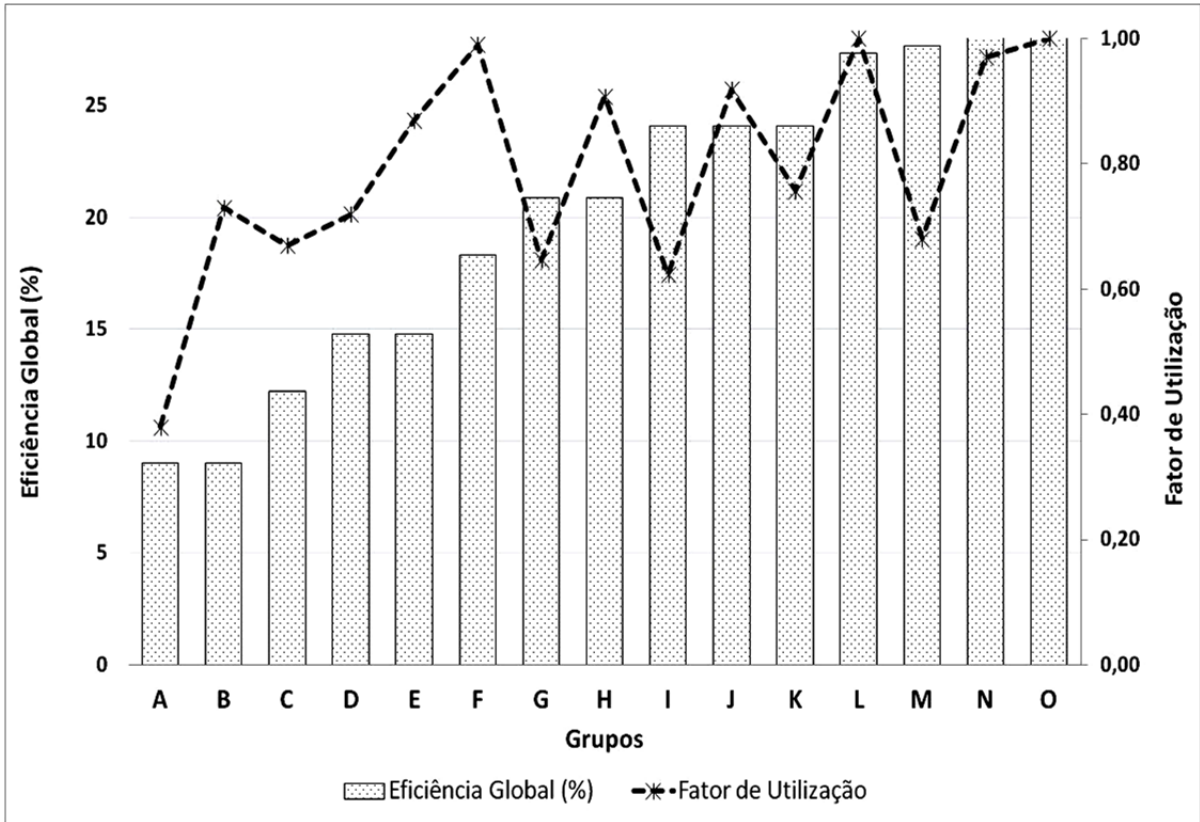


Figura 4.5: Relação do Fator de Utilização com a Eficiência Global

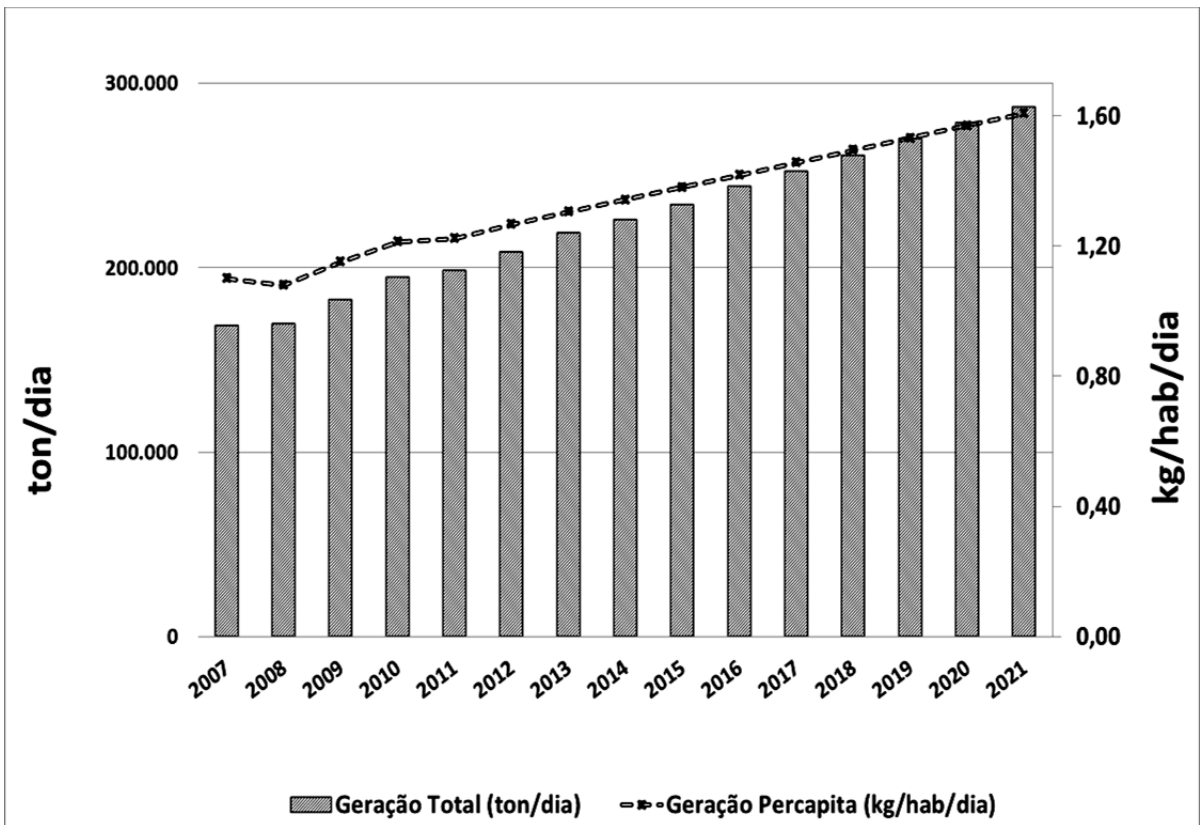


Figura 4.6: Tendência de acréscimo na geração de RSU no Brasil a partir dos dados disponíveis até 2011 da ABRELPE.

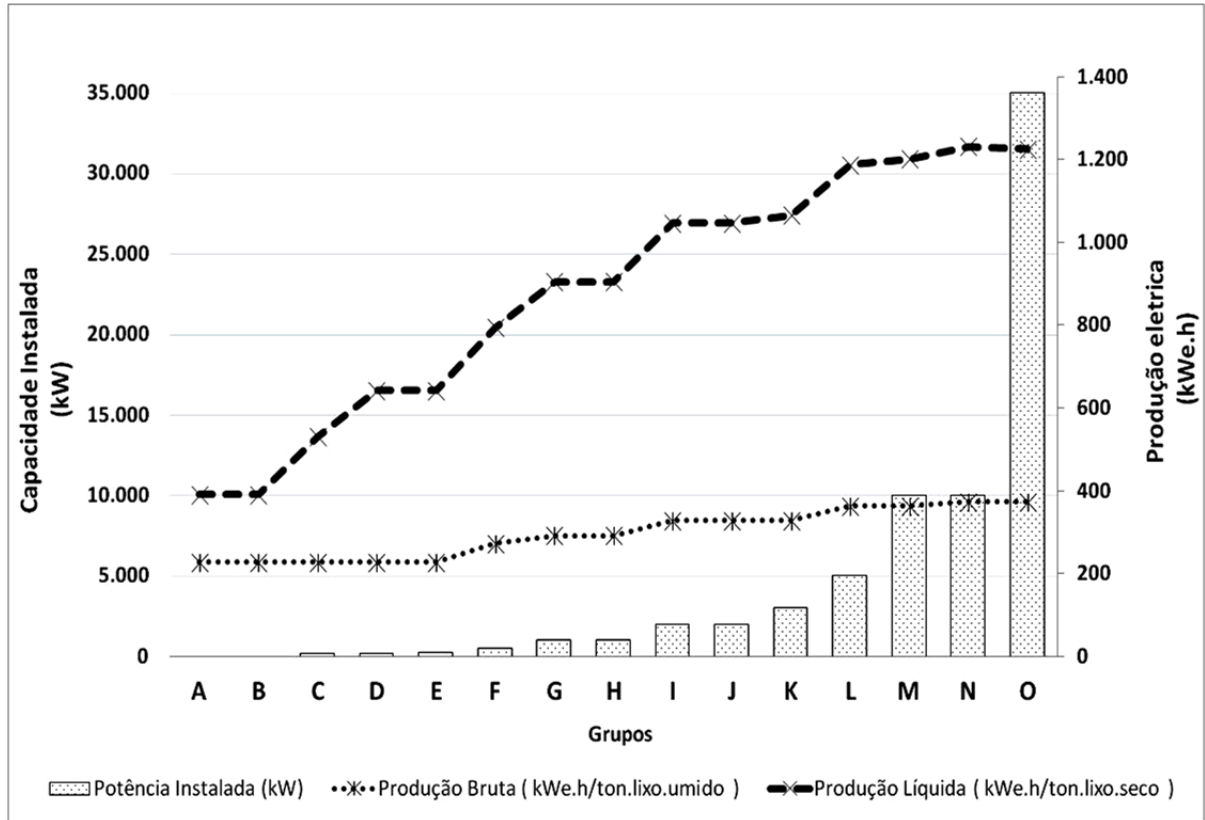


Figura 4.7: Produção elétrica líquida e bruta conforme potência instalada

A potência elétrica produzida pode variar de 391 kWh (grupo A) a 1232 kWh (grupo N) para cada tonelada de lixo seco conforme mostrado na Figura 4.7.

A potência elétrica produzida a partir do RSU é uma energia firme, pois não tem entre safra como a cana-de-açúcar e nem depende do clima como as hidrelétricas, sendo que a geração de lixo é constante e crescente.

A energia elétrica produzida será entregue ao sistema elétrico através de um painel de interligação que fará o sincronismo com a rede local automaticamente. A Figura 4.8 mostra que é possível suprir a necessidade de energia elétrica de 753 habitantes (grupo A) a 599.707 habitantes (grupo O) equivalendo a mais de 20% da população de cada grupo.

O somatório de toda energia elétrica produzida a partir do lixo pode contribuir com mais de 3 % de toda capacidade de geração elétrica a base de biomassa da matriz energética brasileira.

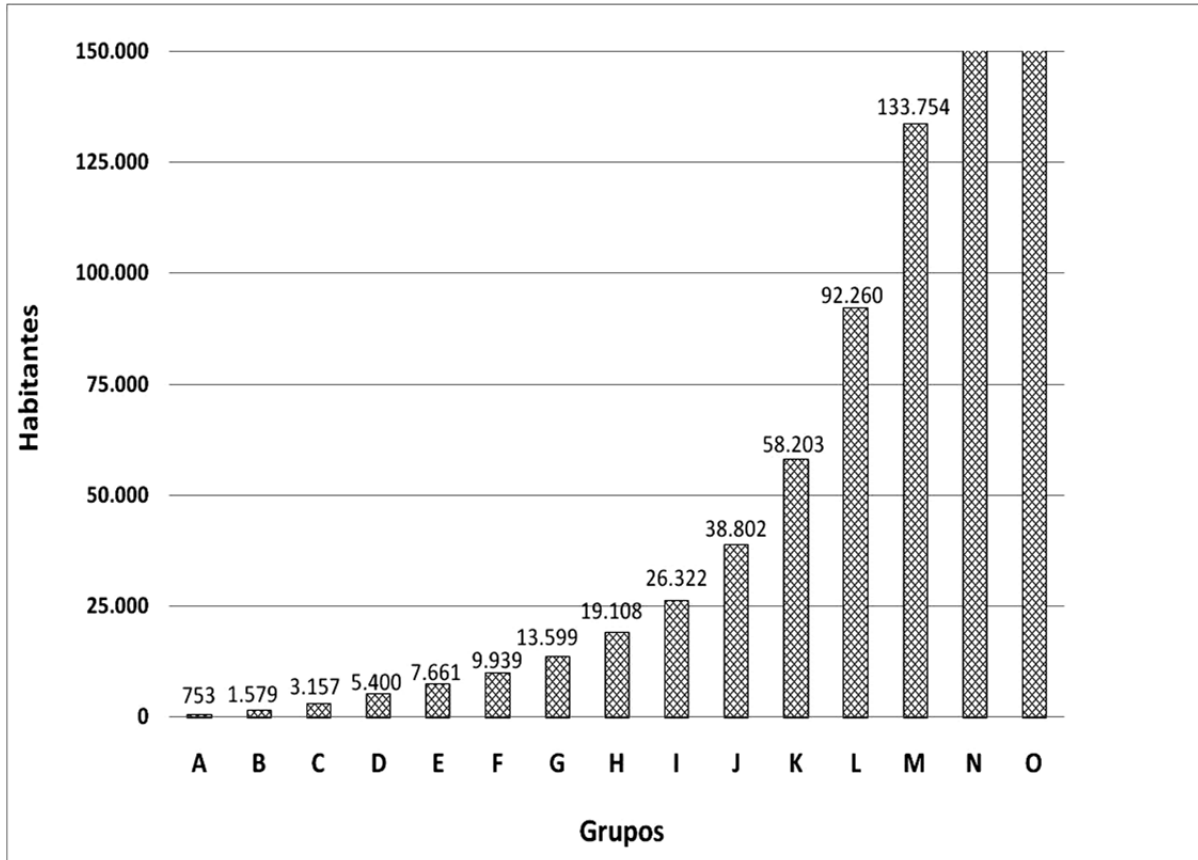


Figura 4.8: População atendida com a energia elétrica produzida a partir do RSU.

4.3 Custos de Capital

Os custos de capital e instalação para cada faixa populacional são apresentados juntos com a potência instalada na Figura 4.9. Todos os custos de equipamentos e instalação são apresentados antes do acréscimo dos juros de empréstimos

Os custos de instalação correspondem a mais de 107% do custo total dos equipamentos. Os custos de implantação variaram de menos de R\$ 2.000.000,00 (grupo A) a mais de R\$ 76.000.000,00 (grupo O).

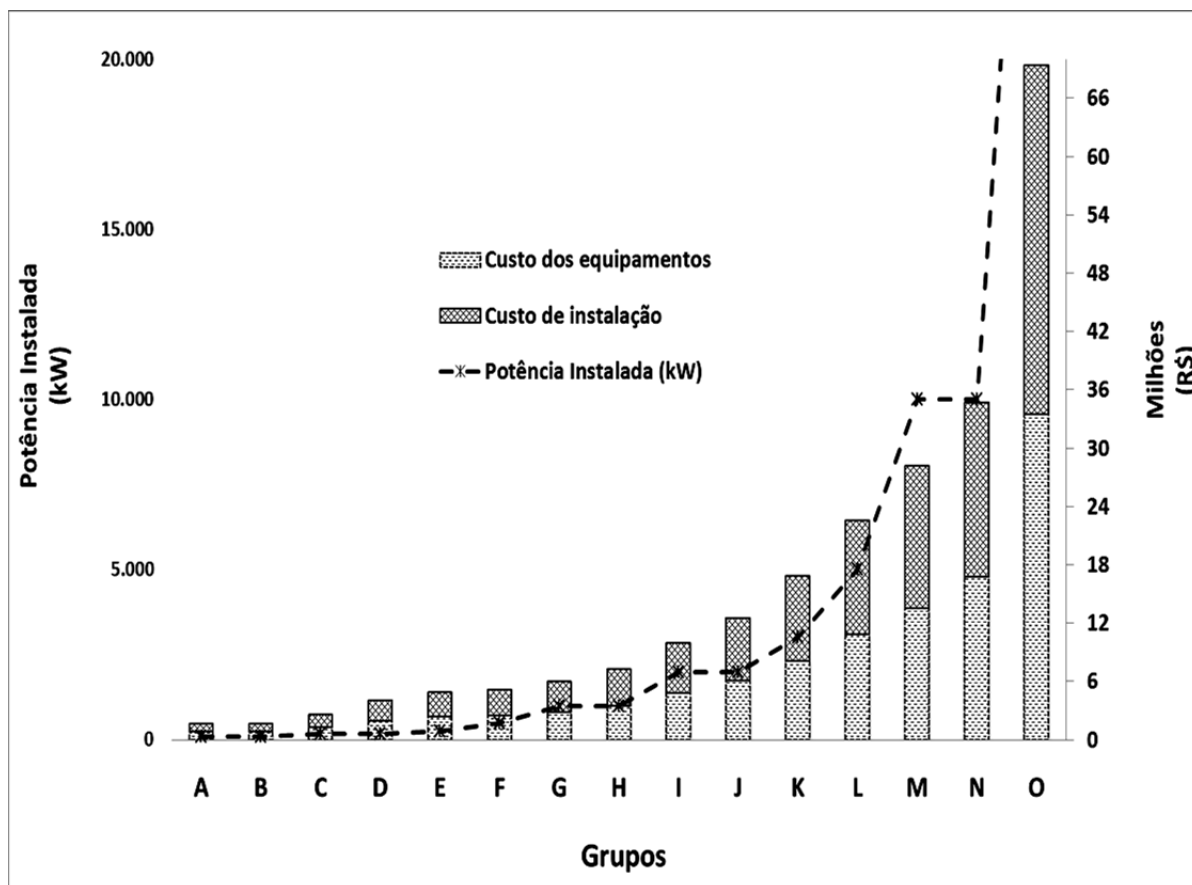


Figura 4.9: Custos de implantação da potência instalada

Os grupos E a H apresentam pequenas variações nos custos. Esses grupos apresentam custos entre 5 e 8 milhões de reais e potências de 264 kW (grupo E), 500 kW (grupo F) e 1.000 kW (grupos G e H).

Os custos com os juros de cada cenário são apresentados na Figura 4.10. Os juros foram calculados para cada grupo e foram utilizados apenas para a análise financeira de acordo com o cenário.

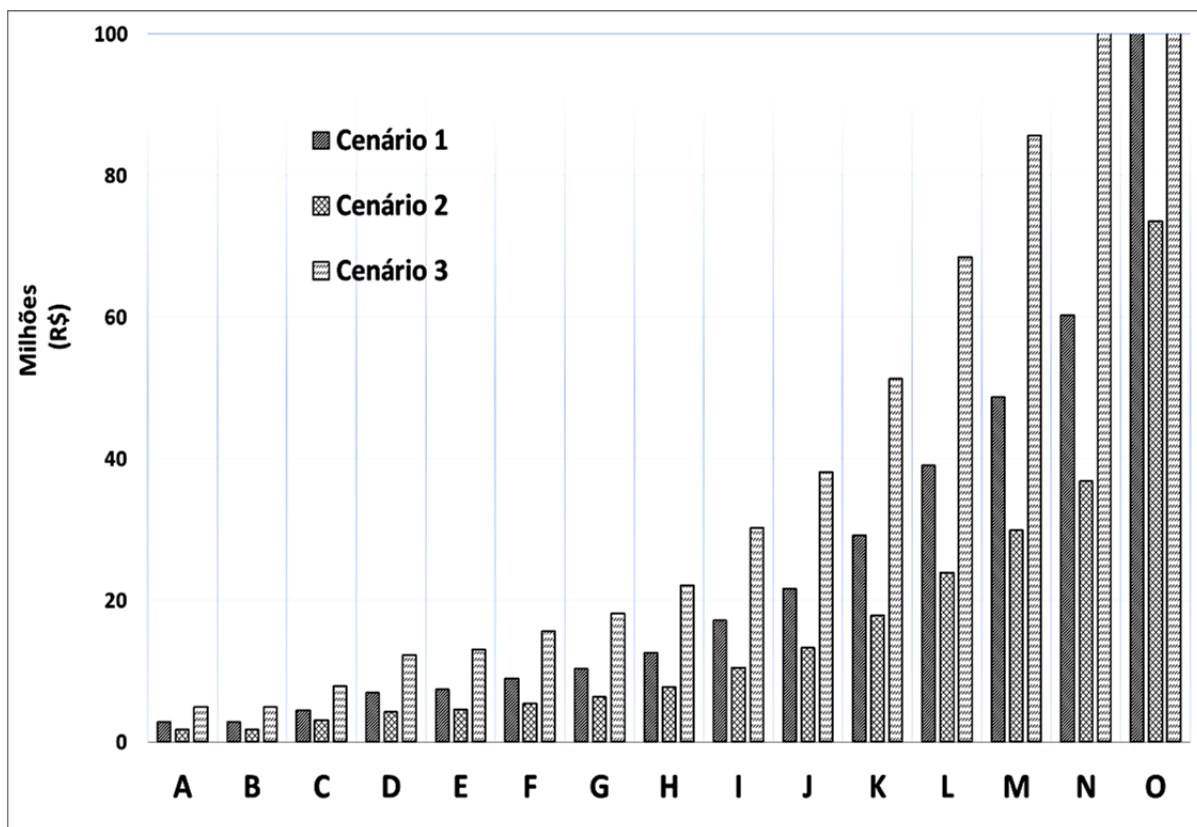


Figura 4.10: Custos com juros de financiamento para implantação da usina

Os custos apresentados na Figura 4.11 representam os custos para implantar uma usina de tratamento de RSU e os custos de operação e manutenção durante o período da análise.

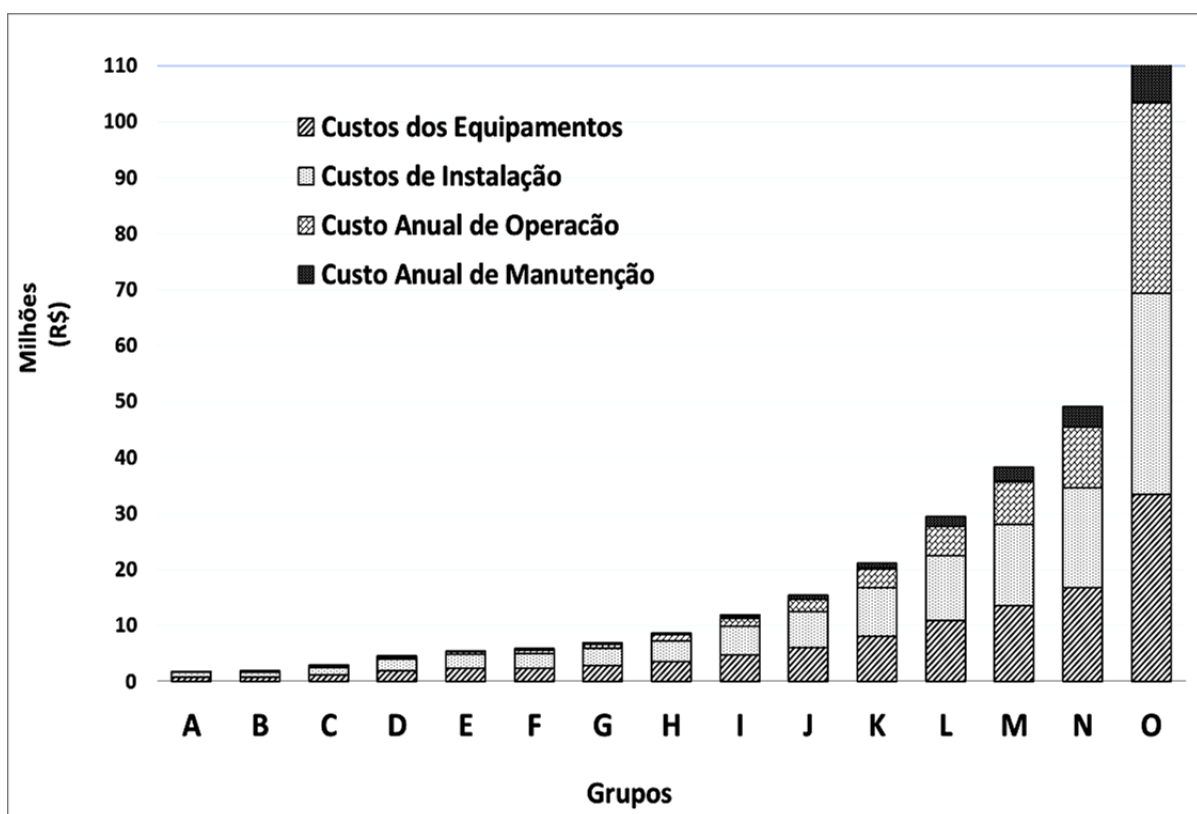


Figura 4.11: Custos de investimento e operação para cada grupo populacional

Todos os grupos apresentam os custos de instalação maior que os custos dos equipamentos, conforme observado na Figura 4.11 e Figura 4.12.

Os custos de instalação e dos equipamentos são inversamente proporcionais a capacidade de tratamento da usina, ou seja, quanto maior sua capacidade menor será os custos específicos do investimento.

Já os custos de operação e manutenção são inversamente proporcionais aos custos de implantação, pois quanto menor os custos de implantação maior serão os custos específicos de operação e manutenção. A Figura 4.12 mostra o percentual da composição dos custos de implantação para cada grupo. É possível observar nesta figura a inversão dos custos de operação e manutenção e os custos de implantação.

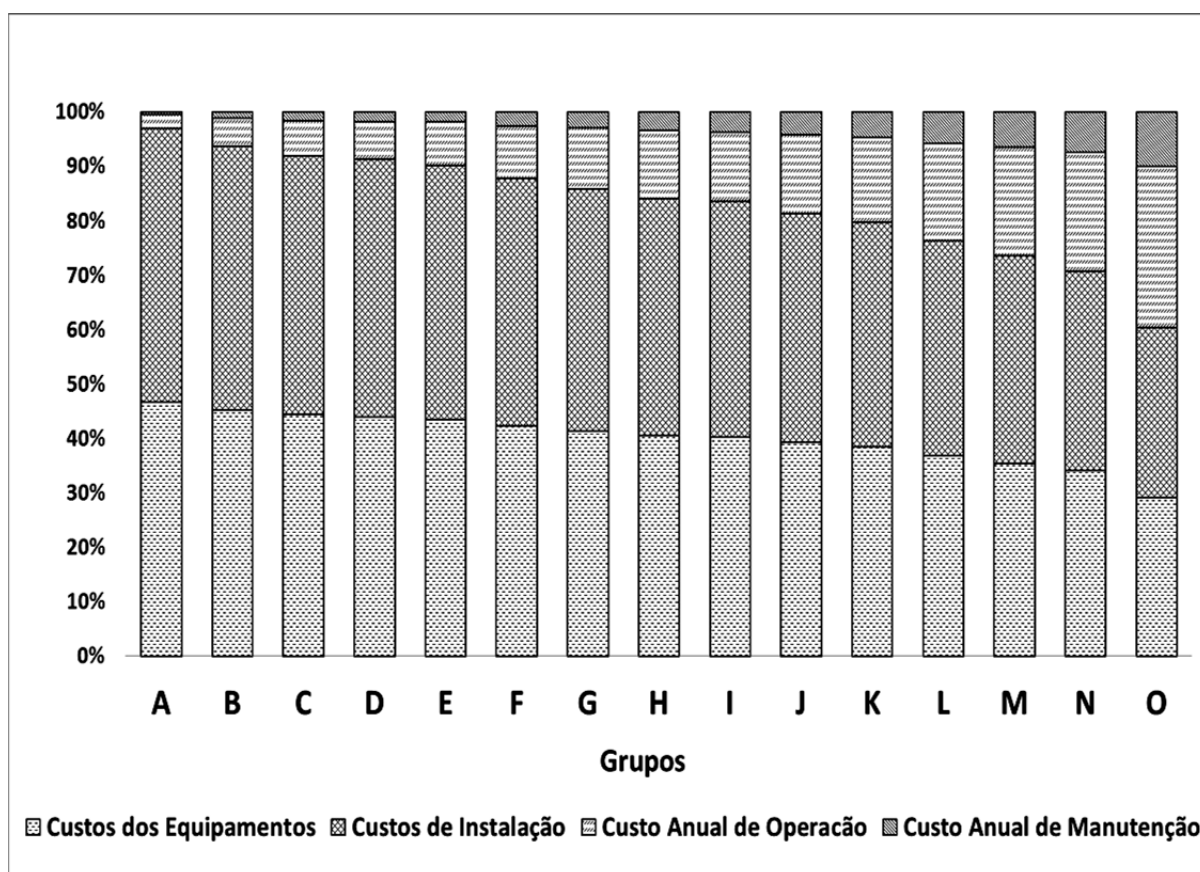


Figura 4.12: Percentual específico dos custos para implantação de uma usina de gaseificação do RSU

A Figura 4.13 mostra o custo específico de implantação de uma usina de gaseificação do RSU por tonelada de lixo de capacidade instalada. É possível observar que o custo específico de implantação por tonelada de RSU é inversamente proporcional a capacidade instalada. Comparando a Figura 4.3 com a Figura 4.13 pode-se ver que, quanto maior a

capacidade instalada menor é o custo de implantação para os cenários considerados, ou seja, quanto maior a usina menor serão seus custos específicos.

Os custos específicos por habitante do município é apresentado na Figura 4.14. É possível observar que quanto menor a população do município maior será o custo por habitante. Os grupos (A a E) apresentam altos custos de implantação devido a pouca população vivendo nesses municípios. Uma solução viável para esses grupos seria consórcios entre municípios vizinhos buscando reduzir os custos específicos de implantação. Já os grupos (F a O) apresentam custos de implantação mais atraentes, pois nesses grupos concentram a maioria da população brasileira.

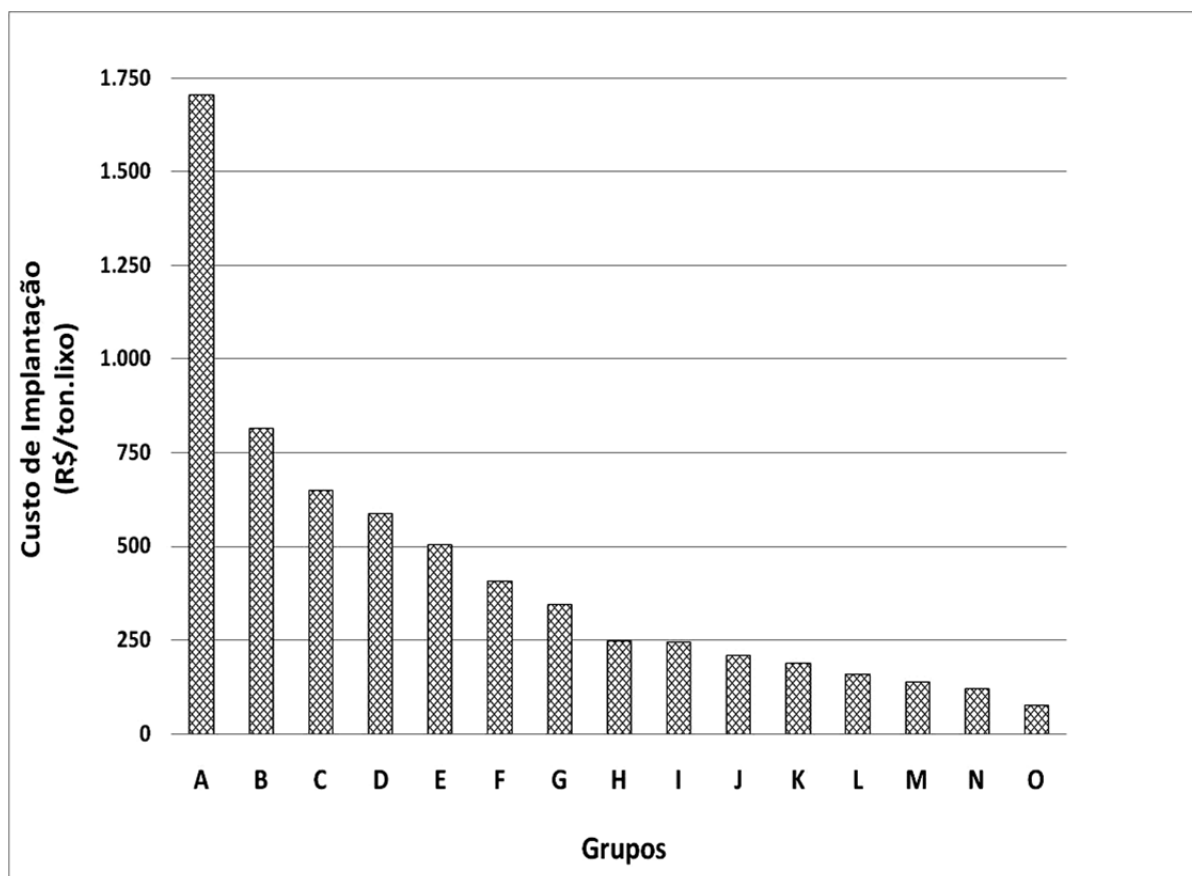


Figura 4.13: Custo específico de implantação por tonelada de uma usina de gaseificação para o RSU.

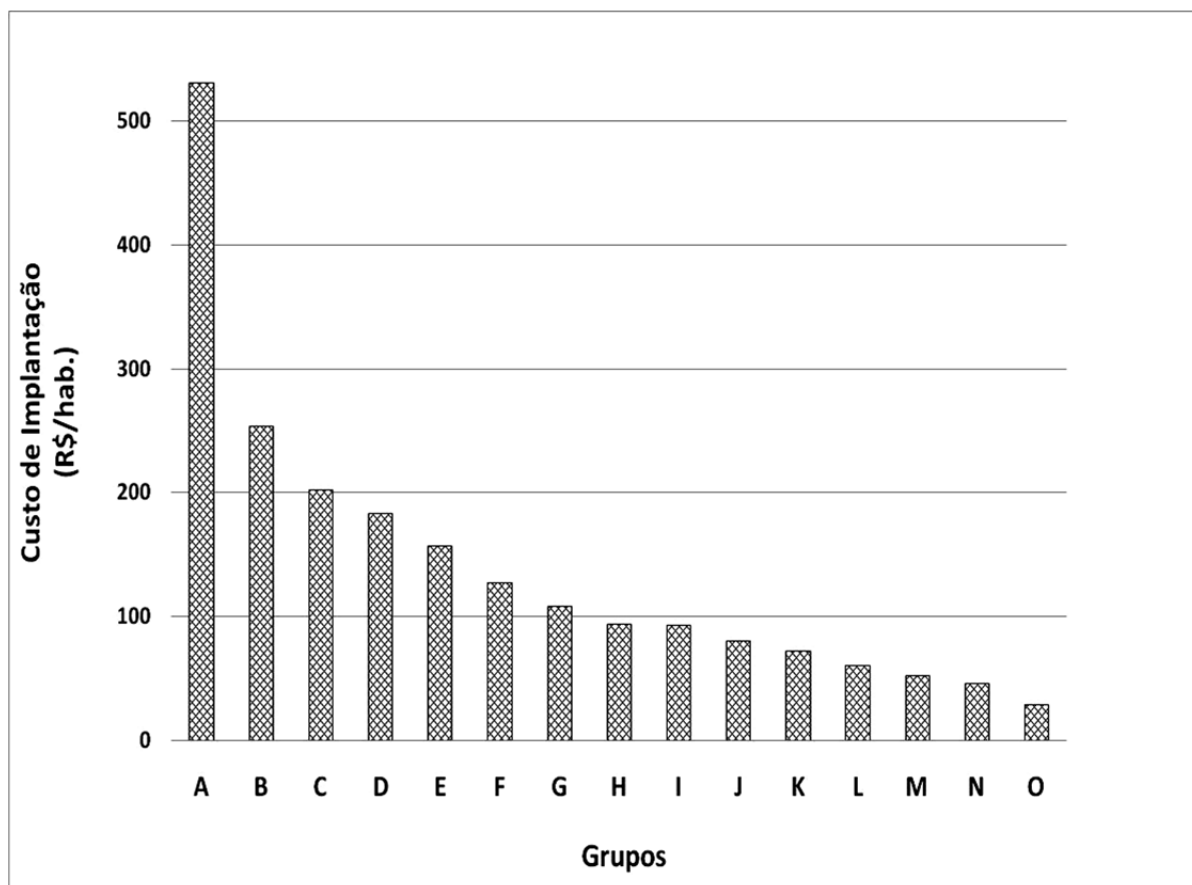


Figura 4.14: Custo específico de implantação por habitante de uma usina de gaseificação para RSU.

4.4 Receitas

As receitas foram obtidas com a venda dos recicláveis, taxa para tratamento de disposição adequada do RSU, venda da eletricidade produzida e comercialização dos créditos de carbono. A Figura 4.15 mostra os valores dos rendimentos com a venda dos subprodutos para cada grupo populacional. Os rendimentos tem relação direta com o volume de RSU tratado por ano, pois quanto maior o volume de RSU de entrada melhor serão os resultados. O volume de RSU tratado anualmente variou de 1.248 ton./ano (grupo A) a 1.022.376 ton./ano (grupo O).

É possível observar que a venda dos recicláveis variou de R\$ 62.904,00 (grupo A) a R\$ 50.079.282 (grupo O), os ganhos com a taxa para tratamento do RSU variou de R\$ 62.566,00 (grupo A) a R\$ 49.810.192,00 (grupo O), já a venda da eletricidade apresentou variação de R\$ 18.328,00 (grupo A) a R\$ 45.701.769 (grupo O) e os créditos de carbono de R\$ 17.736,00 (grupo A) a R\$ 3.473.402,00 (grupo O).

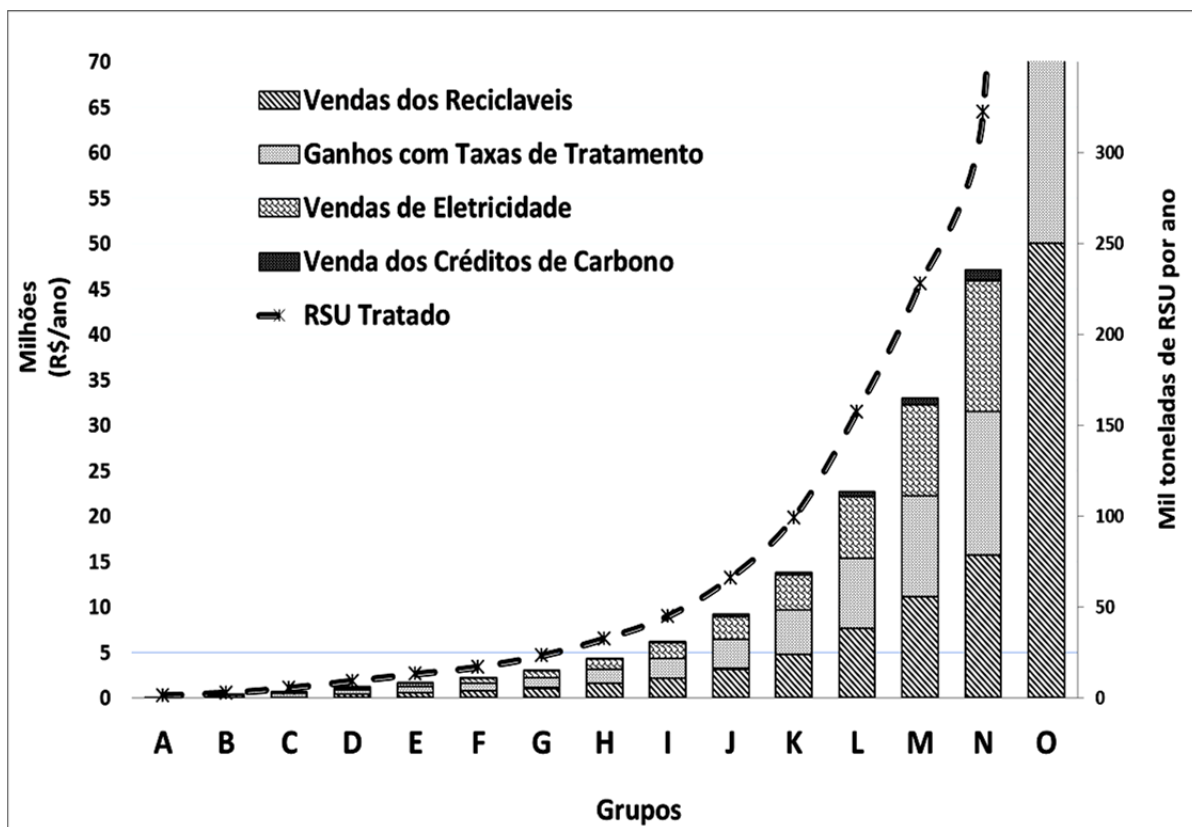


Figura 4.15: Rendimentos obtidos da comercialização dos subprodutos e a quantidade de RSU tratado por ano.

A Figura 4.16 apresenta o percentual específico para os ganhos com cada produto comercializado para cada grupo populacional.

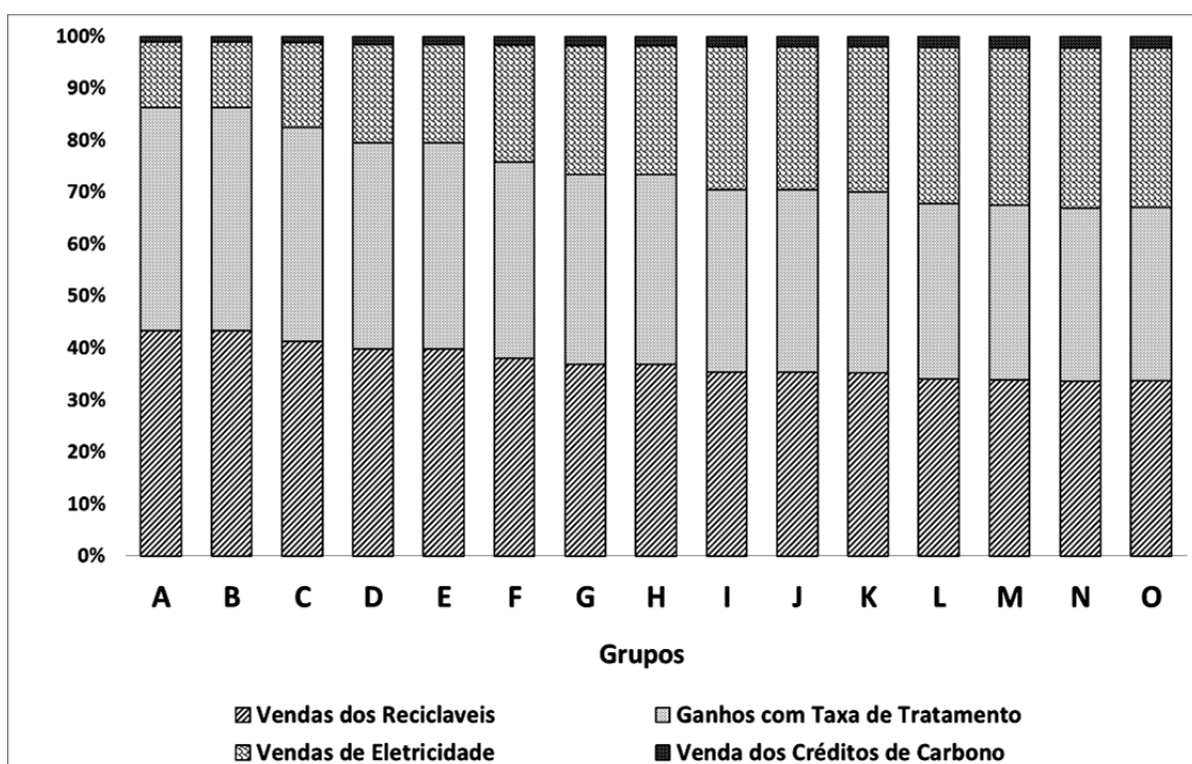


Figura 4.16: Percentual específico equivalente das receitas de comercialização dos subprodutos

É possível observar que do grupo A ao grupo I os rendimentos obtidos com a venda dos recicláveis e com a taxa de tratamento do RSU equivalem a mais de 70% de toda receita da usina. A partir do grupo J a venda dos recicláveis, a taxa de tratamento do RSU e a venda da eletricidade equivalem a mais de 95% de toda receita.

4.5 Análise dos Cenários Econômicos

Os cenários 1, 2 e 3 analisados apresentam valores significativos para TIR e para o VPL. Uma comparação dos cenários é apresentada nas Figura 4.17 e Figura 4.18.

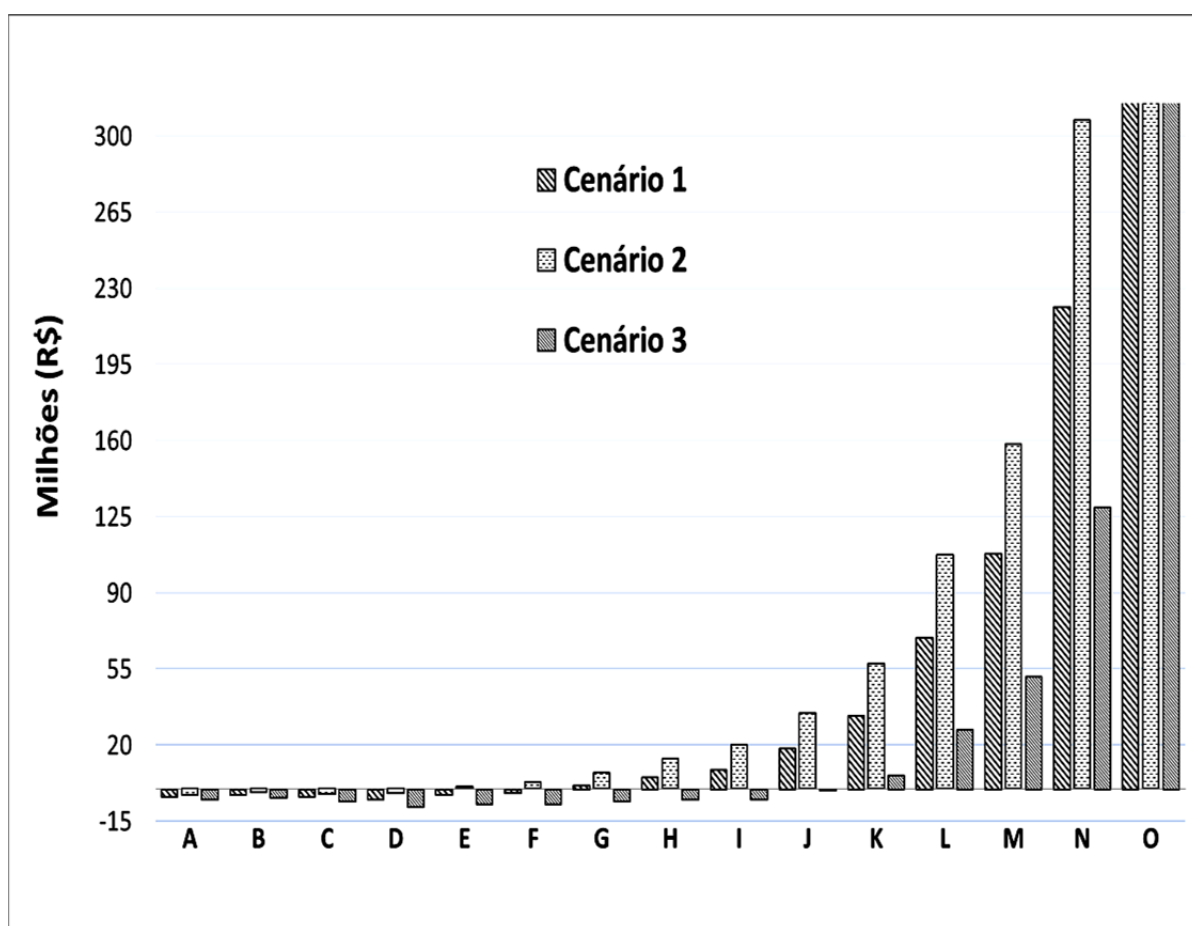


Figura 4.17: VPL para os cenários 1, 2 e 3 e os diferentes grupos populacionais.

Pode-se observar que tanto o VPL quanto a TIR apresentam resultados positivos a partir do grupo E (cenário 1), sendo que os grupos de A a D apresentam valores negativos para a TIR e VPL.

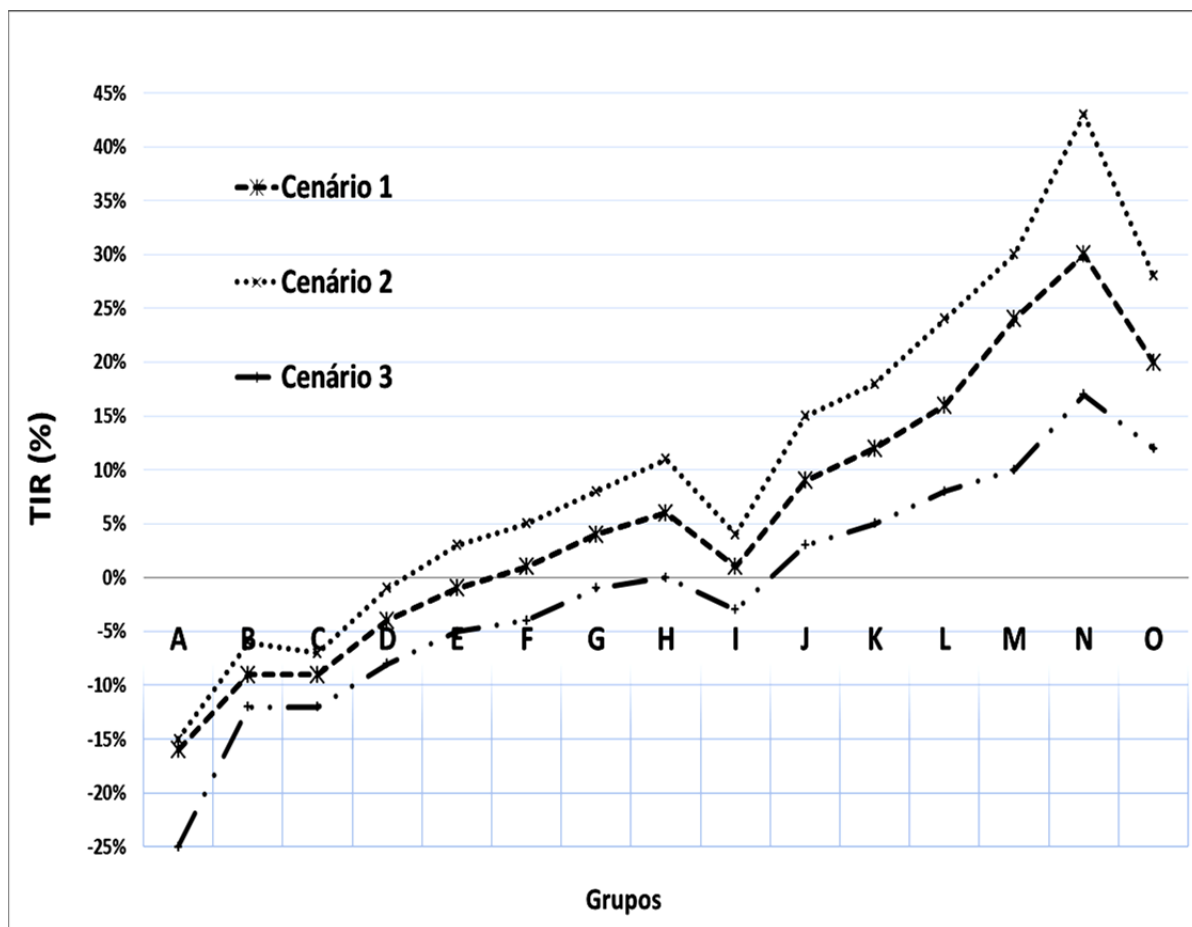


Figura 4.18: TIR para os cenários 1, 2 e 3 e os diferentes grupos populacionais.

O período em que a usina começa a apresentar um fluxo de caixa positivo é apresentado na Figura 4.19. Observa-se que para o cenário 1, os grupos de A a D apresentam fluxo de caixa negativo, logo o grupo E apresenta um fluxo de caixa positivo a partir do 7º ano de operação. Os demais grupos (G a O) tem fluxo de caixa positivo a partir do 1º ano de operação.

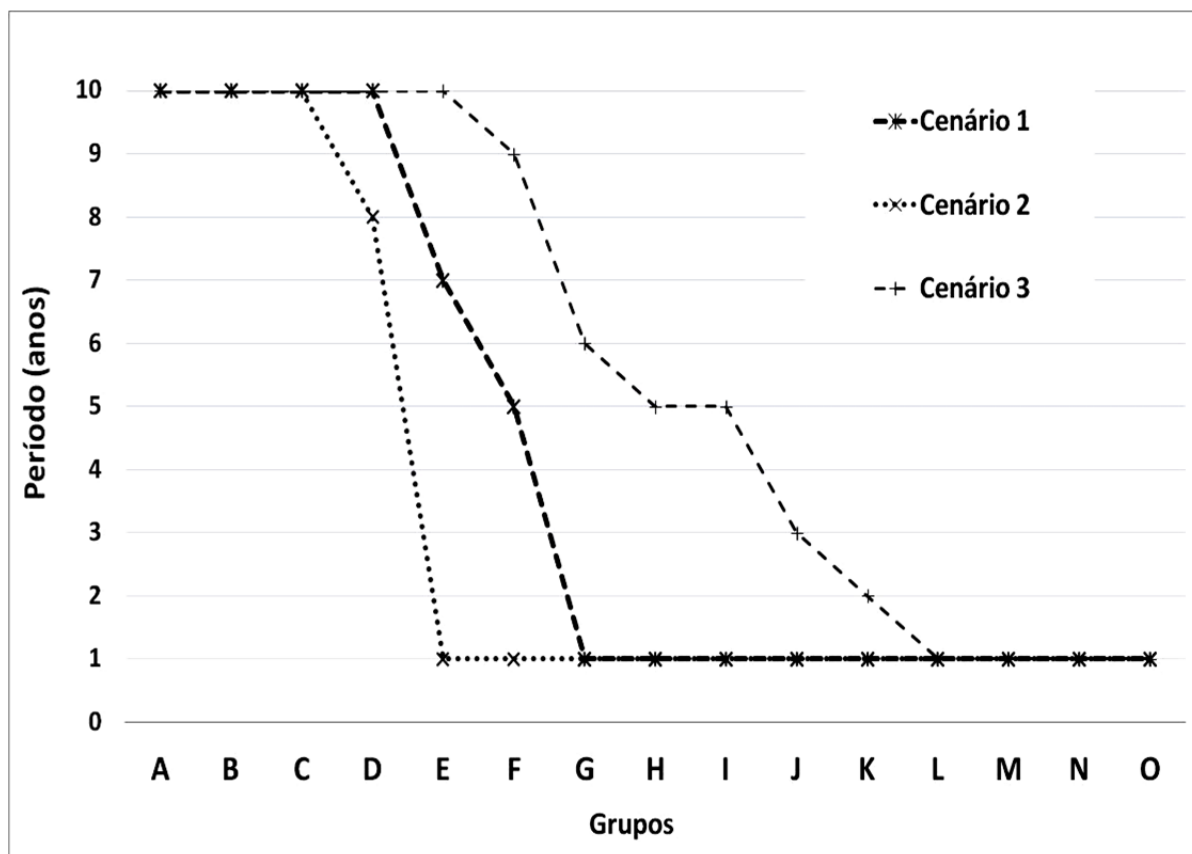


Figura 4.19: Período em que as usinas passam a apresentar fluxo de caixa positivo.

Para o cenário 2 o grupo D apresenta fluxo de caixa positivo a partir do 8º ano de operação e os demais grupos (E a O) apresentam fluxo de caixa positivo a partir do 1º ano de operação.

O cenário 3 começa apresentar fluxo positivo a partir do 9º ano de operação com o grupo F, o grupo G a partir do 6º ano, os grupos H e I a partir do 5º ano, já o grupo J apresenta fluxo positivo no 3º ano e o grupo L no 2º ano de operação.

Os grupos que não apresentam viabilidade econômica para esta análise podem utilizar como estratégia a criação de consórcios intermunicipais visando uma maior disponibilidade de RSU a fim de atingirem a viabilidade para implantação de uma usina de tratamento. Os consórcios podem ser uma saída inteligente para pequenos municípios, pois esta integração pode atingir grandes volumes de RSU para tratamento assim reduzindo os custos de implantação e maximizando os rendimentos. Outra saída é a determinação de um valor mínimo para a taxa de tratamento do RSU.

Realizou-se uma análise de sensibilidade buscando determinar qual o mínimo valor da taxa de tratamento do RSU, para viabilizar a implantação de uma usina de gaseificação independente de sua capacidade instalada.

A viabilidade econômica de cada projeto depende da taxa tratamento do RSU. Para viabilizar a implantação de uma usina de tratamento do RSU para cada faixa populacional o valor mínimo desta taxa deve seguir a Figura 4.20 e ou a Figura 4.21.

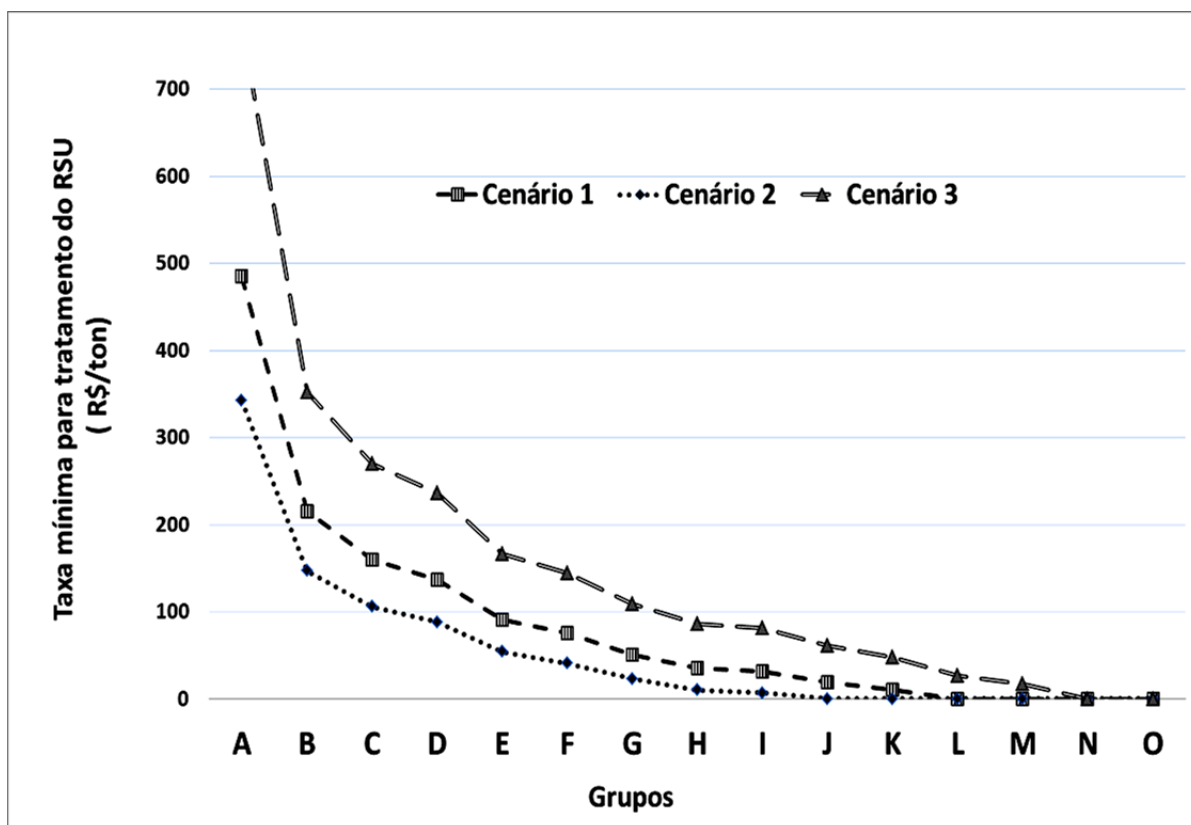


Figura 4.20: Taxa mínima para tratamento do RSU para que o VPL seja maior que zero (>0)

A Figura 4.20 determina qual o valor mínimo a ser cobrado pela usina para tratar o RSU adequadamente. Esta taxa busca obter um VPL maior que zero, ou seja, o valor mínimo a ser cobrado para viabilizar a implantação de uma usina. Pode observar que a taxa mínima de tratamento varia de R\$ 480,00 (grupo A) a R\$ 10,00 (grupo K) no cenário 1, de R\$ 342,00 (grupo A) a R\$ 7,00 (grupo I) para o cenário 2 e de R\$ 773,00 (grupo A) a R\$ 17,00 (grupo M).

A Figura 4.21 determina qual o valor mínimo a ser cobrado pela usina para tratar o RSU adequadamente a fim de obter uma TIR maior que 12%, pois a taxa mínima de atratividade para esta análise é de 12%. Observa-se que a taxa mínima de tratamento varia de R\$ 1.600,00 (grupo A) a R\$ 8,00 (grupo N) no cenário 1, de R\$ 1.160,00 (grupo A) a R\$ 7,00 (grupo M) para o cenário 2 e de R\$ 2.350,00 (grupo A) a R\$ 45,00 (grupo N). Os resultados completos da análise econômica e da probabilidade dos resultados serem maior que zero podem ser apreciados em apêndices A, B e C.

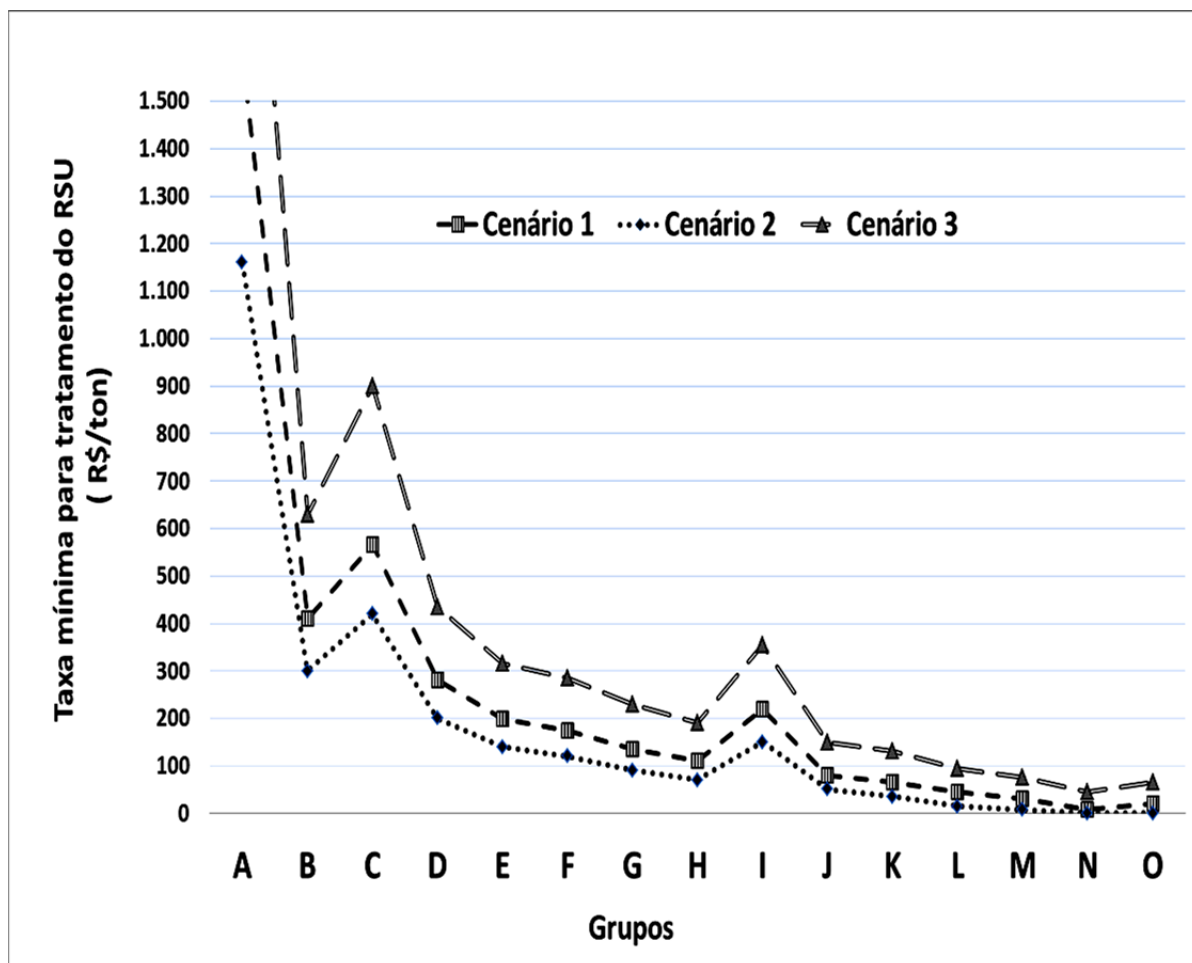


Figura 4.21: Taxa mínima para tratamento do RSU para que a TIR seja maior que 12 % (>12%)

4.5.1 Cenário (1)

A taxa de juros de 10,58% a.a foi base para o cálculo da viabilidade econômica no cenário 1.

A análise econômica do VPL e TIR é mostrada na Figura 4.22. Pode-se observar que o VPL e a TIR são positivos em 67% dos grupos (F a O) e negativos nos demais 23% (Aa E).

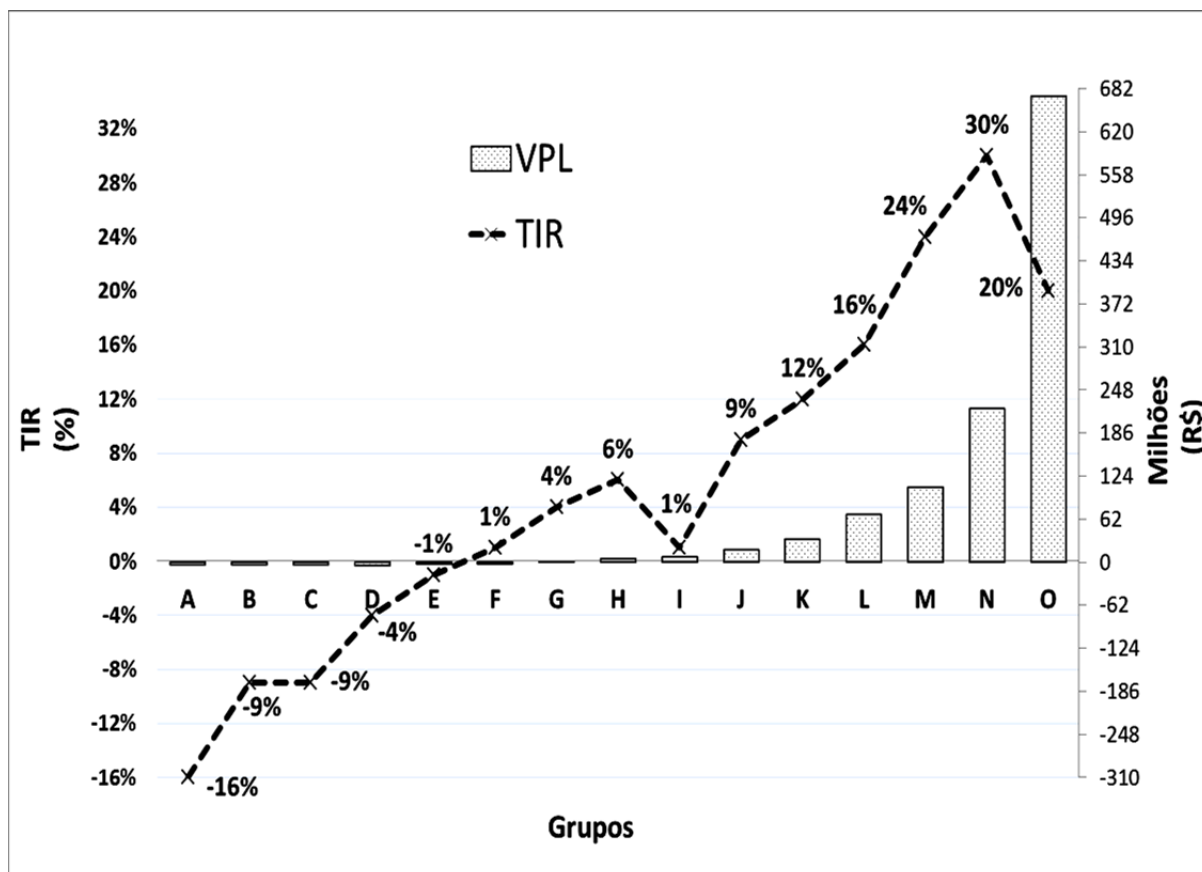


Figura 4.22: Análise econômica cenário 1

Para o cenário 1 observa-se que é viável a implantação de uma usina de tratamento do RSU em 67% dos grupos. Se for realizado o tratamento do RSU em 67% dos grupos 14% dos municípios brasileiros terá seu RSU tratado corretamente o que corresponde a 70% de todo RSU brasileiro.

O grupo I apresenta uma discrepância, pois a quantidade média de RSU disponível para tratamento exige uma capacidade instalada maior que a necessária. A falta de equipamentos compatíveis no mercado provoca essa variação, sendo justificada pelo baixo F.U visto na Figura 4.4. O mesmo ocorre para todos os cenários.

4.5.2 Cenário (2)

A taxa de juros de 7,5% a.a foi base para o cálculo da viabilidade econômica no cenário 2.

A análise econômica do VPL e TIR é mostrada na Figura 4.23. Pode-se observar que o VPL e a TIR são positivos em 73% dos grupos (E a O) e negativos nos demais 27% (Aa D).

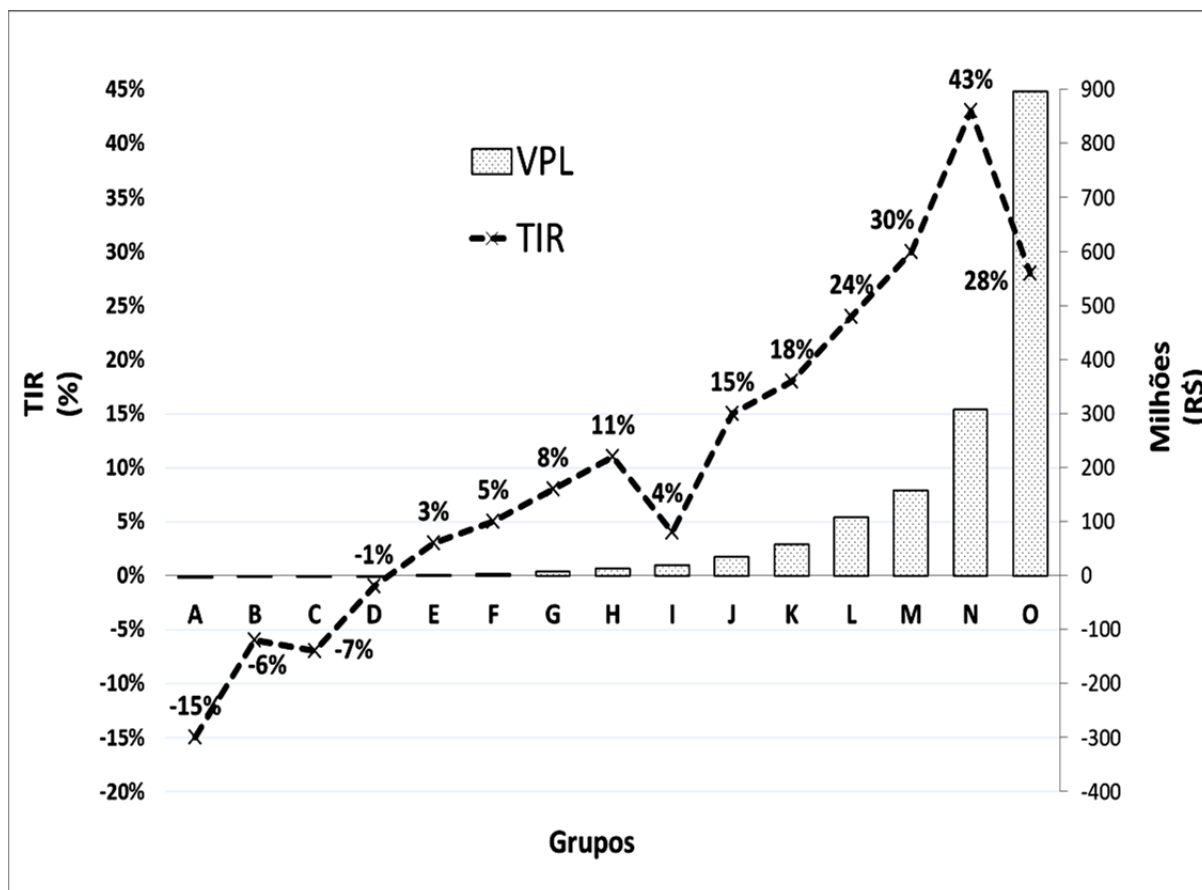


Figura 4.23: Análise econômica cenário 2

Para o cenário 2 observa-se que é viável a implantação de uma usina de tratamento do RSU em 73% dos grupos. Se for realizado o tratamento do RSU em 73% dos grupos 20% dos municípios brasileiros terá seu RSU tratado corretamente o que corresponde a 75% de todo RSU brasileiro.

4.5.3 Cenário (3)

A taxa de juros de 15%a.a é base para o cálculo da viabilidade econômica no cenário 3.

A análise econômica do VPL e TIR é mostrada na Figura 4.24. Pode-se observar que o VPL e a TIR são positivos em 47% dos grupos (H e J a O) e negativos nos demais 53% (A a G e I).

Para o cenário 3 observa-se que é viável a implantação de uma usina de tratamento do RSU em 47% dos grupos. Se for realizado o tratamento do RSU em 47% dos grupos apenas

5% dos municípios brasileiros terá seu RSU tratado corretamente o que corresponde a 53% de todo RSU brasileiro.

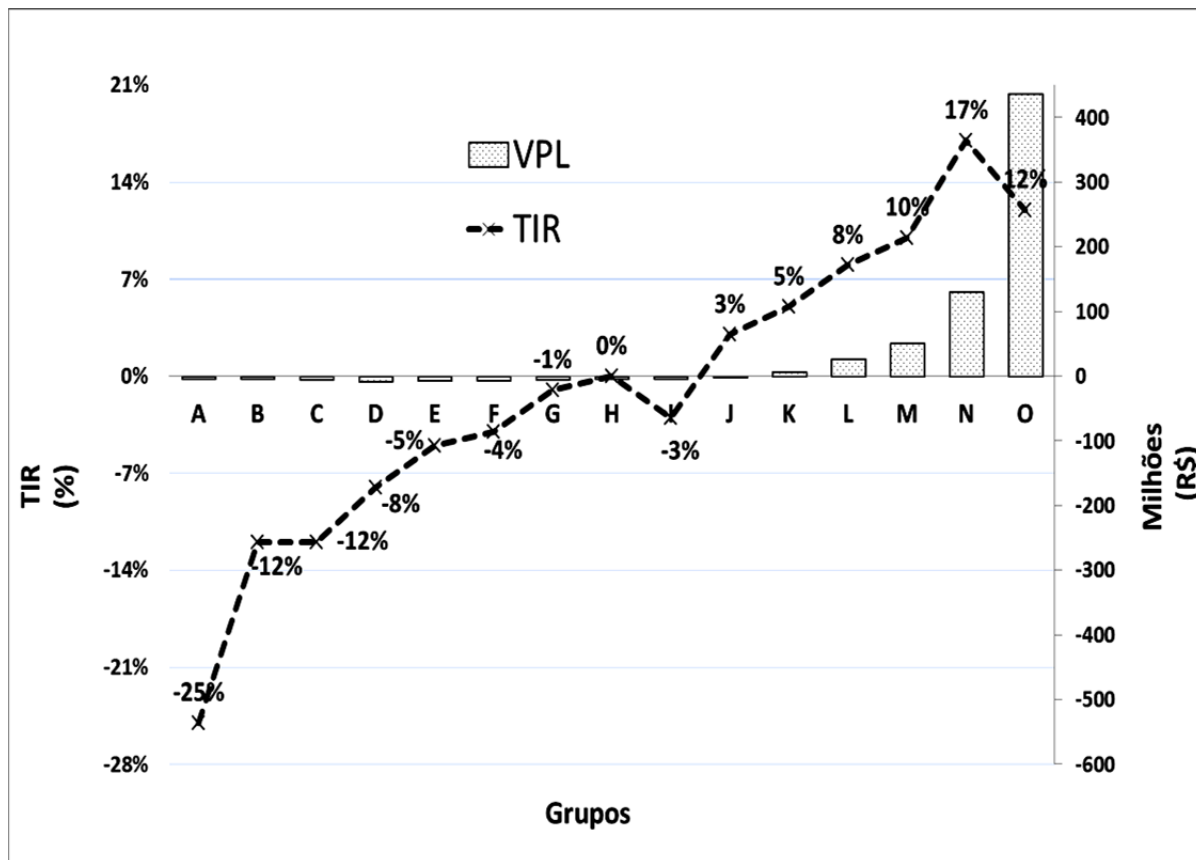


Figura 4.24: Análise econômica cenário 3

4.6 Layout e Fluxo de Processo

O fluxo de processo e o layout são informações extremamente importantes para o projeto.

O fluxo de processo descreve todas as atividades do processo de transformação do RSU em energia elétrica é apresentado na Figura 4.25.

O fluxo de processo detalha as características que devem ser consideradas importantes para realização do processo. Pode observar que as atividades são classificadas em operação, transporte, operação com inspeção, inspeção e armazenagem.

A Figura 4.26 detalha o fluxo por meio de representações gráficas dos equipamentos necessários para o tratamento do RSU.

Observa-se que a sequência é determinada de acordo com a Figura 4.25 que detalha todas as características do processo da usina.
























 DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSO USINA DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DO LIXO						
Cliente		Nome do Projeto				Página
Brasil		GASEIFICAÇÃO DO LIXO URBANO PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE				1 de 1
Elaborado por	Data	Revisado por	Data	Aprovado por	Data	Fluxo N°
Fábio C. Luz	31/7/2012	Fábio C. Luz	31/7/2012	Fábio C. Luz	31/7/2012	001
Início/Fim	Operação	Operação com Inspeção	Armazenar	Inspeção	Transporte	
FLUXO	N° OP	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	CARACTERÍSTICA	OBSERVAÇÕES		
	-	Início				
	10	Receber o lixo coletado no município		O lixo será coletado pelo caminhões e serão despejados em uma caçamba de recepção		
	20	Rasgar os sacos e espalhar na esteira		Rasgar os sacos fechados e espalhar na esteira para facilitar a separação.		
	30	Transporte para a esteira de separação	Definir velocidade			
	40	Separação dos metais não ferrosos e pedras	Definir velocidade	Realizar a separação dos metais não ferrosos, pedras e vidros		
	50	Captura dos metais ferrosos	Definir distância da esteira e altura da cama na esteira.	Imã permanente para atrair metais ferrosos		
	60	Transporte para o Triturador	Definir velocidade			
	70	Trituração do material		Triturar material úmido com uma granulometria entre 5 e 25 mm		
	80	Transporte para secador	Definir velocidade			
	90	Secar material triturado	Definir temperatura de trabalho e velocidade de rotação	Secar o material a uma umidade entre 12 e 15%		
	100	Transporte para briquetadeira	Definir velocidade			
	110	Briquetar / Densificar	Definir parâmetros de operação	Compactar o material seco e definir os tamanho ideal do briquete		
	120	Transporte de briquetes para estoque	Definir velocidade			
	130	Armazenamento de briquetes	Definir tamanho do estoque	Armazenar briquetes em um local seco e próximo ao gaseificador		
	140	Transporte de briquetes para o gaseificador	Definir velocidade			
	150	Gaseificação dos briquetes	Definir parâmetros de gaseificação	Transformar os briquetes em gás.		
	160	Realizar limpeza dos gases	Definir parâmetros de limpeza	Realizar a limpeza dos gases afim de atender as especificações do motor.		
	170	Transporte do gás até o motor	Definir características da tubulação			
	180	Queima do Gás	Definir parâmetros de operação	Queimar o gás no motor de combustão interna		
	190	Geração de Eletricidade	Definir tensão de geração	Gerar eletricidade e garantir a tensão de saída		
	290	Transporte da eletricidade gerada para a rede		Realizar integração ao sistema elétrico		
		Fim				
REVISÕES						
Rev. N°	Data	Modificações	Rev. N°	Data	Modificações	

Figura 4.25: Fluxo de processo para o processo de gaseificação do RSU para geração de eletricidade.

O layout do arranjo físico dos equipamentos é mostrado na Figura 4.27. O layout foi elaborado buscando minimizar o espaço físico, aproveitando ao máximo todo espaço disponível.

Por meio do layout pode-se determinar as dimensões ideais da área necessária para a implantação da usina.

A Figura 4.27 mostra atividades de 1,2,4,5,6,8,10,12 e 13. Essas são as atividades de maior importância para o processo de tratamento do RSU.

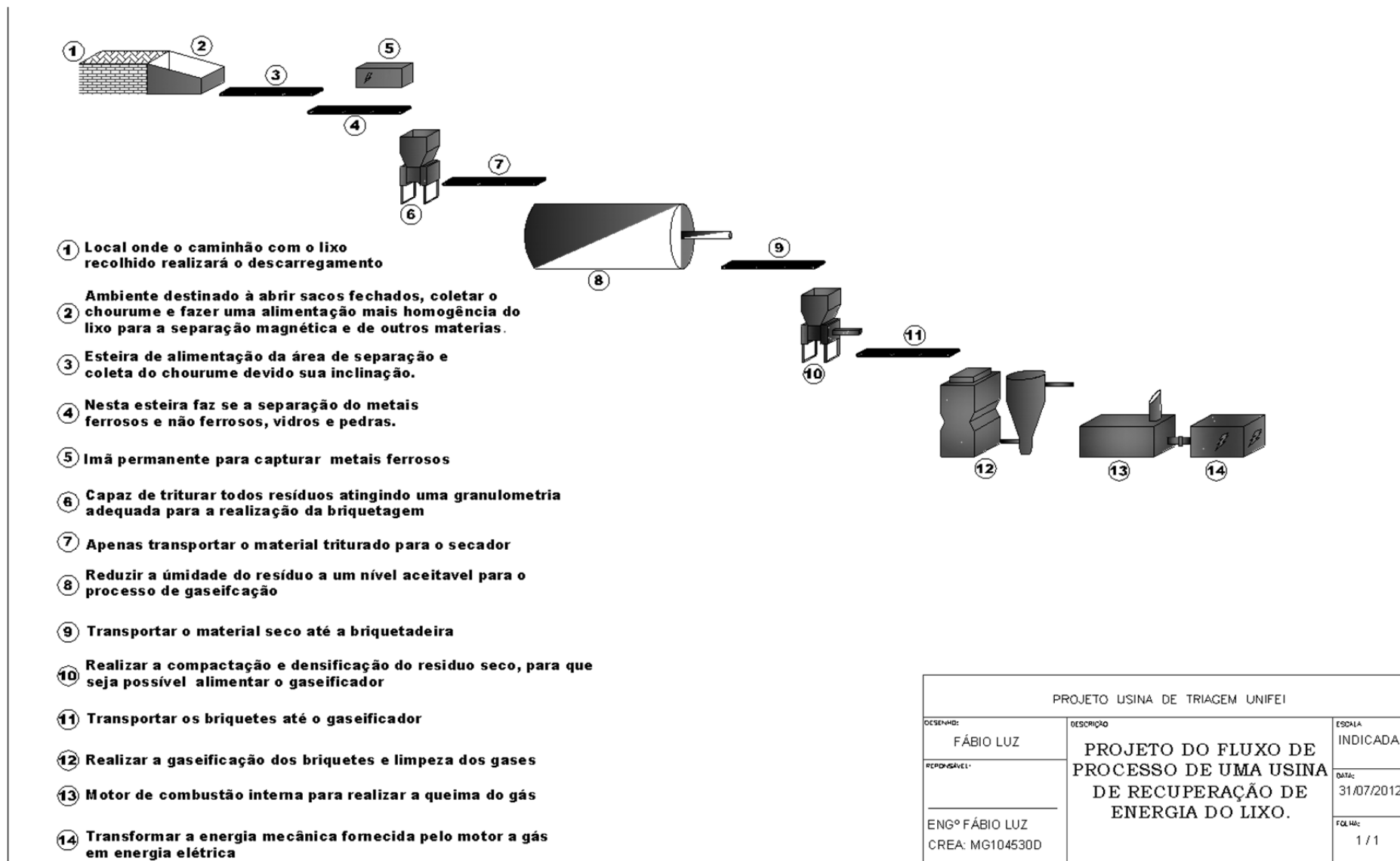


Figura 4.26: Fluxo de processo de uma usina de tratamento do RSU com produção de energia elétrica.

As atividades importantes são o recebimento e a distribuição homogênea (1 e 2) do RSU na esteira de triagem (4), imã permanente para retirar materiais ferrosos (5), triturador do RSU já triado (6), secador (9), briquetadeira (10), gaseificador (12) e motor-gerador (13).

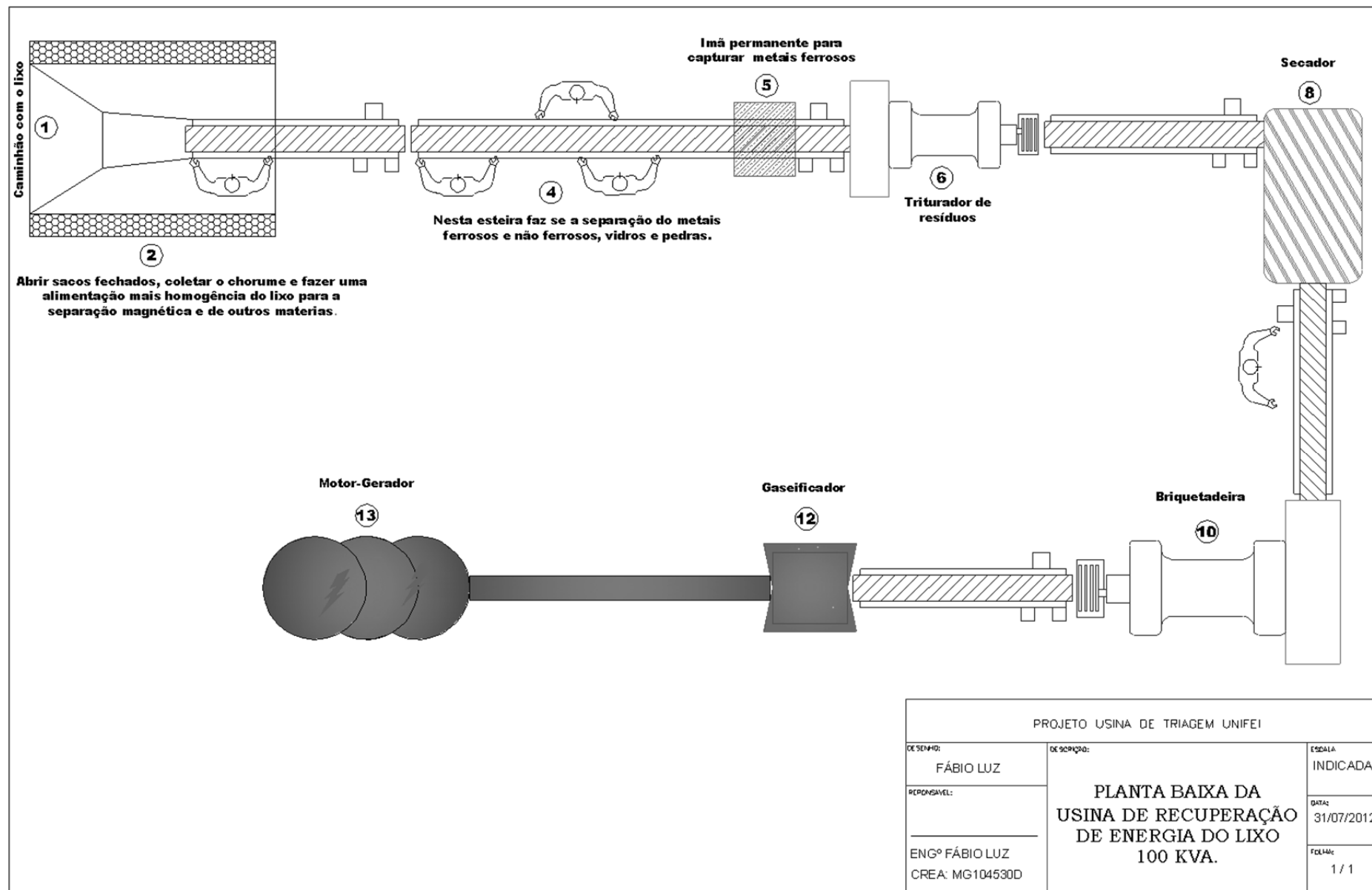


Figura 4.27: Layout de uma usina de tratamento do RSU para geração de energia elétrica.

4.7 Aspectos socioambientais

Além de tratar o lixo e gerar energia elétrica renovável, a gaseificação também gera empregos, pois é necessária a mão de obra para a operação da usina. A geração de emprego é um benefício direto e indireto ocorrido pela necessidade de tratar o RSU. A geração de emprego para o trabalho variou de 3 (grupo A) a mais de 2500 (grupo O) empregos direto de acordo com a Figura 4.28.

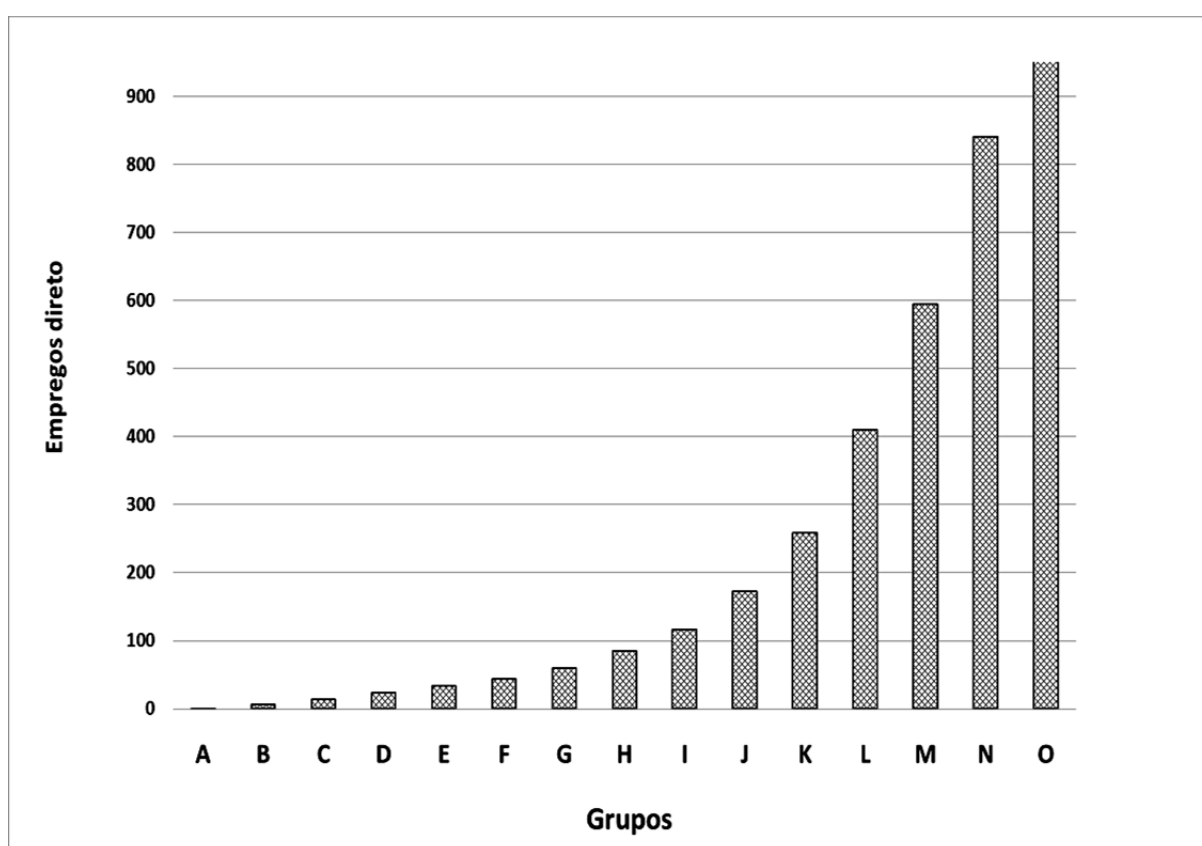


Figura 4.28: Geração de emprego direto para cada grupo populacional.

A quantidade de empregos indiretos gerados pela usina de tratamento torna-se difícil de estimar, pois é uma informação incerta. É importante observar que uma usina de tratamento reduz o volume de RSU a ser enviado aos aterros e traz inúmeros benefícios para o município que talvez não se consiga calcular.

5 CONCLUSÕES

A tecnologia de gaseificação é uma solução viável para resolver o problema do RSU brasileiro atendendo a nova política dos resíduos sólidos, contribuindo com a matriz energética brasileira e melhorando o saneamento básico dos municípios.

A energia disponível no RSU é diretamente proporcional ao nível de desenvolvimento do país, pois quanto mais desenvolvido o país, maior será a energia disponível no RSU, pois esse irá apresentar menor teor de umidade e maiores volumes de massa específica.

Se o RSU for tratado e disposto adequadamente em apenas 1/5 dos municípios brasileiros, incluindo os mais populosos, o Brasil terá $\frac{3}{4}$ de todo RSU gerado tratado corretamente com aproveitamento energético do rejeito e aproveitamento dos recicláveis.

A viabilidade econômica é possível para todos os grupos populacionais, pois as variáveis como a taxa de tratamento e a quantidade de RSU disponível podem ser ajustadas. A taxa de tratamento pode ser definida pela usina e a quantidade de RSU pode ser ampliada através da criação de consórcios intermunicipais. Esses ajustes são necessários para que o projeto tenha viabilidade.

Municípios com população inferior a 60.000 habitantes devem criar consórcios buscando ampliar o volume de RSU disponível para tratamento. Já os municípios com população superior a 60.000 habitantes podem optar por instalarem sua própria usina de tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

A energia elétrica produzida a partir do RSU pode atender mais de 20% da população de cada grupo estudado.

O somatório de toda energia elétrica produzida a partir do RSU equivale a mais de 3% de toda energia elétrica produzida a partir de biomassa da matriz energética de brasileira.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira Regulamentada, NBR 8419. Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Abril, 1992.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos sólidos: classificação. NBR 10.004. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 52 p., 2004.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010. São Paulo: Grappa Editora e Comunicação, 198 pp., 2010.

AL-KHATIB, I. A. et al. Solid waste characterization, quantification and management practices in developing countries. A case study: Nablus district “ Palestine. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 5, p. 1131-1138

ALVIM, C. F.; FERREIRA, O. C.; VARGAS, J. I. **A Evolução da Concentração de Metano na Atmosfera**. Economia & Energia. ano X 2006.

ARCHER, E.; BADDELEY, A.; KLEIN, A.; SCHWAGER, J.; WHITING, K. Mechanical Biological-Treatment: A guide for Decision Makers. Processes, Policies and Markets, Annexe B. Issues arising out the regulatory & Policy Framework, version 1.0. United Kingdom, Juniper Consultancy Services.

ARENA, U. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. **Waste Management**, v. 32, n. 4, p. 625-639 2012.

ASTM. American Society of Testing and Materials. Standard definitions of terms and abbreviations relating to physical and chemical characteristics of refuse derived fuel. Volume 11.04 Waste Management. Annual Book of ASTM Standards 2006. West Conshohocken: ASTM International, 19 pp., 2006.

BALU, E.; CHUNG, J. N. System characteristics and performance evaluation of a trailer-scale downdraft gasifier with different feedstock. **Bioresource Technology**, v. 108, p. 264–273 2012.

BAPTISTA, A.M.C.M.O. Optimização do Sistema de Gestão de Resíduos: Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. Dissertação em Engenharia Ambiental. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 111 pp, 2010.

BASU, P. **Biomass gasification and pyrolysis : practical design and theory**. Brulington, MA: Academic, 2010.

BELBO, H. Technical Specifications for Solid Biofuels Evaluation of the new Technical Specifications provided by CEN/TC 335 in the Swedish Biofuel Market. Uppsala: SLU Service/Repro, 104 p, 2006.

BNDES. Banco Nacional do Desenvolvimento. Financiamento para empreendimentos. Meio Ambiente. Disponível em: <
http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/FINEM/meio_ambiente.html>. Acesso em: Outubro 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Margem de construção e margem de operação 2012. Disponível em: <
<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/338047.html#ancora>>. Acesso em: Outubro 2012.

BRERETON, C. Municipal solid waste - Incineration, air pollution control and ash management. **Resources Conservation and Recycling**, v. 16, n. 1-4, p. 227-264 1996.

BRIDGWATER, A. V. The Technical and Economic-Feasibility of Biomass Gasification for Power-Generation. **Fuel**, v. 74, n. 5, p. 631-653 1995.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, C. **Mudanças do Clima e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Manual de Capacitação**. Brasília. 2008

CHAE, J. O. et al. Oyster shell recycling and bone waste treatment using plasma pyrolysis. **Plasma Science & Technology**, v. 8, n. 6, p. 712-715 2006.

CHANG, N.-B.; DAVILA, E. Municipal solid waste characterizations and management strategies for the Lower Rio Grande Valley, Texas. **Waste Management**, v. 28, n. 5, p. 776-794 2008.

CIFRENO.J.P; MARANO.J.J. **Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production**. jun. 2002. 2002

Cointreau S. Occupational and environmental health issues of solid waste management; World Bank urban Sector Board. Urban Paper Series No. UP-2; July 2006. p. 48.

DEFRA: Department for Environment Food and Rural Affairs of UK. Advanced thermal treatment of municipal solid waste. New technologies supporter programme. Crown copyright, 2007. Disponível em: <Erro! A referência de hiperlink não é válida.>. Acesso em: mar. 2011.

ECN - Energy research Centre of the Netherlands. Phyllis2, database for biomass and waste. 2007. Disponível em: <<http://www.ecn.nl/phyllis2>>. Acesso em: jan.2013

EMEP. European Monitoring and Evaluation Programme. Air pollutant emission inventory guidebook 2009, Technical guidance to prepare national emission inventories, N° 9/2009. Published by EEA - European environmental Agency. 2009.

EPA. Environmental Protection Agency. Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Detailed Tables and Figures for 2008. Office of Resource Conservation and Recovery, USEPA:EUA, 58 p., 2009.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais. Belo Horizonte:FEAM, 163 p., 2012.

GAI, C.; DONG, Y. P. Experimental study on non-woody biomass gasification in a downdraft gasifier. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, n. 6, p. 4935-4944 2012.

García-Bacaicoa P, Bilbao R, Arauzo J, Salvador ML. Scale-up of downdraft moving bed gasifiers (25-300 kg/h) e design, experimental aspects and results. *Bioresource Technology* 1994;48:229e35

GENDEBIEN, A.; LEAVENS, A.; BLACKMORE, K.; GODLEY, A.; LEWIN, K., WHITING, K.J.; DAVIS,R.; GIEDRICH, J.; FEHRENBACH, H.; GROMKE, U.; del BUFALO N.; HOGG, D. Refuse derived fuel, current practice and perspectives. Final Report. European Commission. Directorate General Environment, 2003.

GENON, G. DURANTE, R. BRIZIO, E. Environmental performances and energy efficiency: a comparison between incineration and pirolysis/gasification technologies for MSW treatment. In: Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste by CISA, Venice, 2010. Proceedings... Venice: Environmental Sanitary Engineering Centre, Venice 2010.

GIUSTI, L. A review of waste management practices and their impact on human health. **Waste Management**, v. 29, n. 8, p. 2227-2239 2009.

GOMES, C. F. S.; MAIA, A. C. C. Biomassa como alternativa para o fornecimento de energia. **Revista Eletrônica de Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 65–82 2012.

GOMEZ, G. et al. Characterization of urban solid waste in Chihuahua, Mexico. **Waste Management**, v. 28, n. 12, p. 2465-2471 2008.

HAMADA, J. Estimativas de geração e caracterização do chorume em aterros sanitários. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu, set. 1997, 170p.

HARTENSTEIN, H. U.; HORVAY, M. Overview of municipal waste incineration industry in west Europe (based on the German experience). **Journal of Hazardous Materials**, v. 47, n. 1-3, p. 19-30 1996.

HEBERLEIN, J.; MURPHY, A. B. Thermal plasma waste treatment. **Journal of Physics D-Applied Physics**, v. 41, n. 5, 2008.

HENRIQUES, R.M. Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica. Dissertação de Mestrado de Ciências em Planejamento Energético. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 204 pp., 2004.

INSTITUTO CARBONO BRASIL. Mercado de Carbono / Análise Financeira. O mercado de carbono entre 02 e 09 de outubro. 09/10/2012 2012. Disponível em: <

http://www.institutocarbonobrasil.org.br/analise_financeira/noticia=732045 >. Acesso em: out. 2012.

INTOSAI - International Organisation of Supreme Audit Institutions. Towards auditing Waste Management. INTOSAI working group on environmental Auditing; 2002.

KNOEF, H. **Review of small-scale biomass gasification. Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste** Strasbourg: Expert Meeting, 2002.

LAURENT BONTOUX. **The incineration of waste in europe: issues and perspectives.** INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES SEVILLE. Sevilla, p.45 paginas. 1999

LEFCORT, M.; IYER, S.; FINESTONE, P. **Gasification of Municipal Solid Waste. Municipal Solid Waste is Biomass. Biosphere Environmental Energy. Ecology Energy Wet Cell Gasification; The “EnviroCycler”.** California: Biosphere Environmental Energy, 2010. 24.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012. 1158.

MALKOW, T. Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal. **Waste Management**, v. 24, n. 1, p. 53-79 2004.

MARTINEZ, J. D. et al. Experimental study on biomass gasification in a double air stage downdraft reactor. **Biomass & Bioenergy**, v. 35, n. 8, p. 3465-3480 2011.

_____. Syngas production in downdraft biomass gasifiers and its application using internal combustion engines. **Renewable Energy**, v. 38, n. 8, 2012.

MORRIS, M.; WALDHEIM, L. Energy recovery from solid waste fuels using advanced gasification technology. **Waste Management**, v. 18, n. 6-8, p. 557-564 1998.

MUNOZ, M. et al. Low heating value gas on spark ignition engines. **Biomass & Bioenergy**, v. 18, n. 5, p. 431-439 2000.

OJEDA-BENITEZ, S. et al. Characterization and quantification of household solid wastes in a Mexican city. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 39, n. 3, p. 211-222 2003.

OLOFSSON, I.; NORDIN, A.; SODERLIND, U. **Initial Review and Evaluation of Process Technologies and Systems Suitable for Cost-Efficient Medium-Scale Gasification for Biomass to Liquid Fuels.** **Energy Technology & Thermal Process Chemistry.** Umea: University of Umea, S-901 87, 2005. 95.

Alan D. Pasternak. Global Energy Futures and Human Development: A Framework for Analysis. 2000. Disponível em: <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/239193.pdf>. Acesso em outubro de 2012.

PERNES, A.F.B.L. Quantificação de metais em resíduos para valorização energética. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária. Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 114 pp., 2008.

PETERS, M. S.; TIMMERHAUS, K. D. **PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS**. Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1991.

PHILIPPE, F. N.; CULOT, M. Household solid waste generation and characteristics in Cape Haitian city, Republic of Haiti. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 2, p. 73-78 2009.

REMER, D. S.; STOKDYK, S. B.; VAN DRIEL, M. Survey of project evaluation techniques currently used in industry. **International Journal of Production Economics**, v. 32, n. 1, p. 103-115 1993.

RUSSO, M. A. T. Tratamento de resíduos sólidos. **Universidade de Coimbra-Faculdade de Ciências e Tecnologia-Departamento de Engenharia Civil**, 2003.

Sanner, W.S, Ortuglio, C., Walters, J.G., Wolfson, D.E., 1970. Conversion of municipal and industrial refuse into useful materials by pyrolysis. U.S. Bureau of Mines, RI 7428. apud BASU, P. Biomass gasification and pyrolysis : practical design and theory. Brulington, MA: Academic, 2010.

SANTOS, A.S.P. Aspectos Técnicos e Econômicos do Tratamento Combinado de Lixiviado de Aterro Sanitário com Esgoto Doméstico em Lagoas de Estabilização. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 212 pp., 2010.

SCHIMITZ, K. W.; KOCH, G. **Kraft-wärme-kopplung: anlagenauswahl, dimensionierung, wirtschaftlichkeit, emissionsbilanz**. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996.

SINGH, R. P. et al. Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 7, p. 719-729 2011.

SRIDHAR, G.; PAUL, P. J.; MUKUNDA, H. S. Biomass derived producer gas as a reciprocating engine fuel - an experimental analysis. **Biomass & Bioenergy**, v. 21, n. 1, p. 61-72 2001.

STEFANIS, P. Sviluppo tecnologici dei trattamenti termici dei rifiuti. ENEA. Convegno. Per una gestione sostenibile dei rifiuti: tecnologie a confronto. Bologna, 2007.

STEHLIK, P. Contribution to advances in waste-to-energy technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 10, p. 919-931 2009.

UNEP. United Nations Environment Programme. Solid Waste Management, Volume 1. ISBN: 92-807-2676-5. Copyright United Nations Environment Programme, (2005).

URS CORPORATION. Evaluation of alternative solid waste processing technologies., Los Angeles, 2005b. Disponível em: <http://www.lacitysan.org/solid_resources/strategic_programs/alternative_tech/PDF/final_report.pdf>. Acesso em: 2012.

VACCARI, M. et al. From mixed to separate collection of solid waste: Benefits for the town of Zavidovići (Bosnia and Herzegovina). **Waste Management**, v. 33, n. 2, p. 277-286

VOUNATSOS, P.; ATSONIOS, K.; AGRANIOTIS, M.; PANOPOULOS, K.D.; KOUFODIMOS, P.; KAKARAS, E. Characterisation and classification of Solid Recovered Fuels (SRF) and model development of a novel thermal utilization concept through air-gasification. In: XXV International Conference on Efficiency, Cost Optimization, Simulation and Environmental Impact Energy Systems (ECOS). Perugia (Itália):ECOS, 26–29 de Junho, 506-1–506-15, 2012.

WAGLAND, S. T. et al. Comparison of coal/solid recovered fuel (SRF) with coal/refuse derived fuel (RDF) in a fluidised bed reactor. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1176-1183 2011.

WARNECKE, R. Gasification of biomass: comparison of fixed bed and fluidized bed gasifier. **Biomass & Bioenergy**, v. 18, n. 6, p. 489-497 2000.

YONG, G. C. **Municipal solid waste to energy conversion process. Economic, technical, and renewable comparisons**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010. 384.

APÊNDICE A – Análise da VPL e TIR para o cenário 1 para todos os grupos populacionais avaliados

Análise do Grupo A

Planilha: [VPL_lixo_GRUPO_A_10,58%_20_a nos.xlsx]GA

Previsão: ANÁLISE VPL GRUPO A

Célula: I63

Resumo:

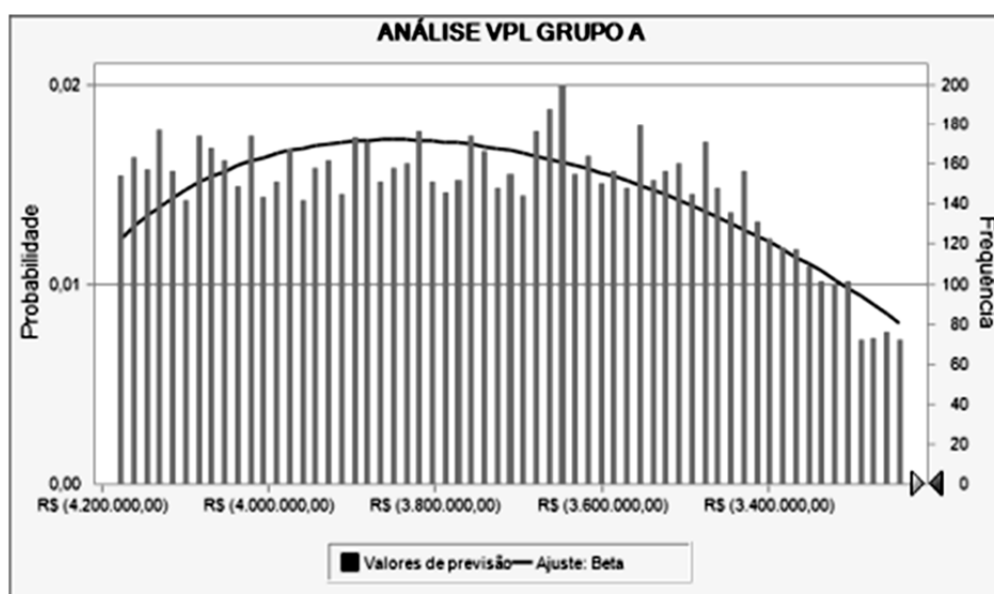
O nível de certeza é 0,00%

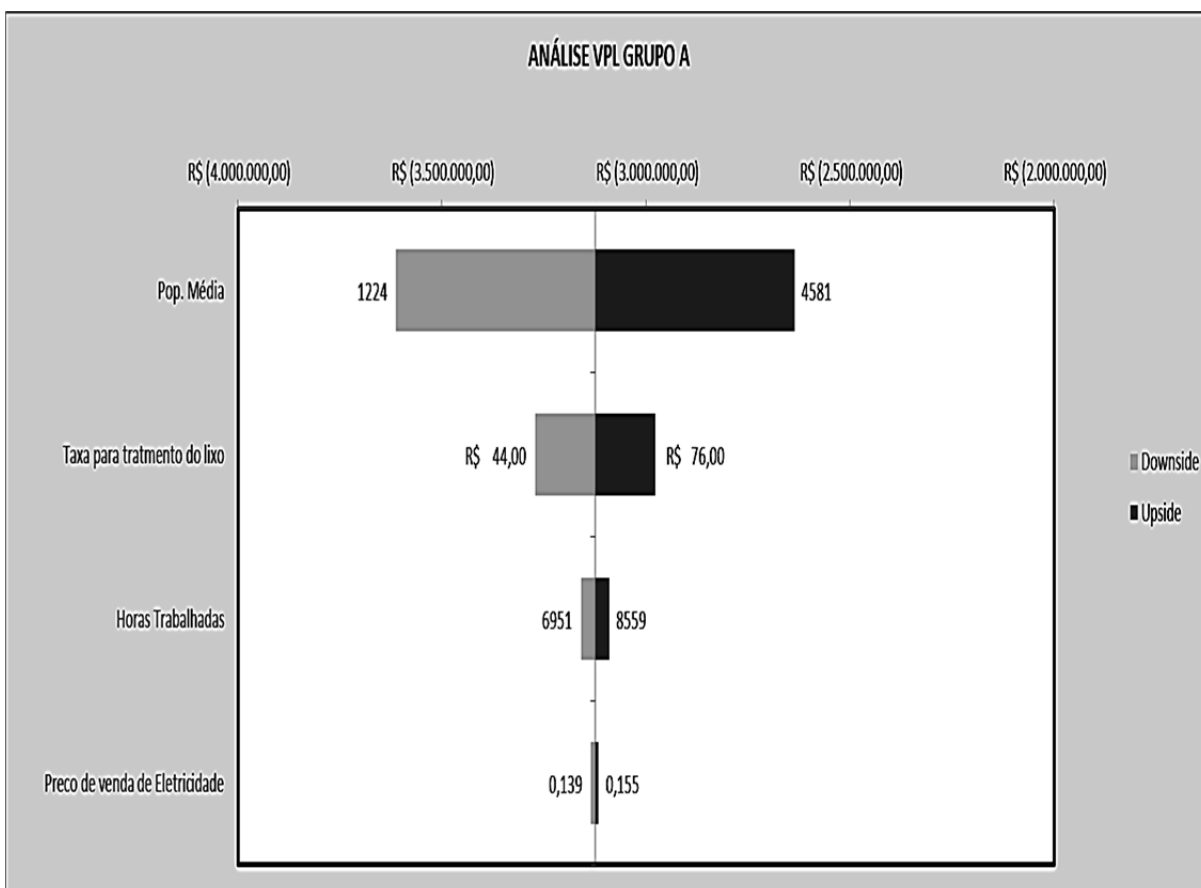
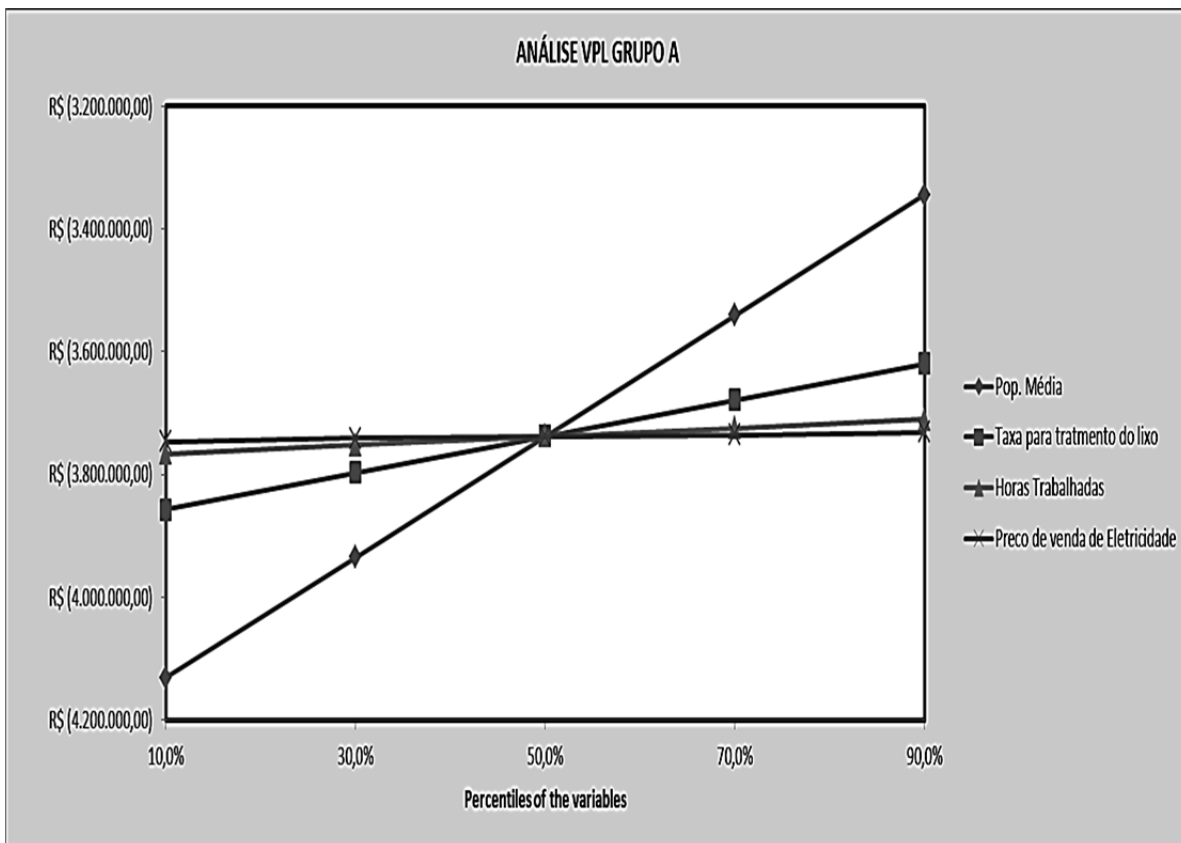
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a +Infinito

O intervalo inteiro de R\$ (4.272.005,12) a R\$ (2.958.762,84)

O caso base é R\$ (3.638.015,59)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 2.981,71





Análise do Grupo B

Planilha: [VPL_GRUPO_B_10,58%_20_Anos.xlsx]GB

Previsão: Análise VPL Grupo B

Célula: I

Resumo:

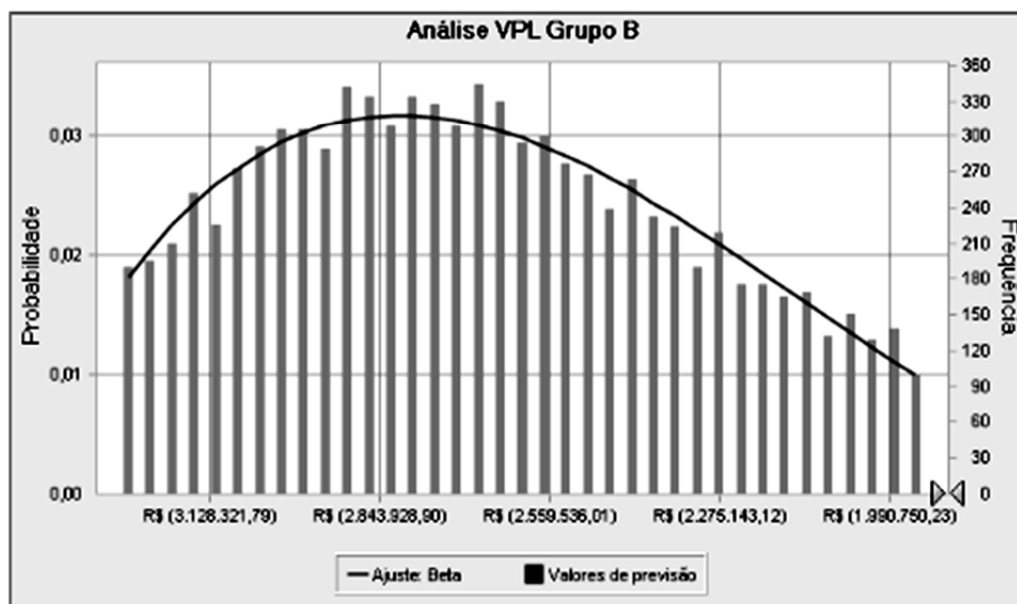
O nível de certeza é 0,00%

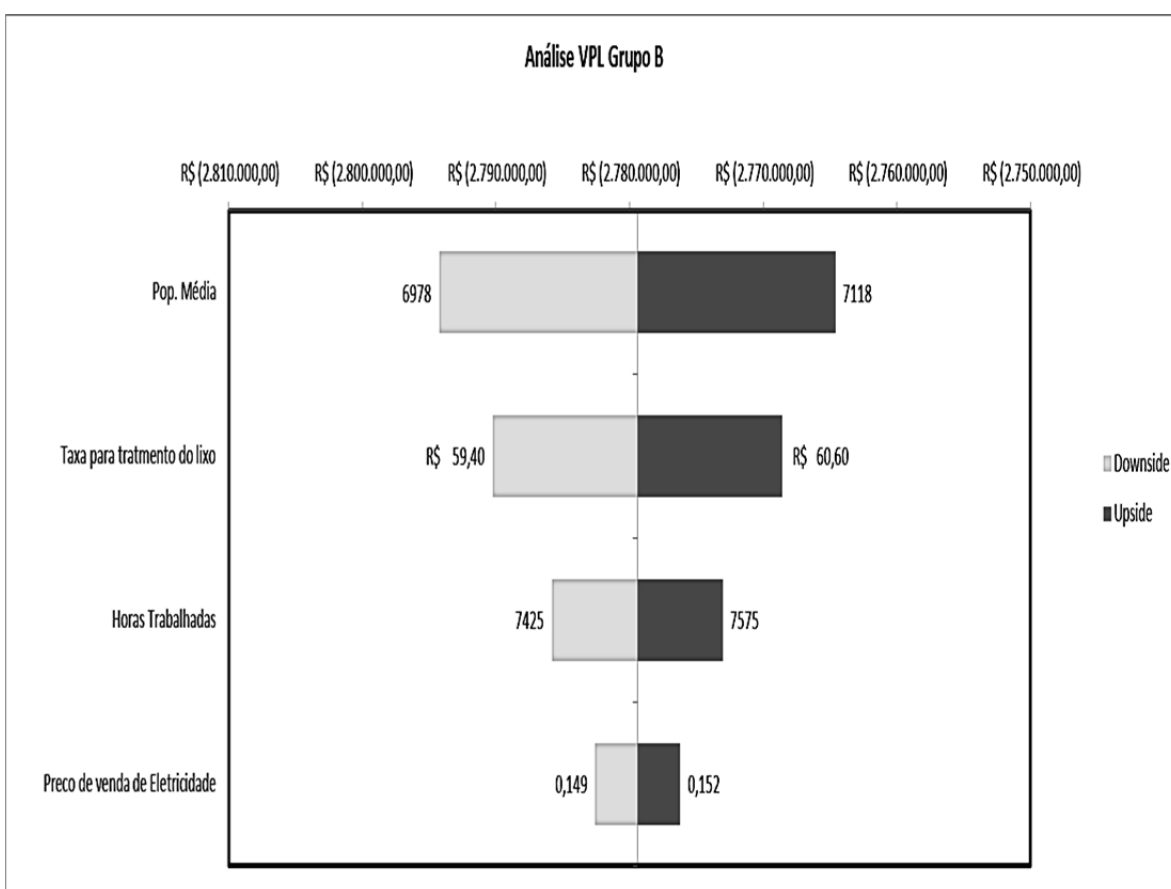
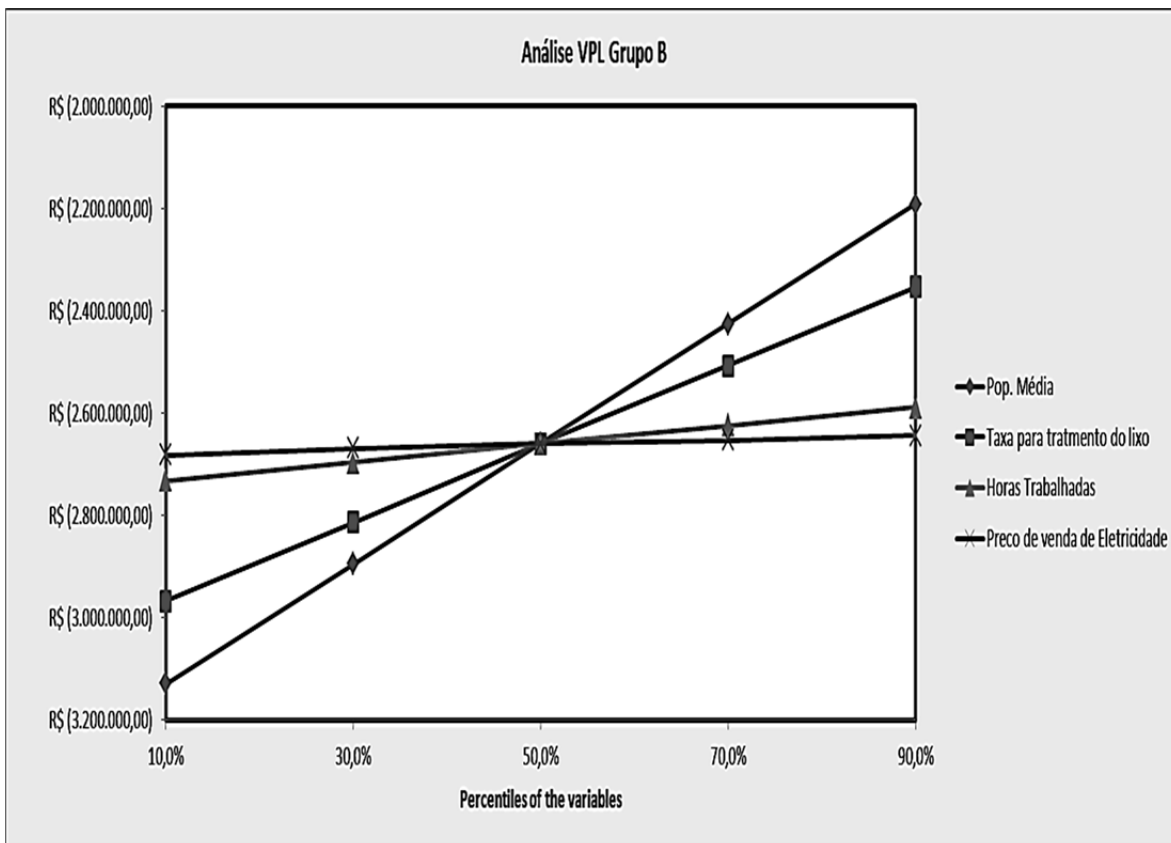
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 520.056,01

O intervalo inteiro de R\$ (3.530.822,91) a R\$ (1.489.097,88)

O caso base é R\$ (2.783.434,41)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 4.136,70





Análise do Grupo C

Planilha: [VPL_GRUPO_C_10,58%_20_Anos.xlsx]GC

Previsão: Análise VPL Grupo C

Célula: I

Resumo:

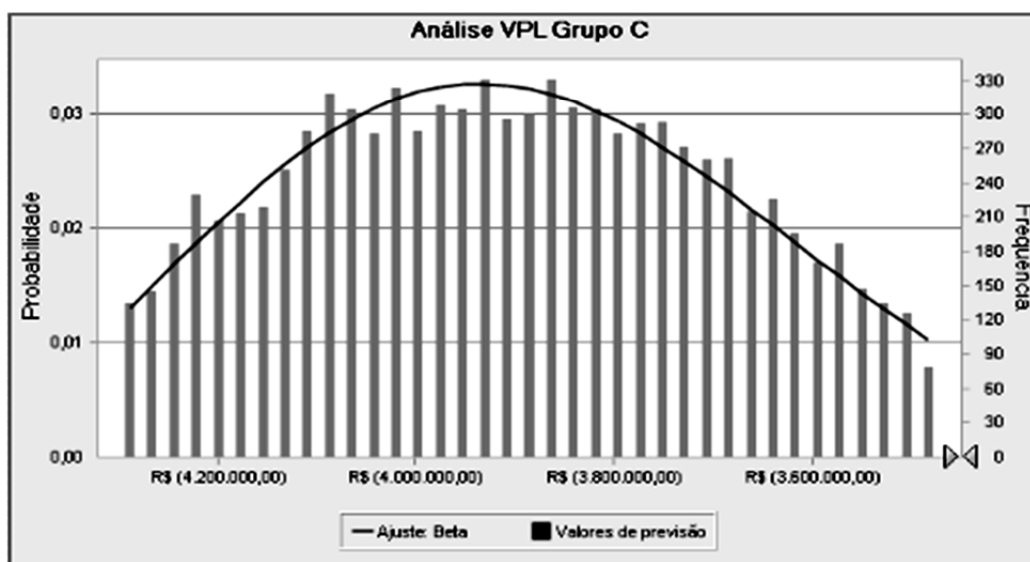
O nível de certeza é 0,00%

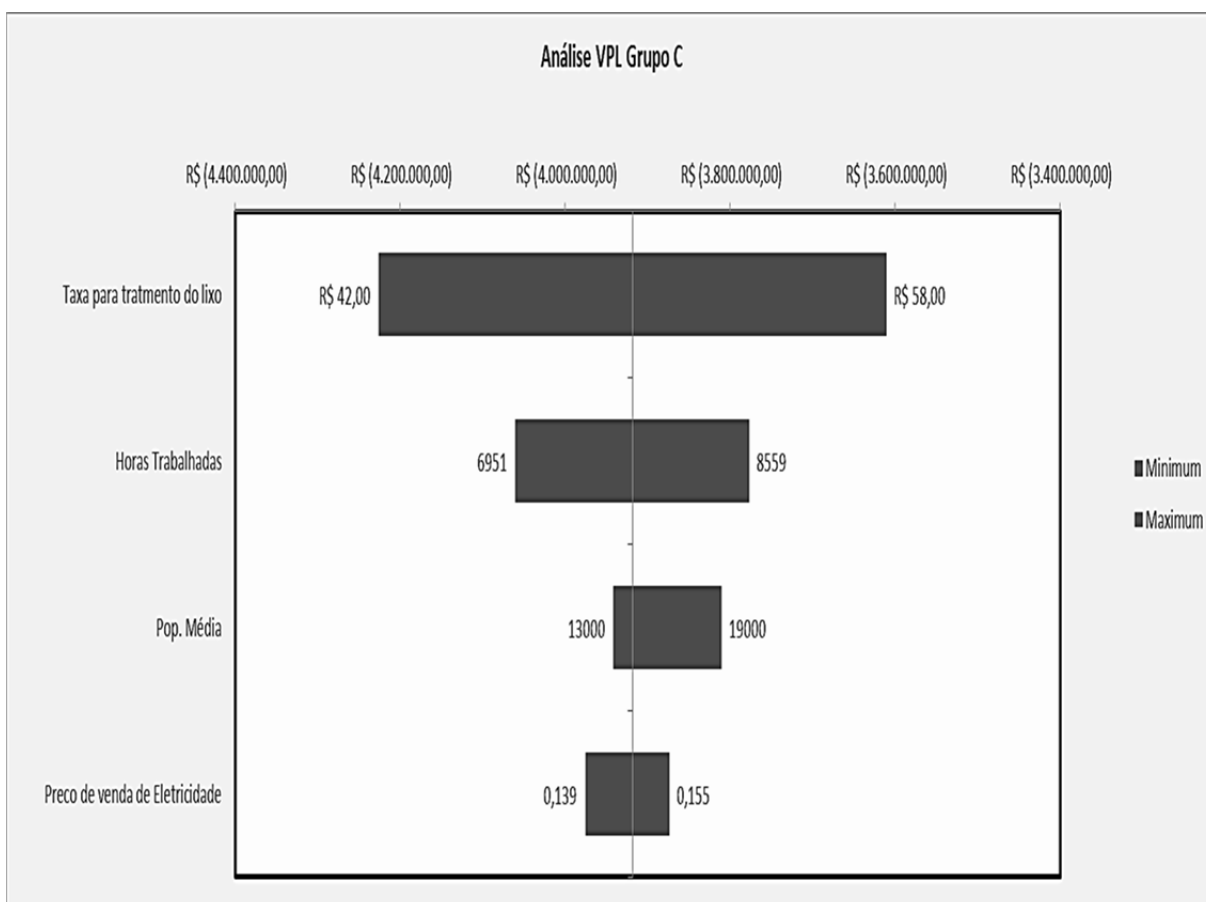
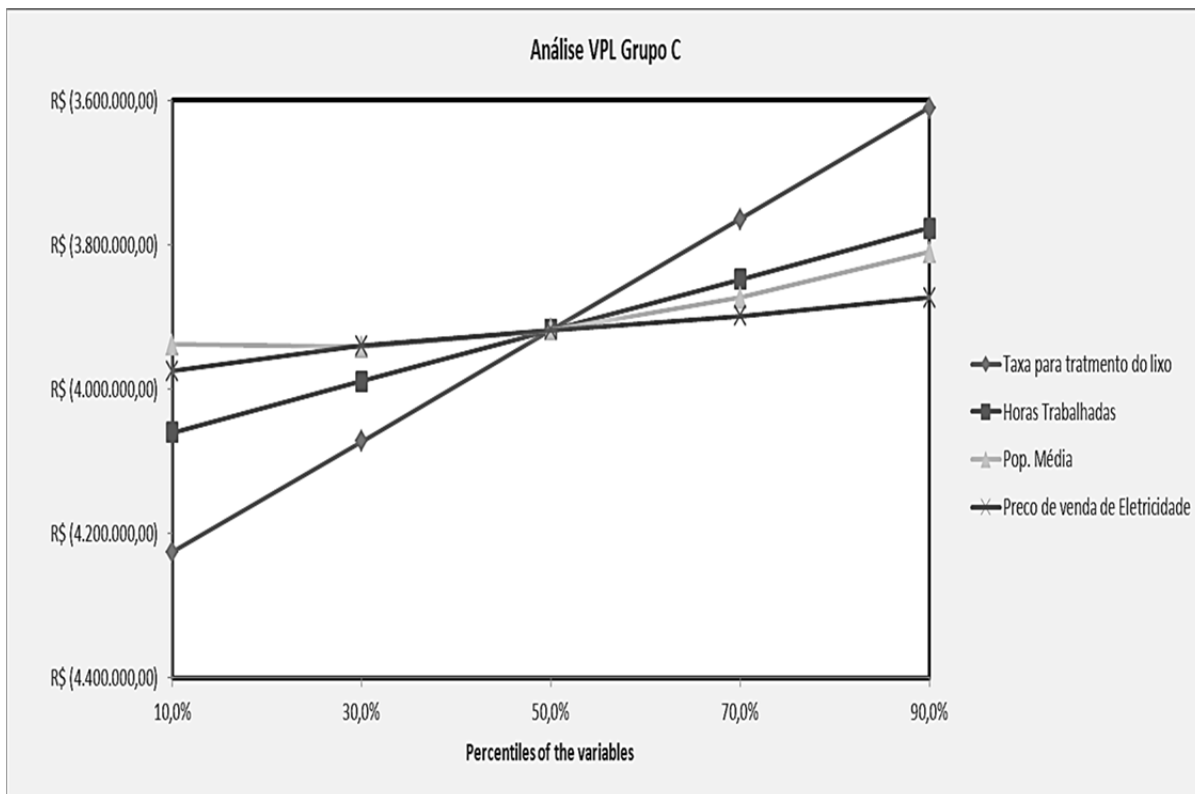
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 1.129.477,49

O intervalo inteiro de R\$ (4.518.514,41) a R\$ (3.037.392,76)

O caso base é R\$ (3.601.027,22)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 2.561,45





Análise do Grupo D

Planilha: [VPL_GRUPO_D_10,58%_20_a nos.xlsx]GD

Previsão: Análise VPL Grupo D

Célula: I

Resumo:

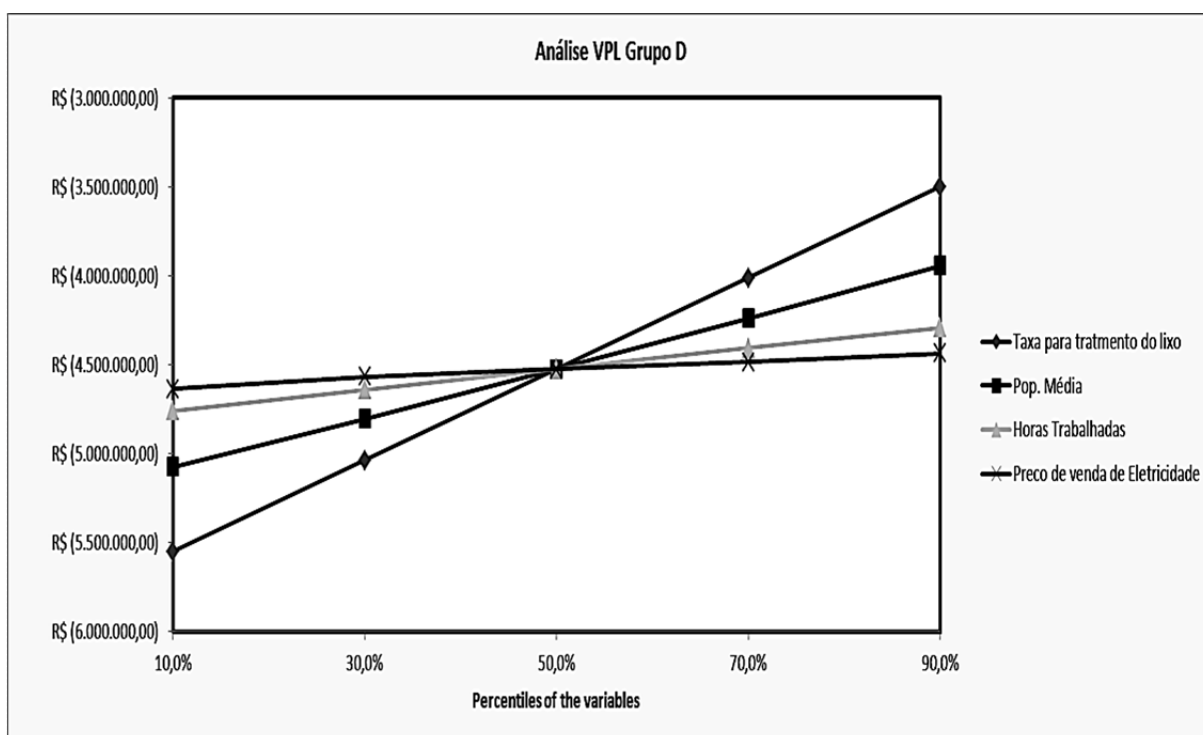
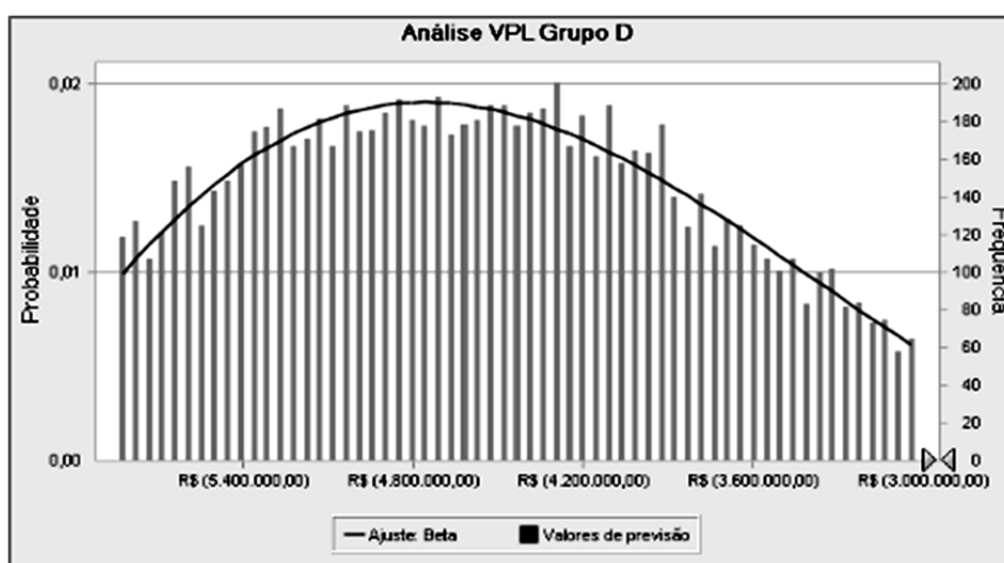
O nível de certeza é 0,00%

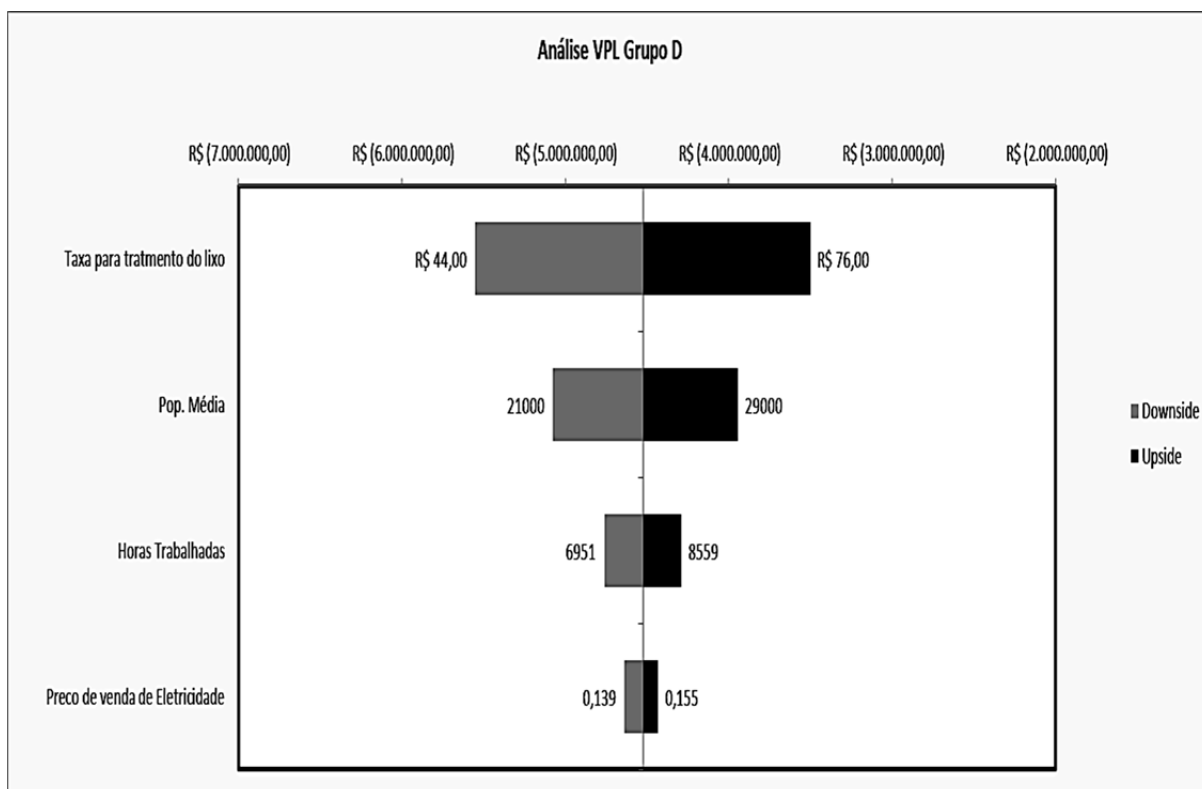
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 308.322,05

O intervalo inteiro de R\$ (6.430.089,69) a R\$ (1.901.638,22)

O caso base é R\$ (4.696.961,18)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 8.695,58



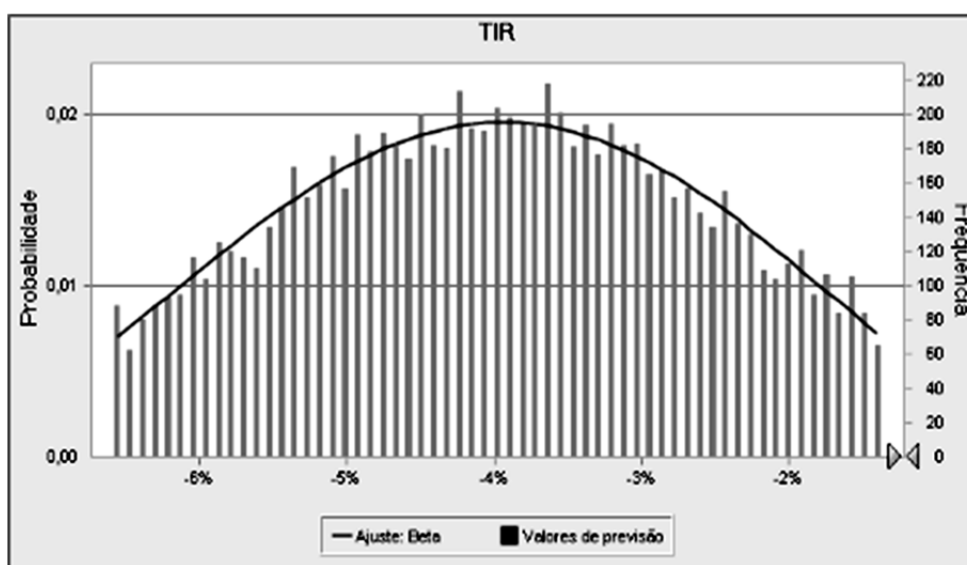


Previsão: TIR

Célula: I68

Resumo:

- nível de certeza é 0,01%
- intervalo de certeza é de 0% a 2%
- intervalo inteiro de -8% a 0%
- caso base é -4%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo E

Planilha: [VPL_GRUPO_E_10,58%_20_anos.xlsx]GE

Previsão: Análise VPL Grupo E

Célula: I

Resumo:

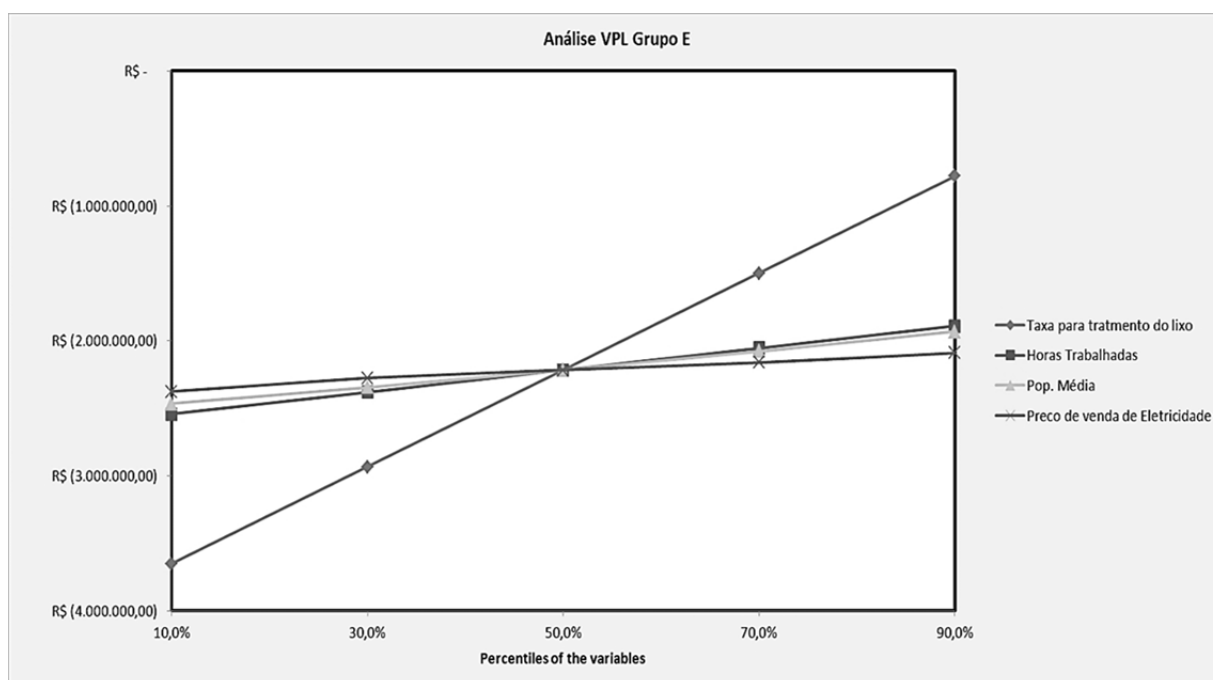
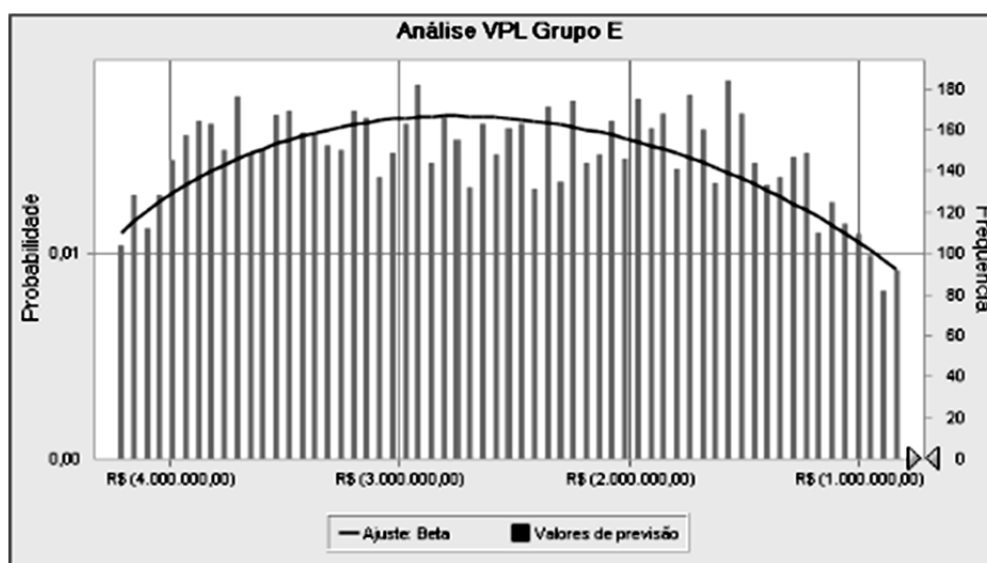
O nível de certeza é 0,16%

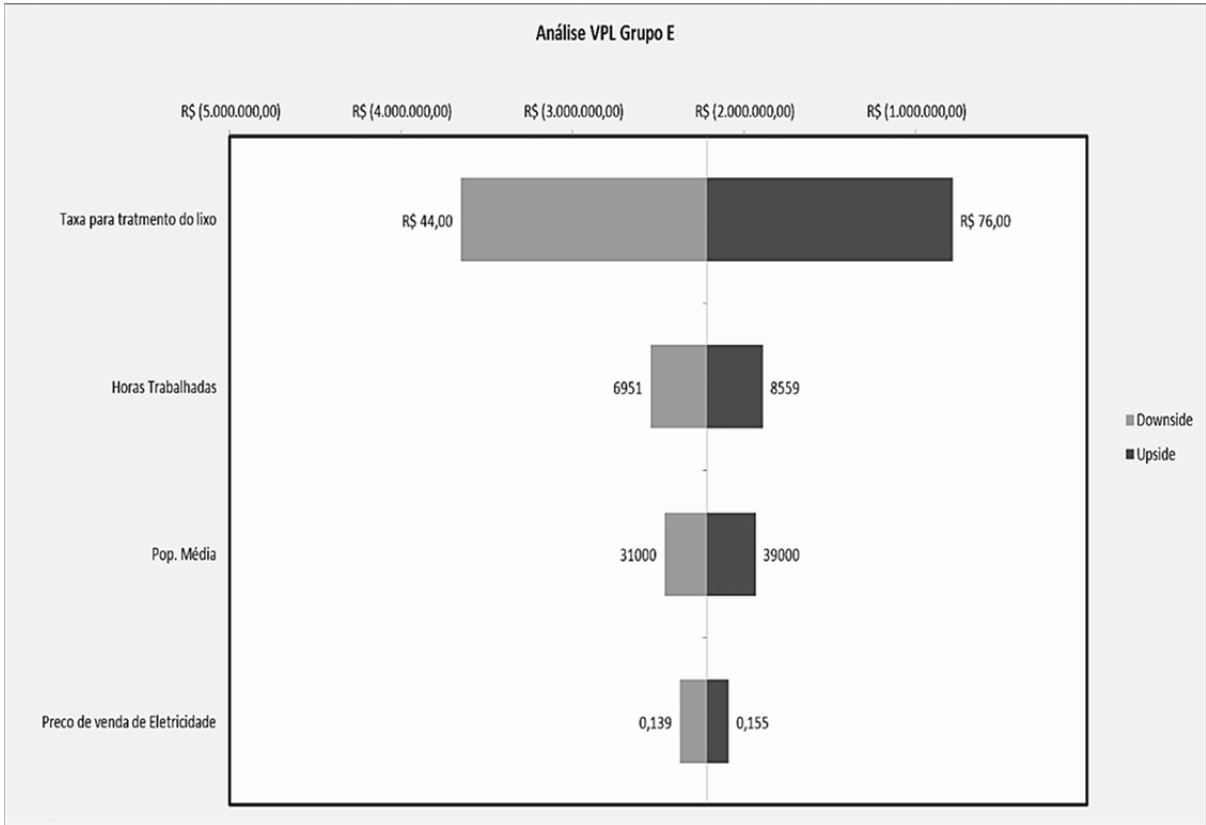
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 3.194.042,35

O intervalo inteiro de R\$ (4.817.920,04) a R\$ 263.326,08

O caso base é R\$ (2.673.276,06)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 10.913,61



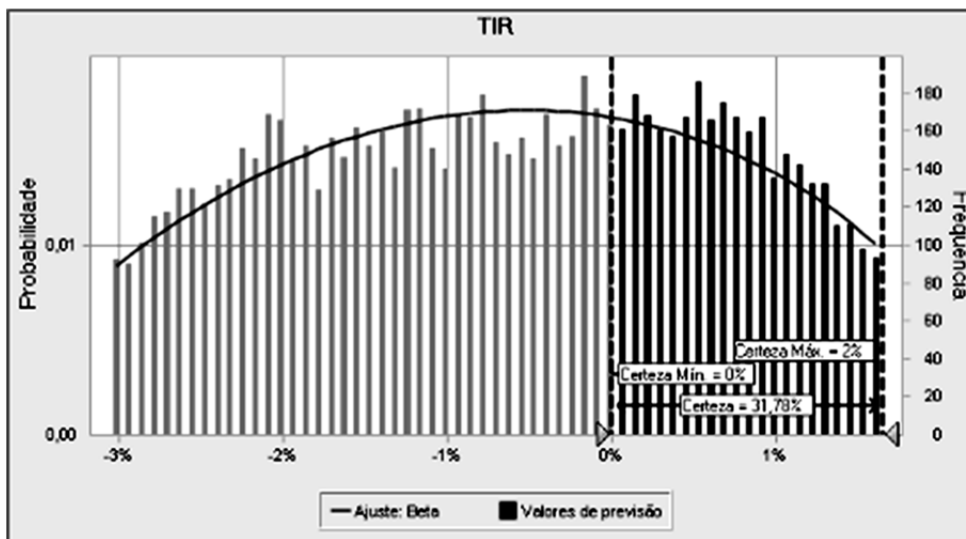


Previsão: TIR

Célula: I67

Resumo:

- O nível de certeza é 31,78%
- O intervalo de certeza é de 0% a 2%
- O intervalo inteiro de -4% a 3%
- O caso base é -1%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo F

Planilha: [VPL_GRUPO_F_10,58%_20_anos.xlsx]GF

Previsão: Análise VPL Grupo F

Célula: I

Resumo:

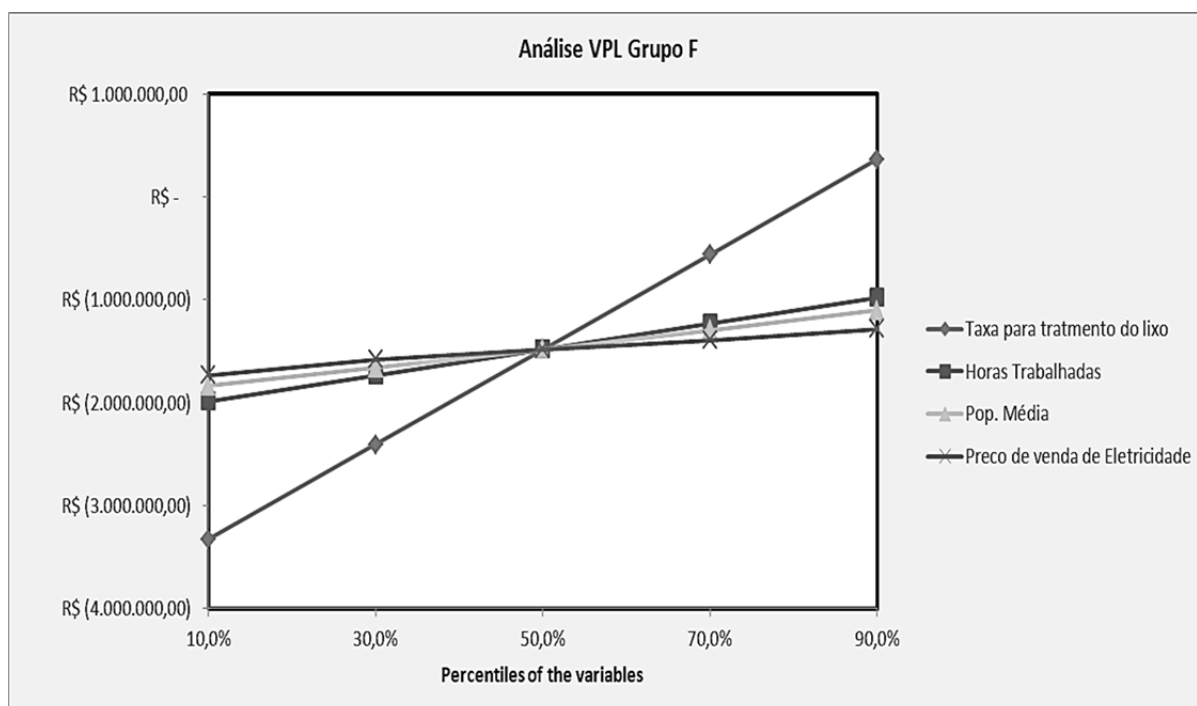
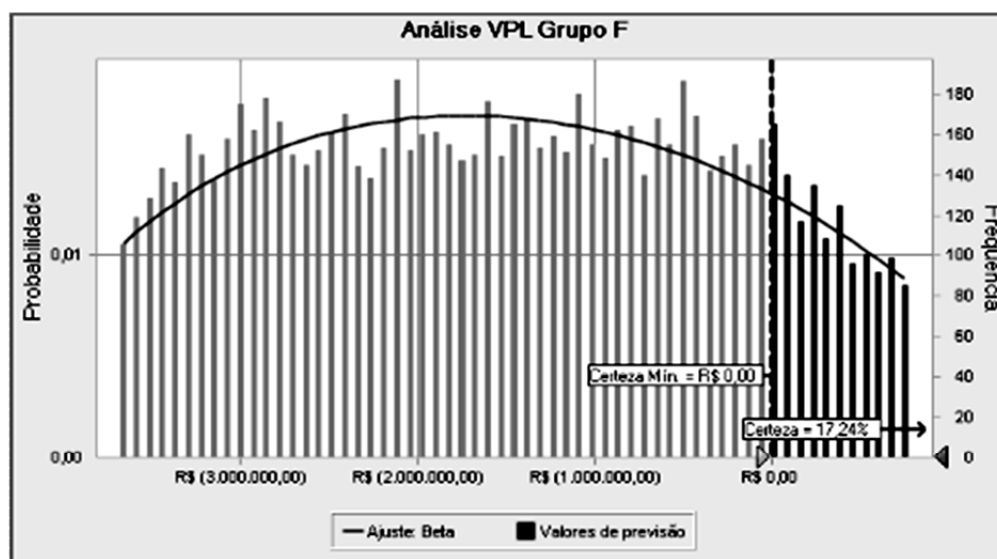
O nível de certeza é 17,24%

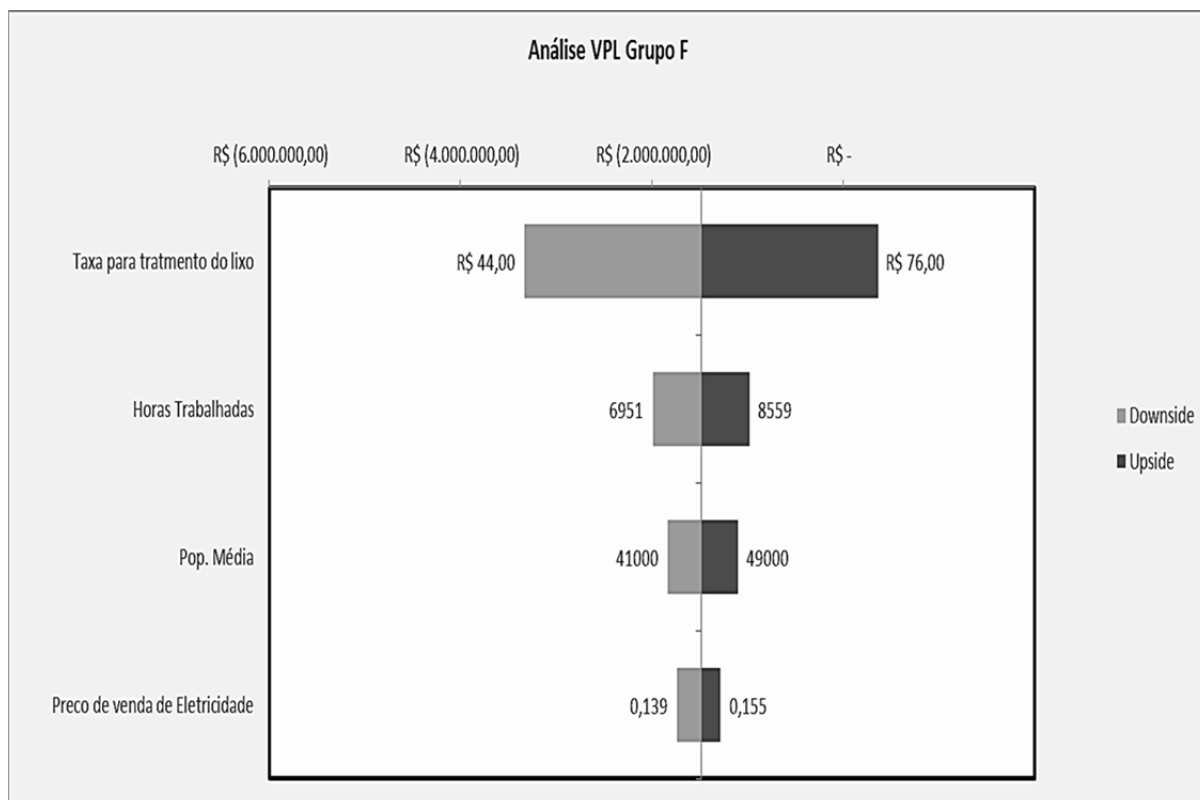
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a +Infinito

O intervalo inteiro de R\$ (4.740.165,07) a R\$ 2.230.738,09

O caso base é R\$ (1.642.137,59)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 14.204,71

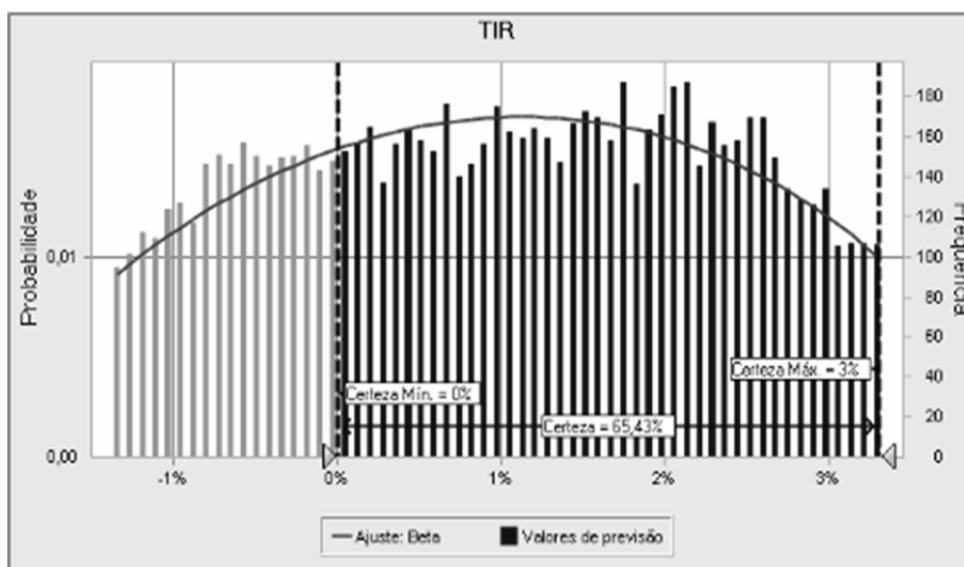


**Previsão: TIR**

Célula: I67

Resumo:

- O nível de certeza é 65,43%
- O intervalo de certeza é de 0% a 3%
- O intervalo inteiro de -3% a 5%
- O caso base é 1%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo G

Planilha: [VPL_GRUPO_G_10,58%_20_a nos.xlsx]GG

Previsão: Análise VPL Grupo G

Célula: I

Resumo:

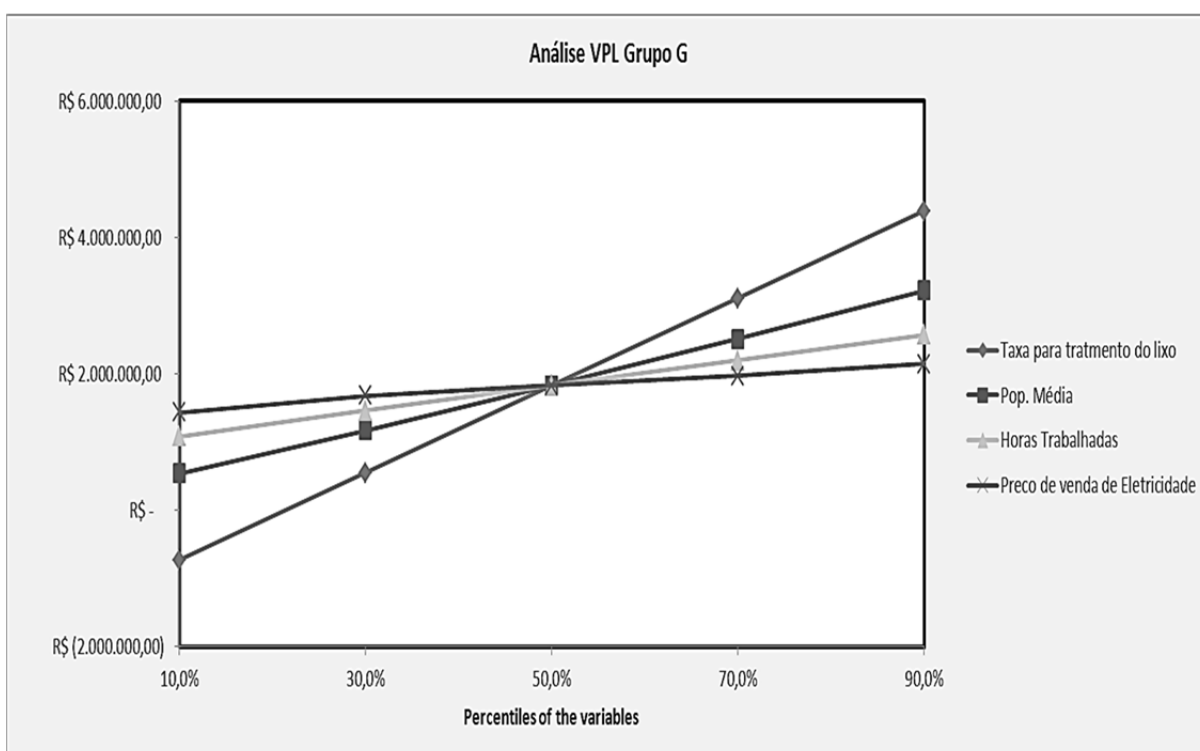
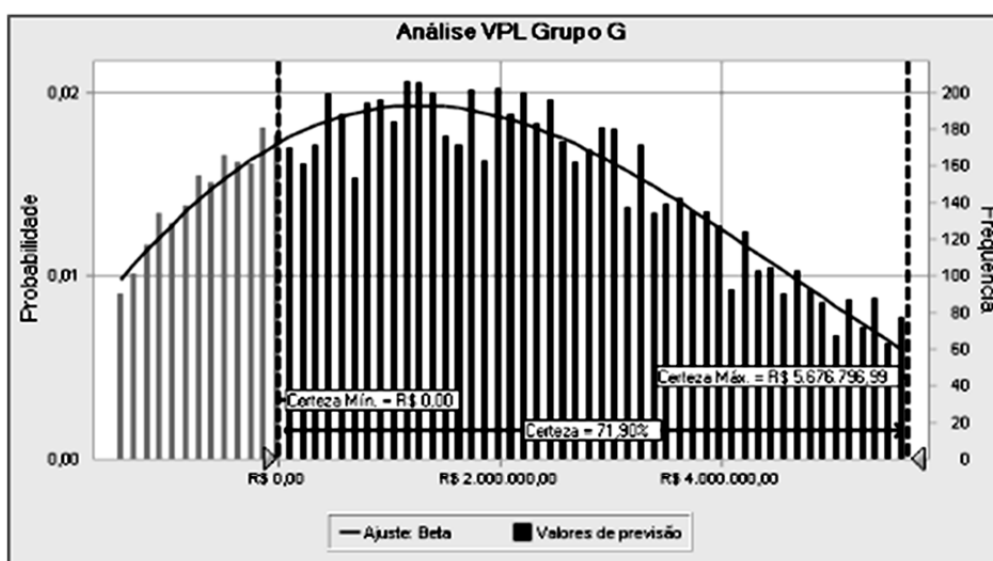
O nível de certeza é 71,90%

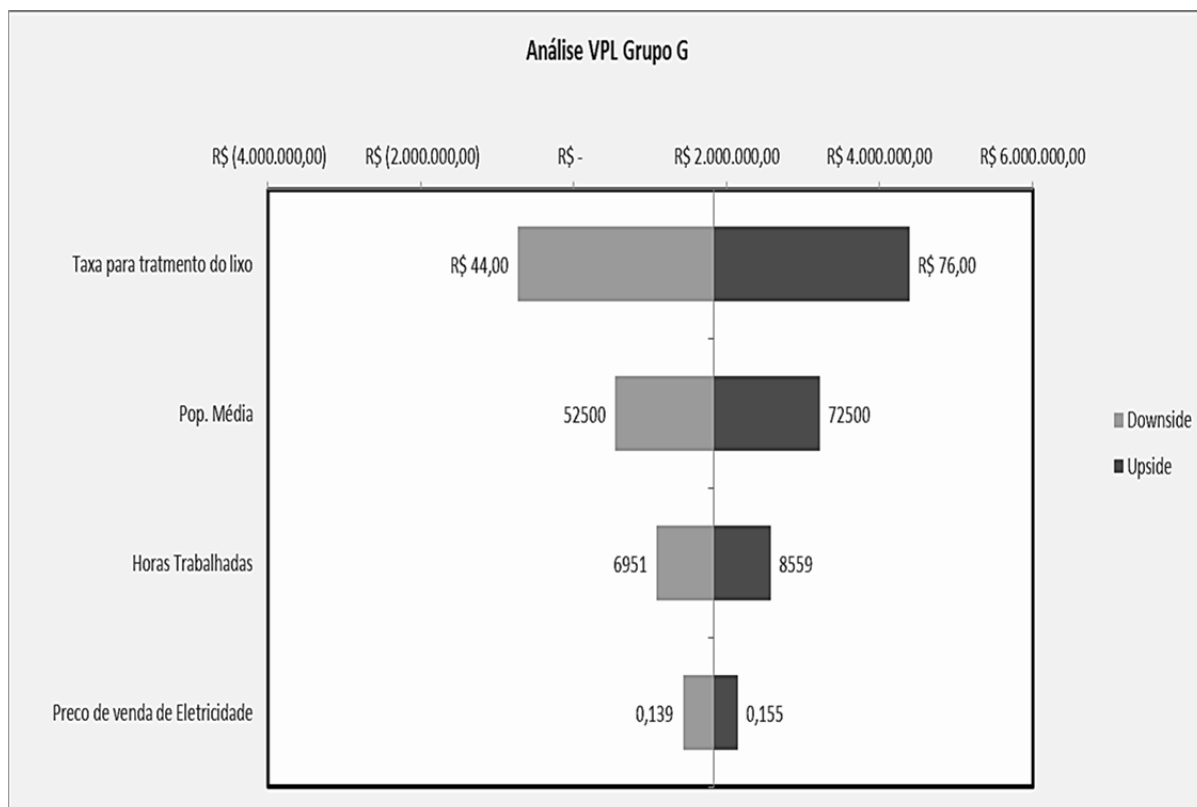
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 5.676.796,99

O intervalo inteiro de R\$ (3.301.709,57) a R\$ 8.325.799,29

O caso base é R\$ 1.448.019,71

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 21.939,33



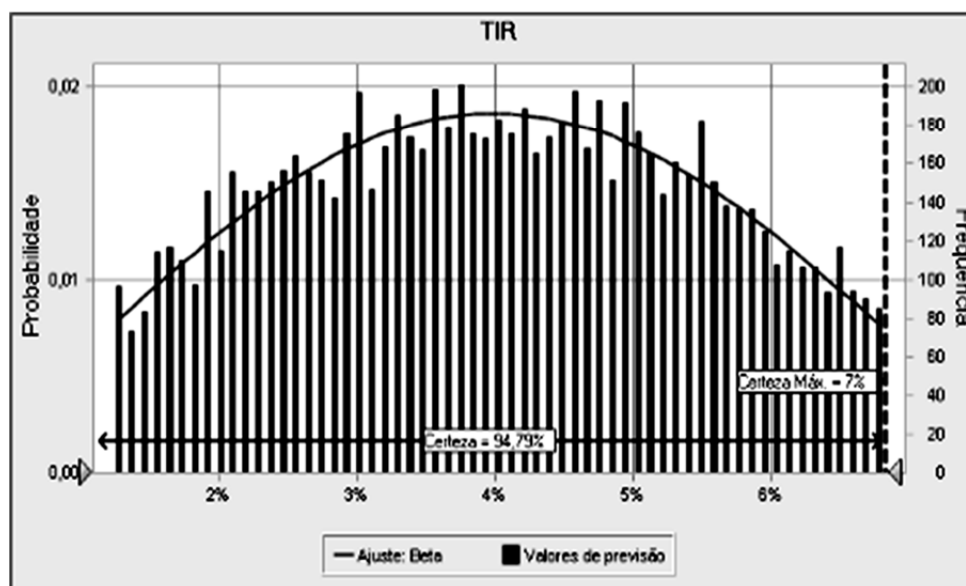


Previsão: TIR

Célula: I68

Resumo:

- O nível de certeza é 94,79%
- O intervalo de certeza é de 0% a 7%
- O intervalo inteiro de -1% a 8%
- O caso base é 4%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo H

Planilha : [VPL_GRUPO_H_10,58%_20_anos.xlsx]GH

Previsão: Análise VPL Grupo H

Célula : I63

Resumo:

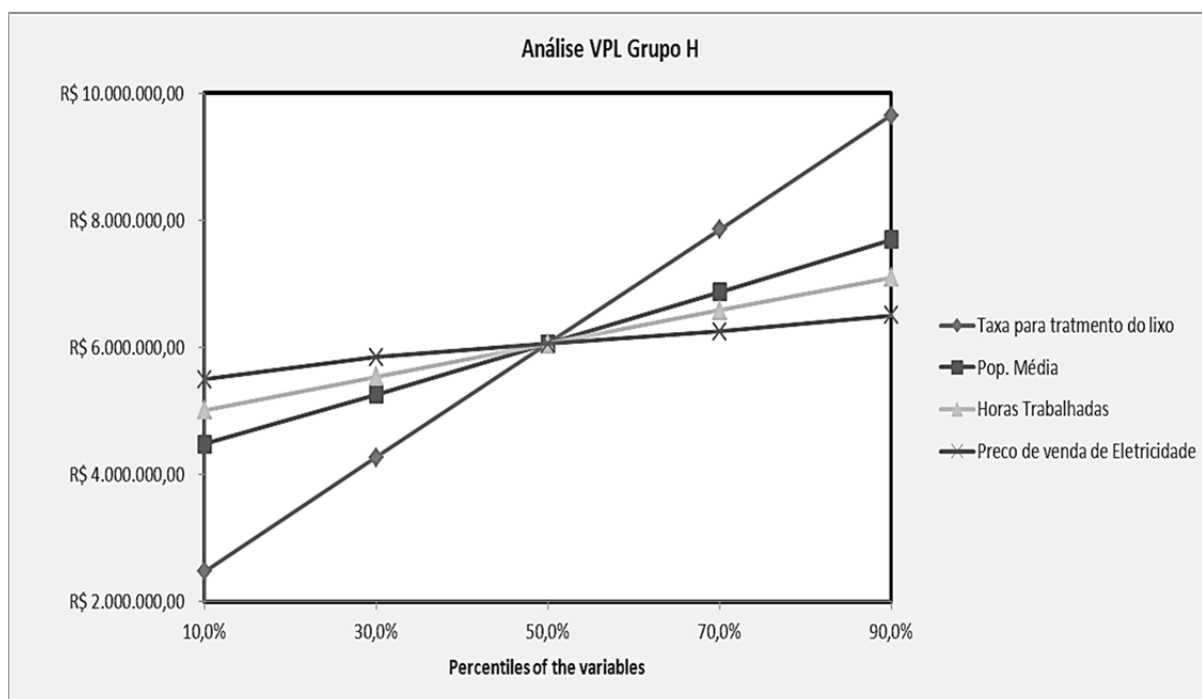
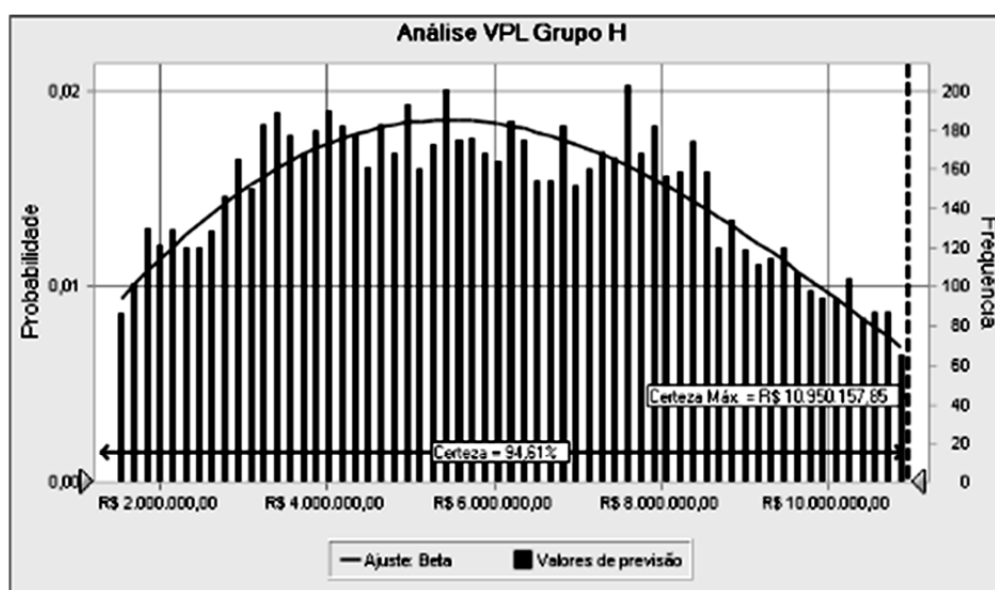
O nível de certeza é 94,61%

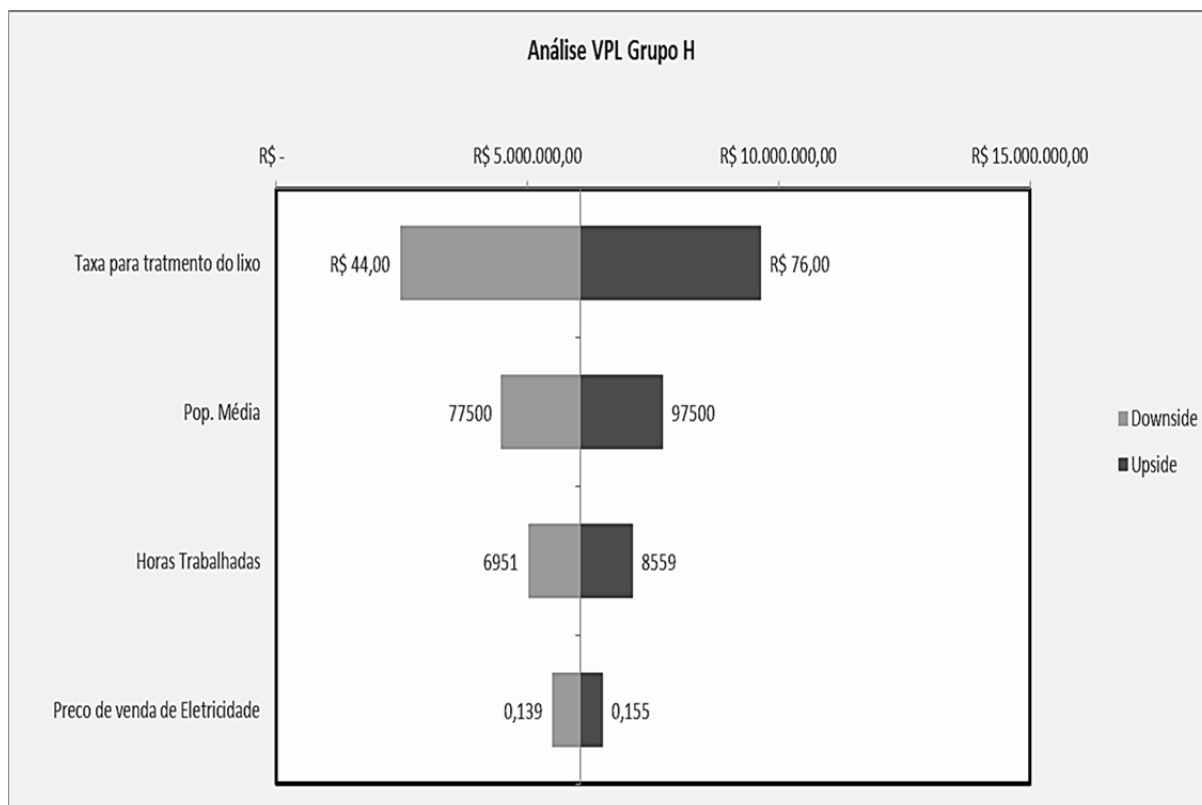
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 10.950.157,85

O intervalo inteiro de R\$ (985.932,06) a R\$ 14.926.148,20

O caso base é R\$ 5.504.944,37

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 29.428,01



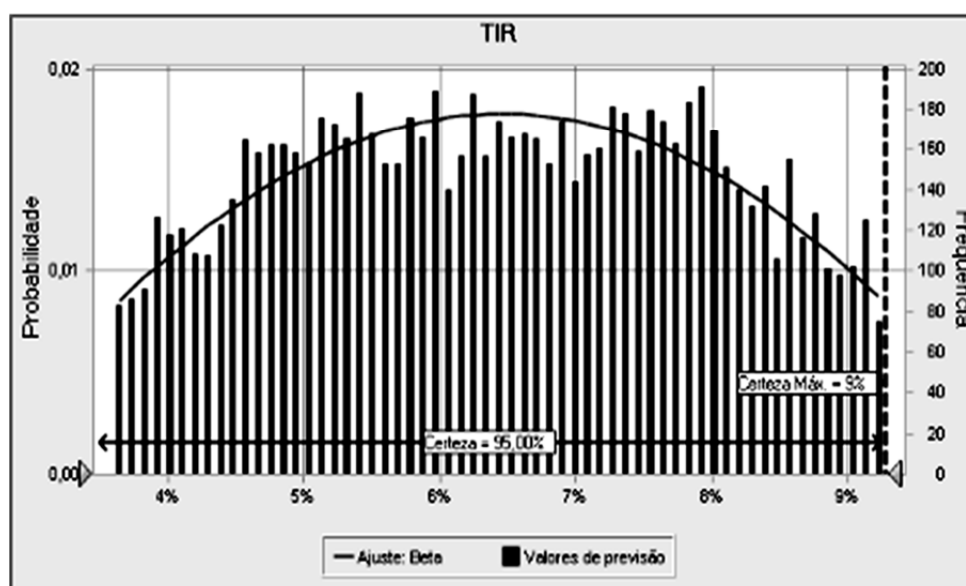


Previsão: TIR

Célula: I68

Resumo:

- O nível de certeza é 95,00%
- O intervalo de certeza é de 0% a 9%
- O intervalo inteiro de 2% a 11%
- O caso base é 6%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo H

Planilha: [VPL_GRUPO_H_10,58%_20_anos.xlsx]GH

Previsão: Análise VPL Grupo H

Célula: I63

Resumo:

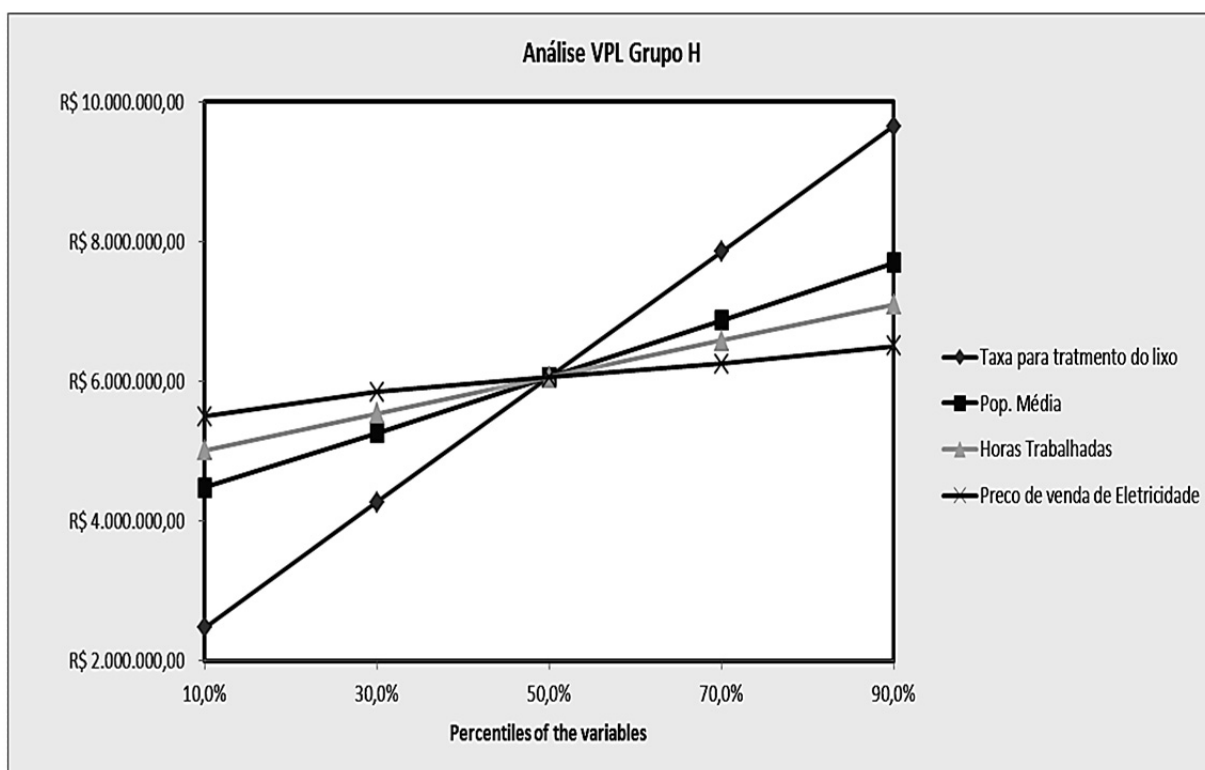
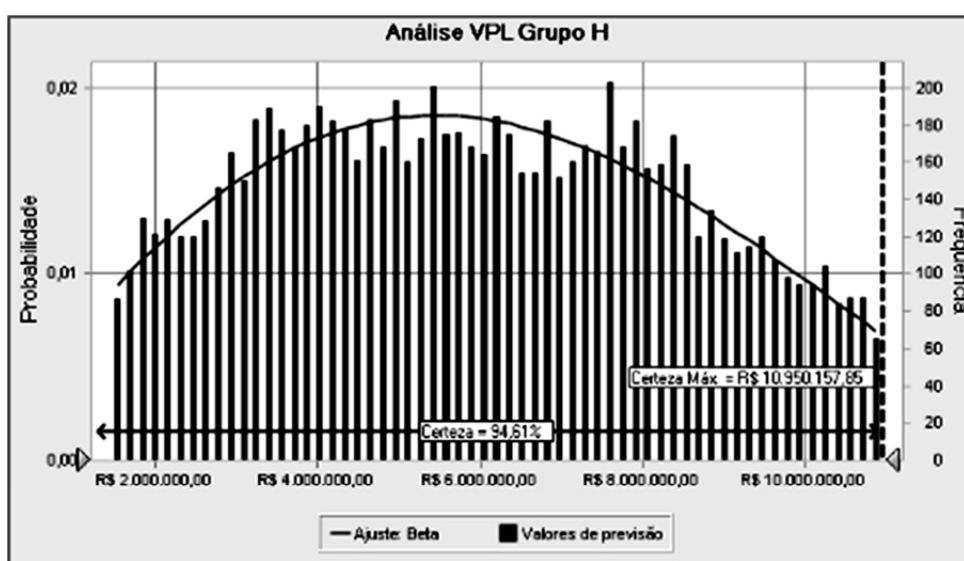
O nível de certeza é 94,61%

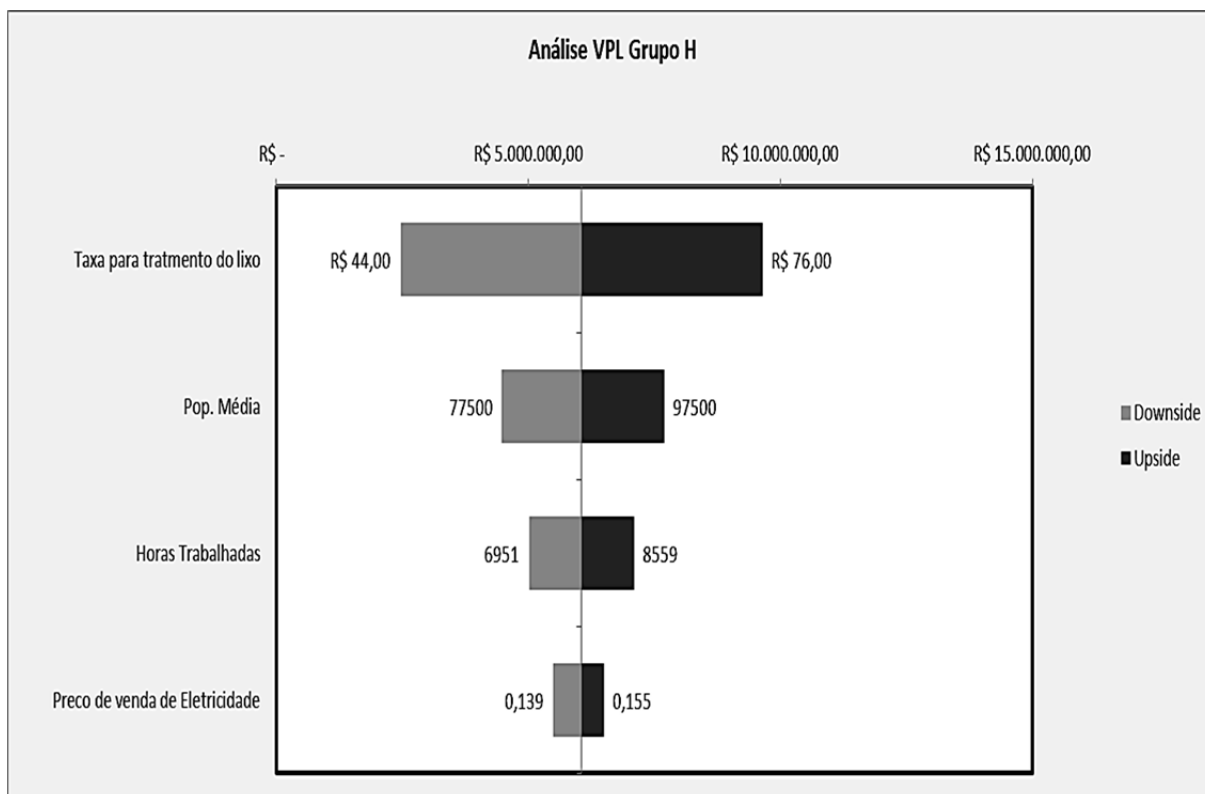
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 10.950.157,85

O intervalo inteiro de R\$ (985.932,06) a R\$ 14.926.148,20

O caso base é R\$ 5.504.944,37

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 29.428,01





Previsão: TIR

Célula: I68

Resumo:

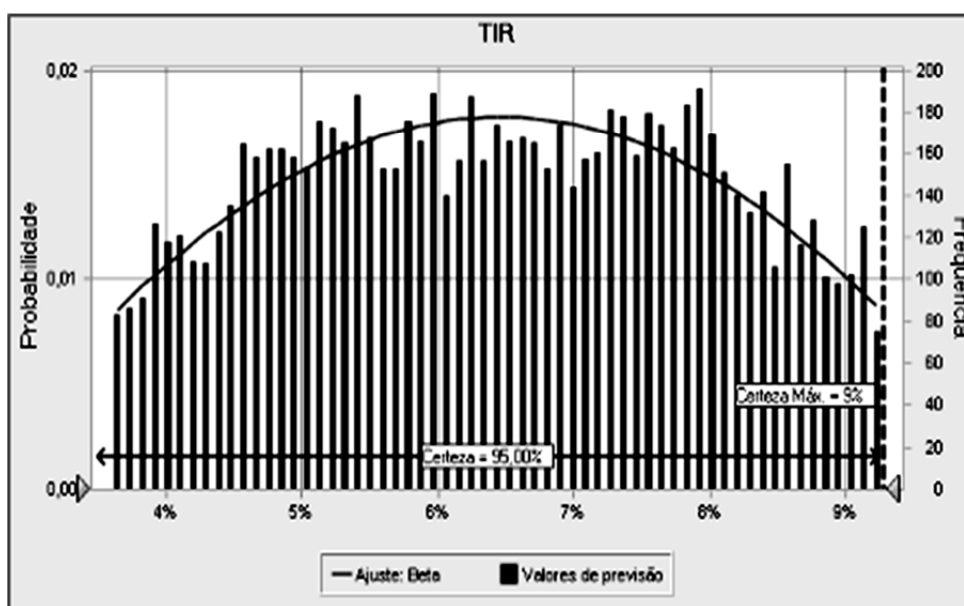
O nível de certeza é 95,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 9%

O intervalo inteiro de 2% a 11%

O caso base é 6%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo I

Planilha: [VPL_GRUPO_I_10,58%_20_a_nos.xlsx]GI

Previsão: Análise VPL Grupo I

Célula: I63

Resumo:

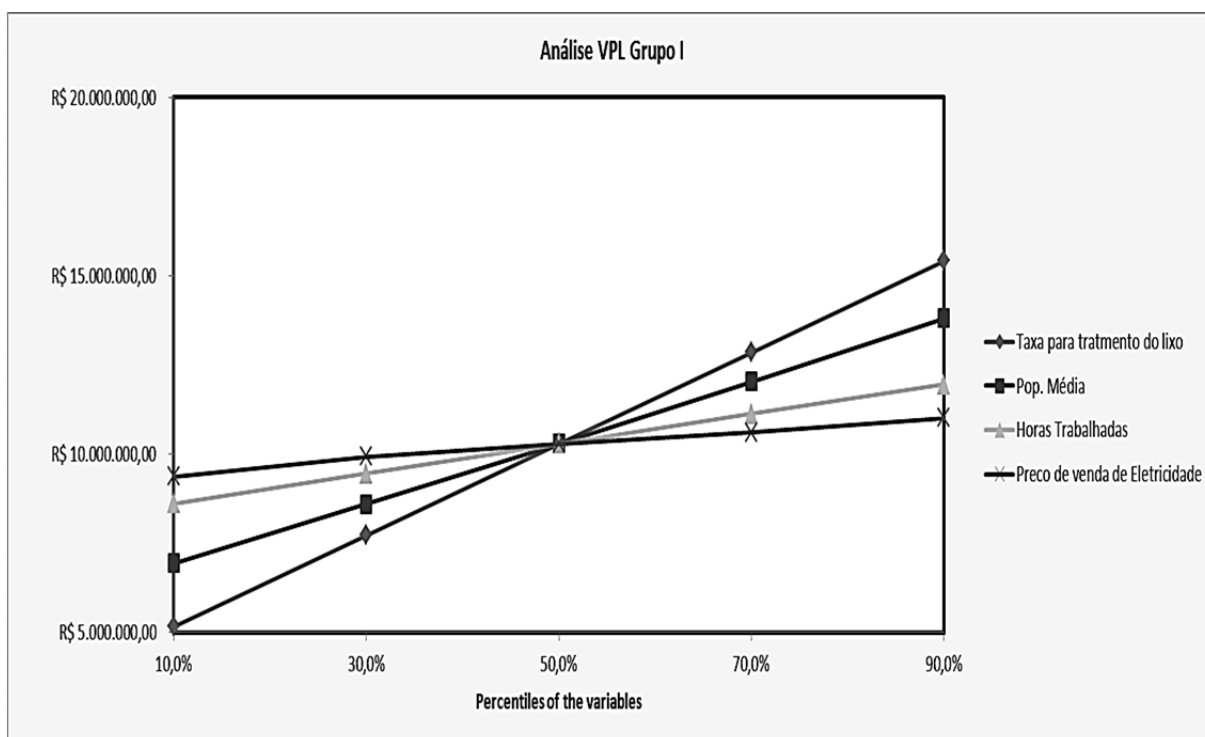
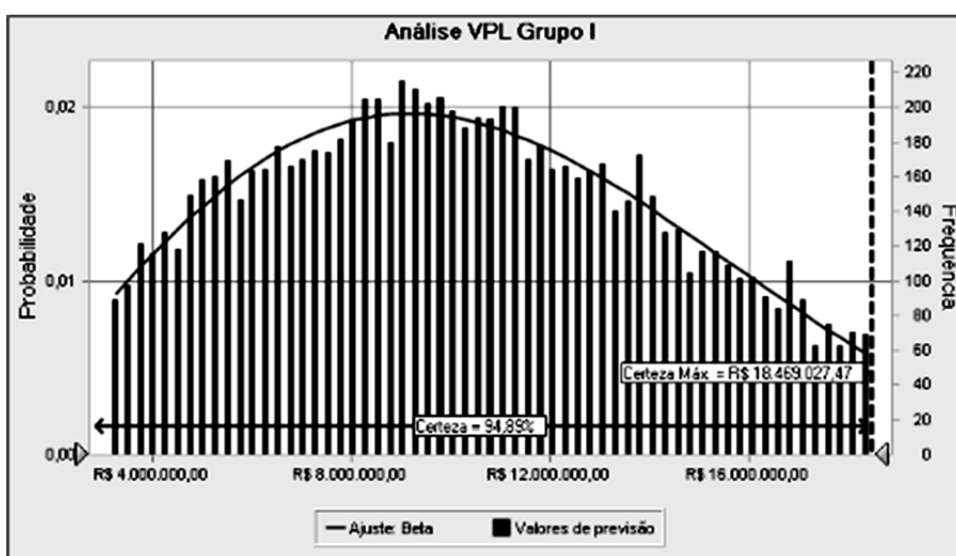
O nível de certeza é 94,89%

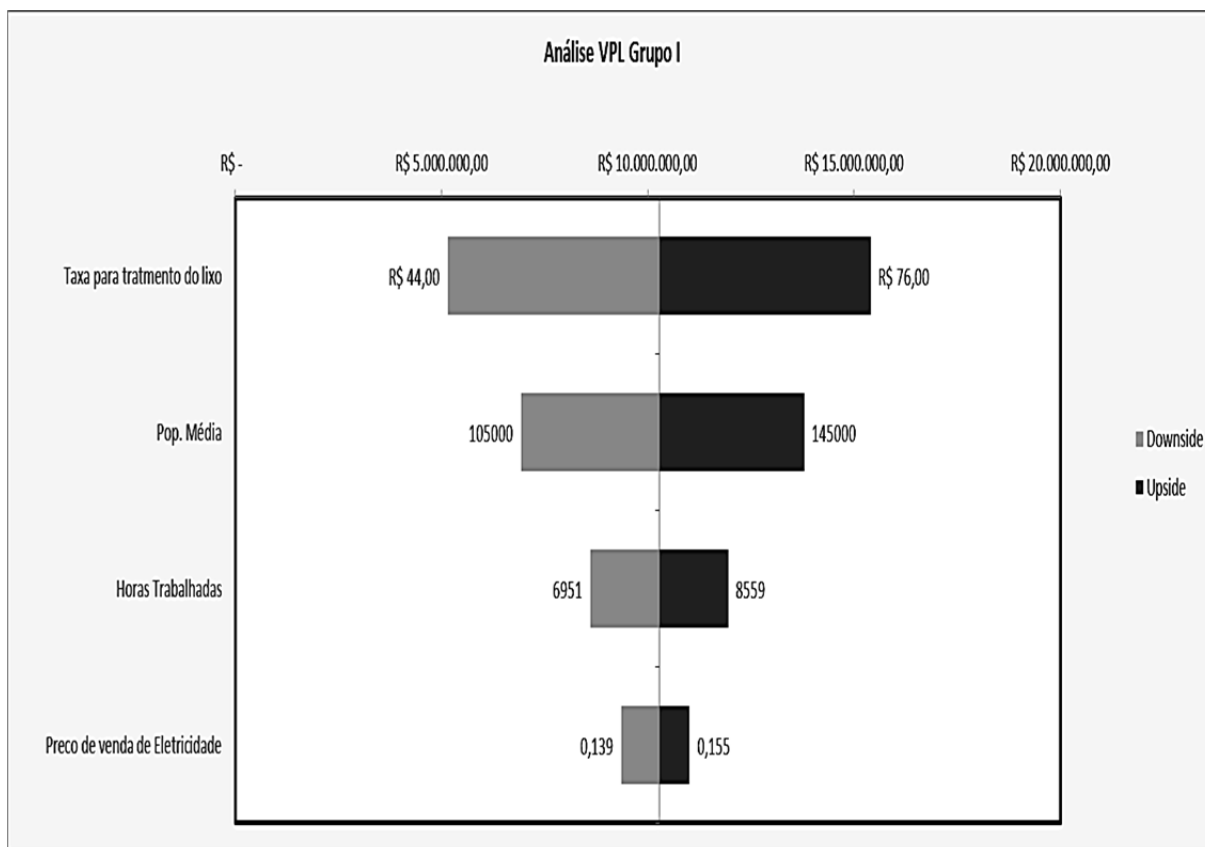
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 18.469.027,47

O intervalo inteiro de R\$ (932.279,09) a R\$ 24.972.060,14

O caso base é R\$ 8.705.050,37

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 46.948,47

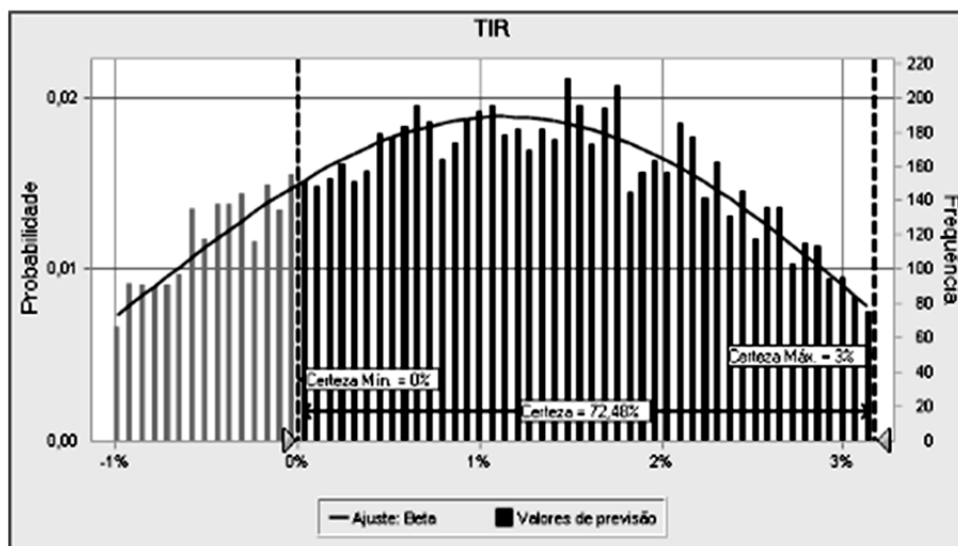


**Previsão: TIR**

Célula: I68

Resumo:

- O nível de certeza é 72,48%
- O intervalo de certeza é de 0% a 3%
- O intervalo inteiro de -3% a 5%
- O caso base é 1%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo J

Planilha: [VPL_GRUPO_J_10,58%_20_anos.xlsx]GJ

Previsão: Análise VPL Grupo J

Célula: I63

Resumo:

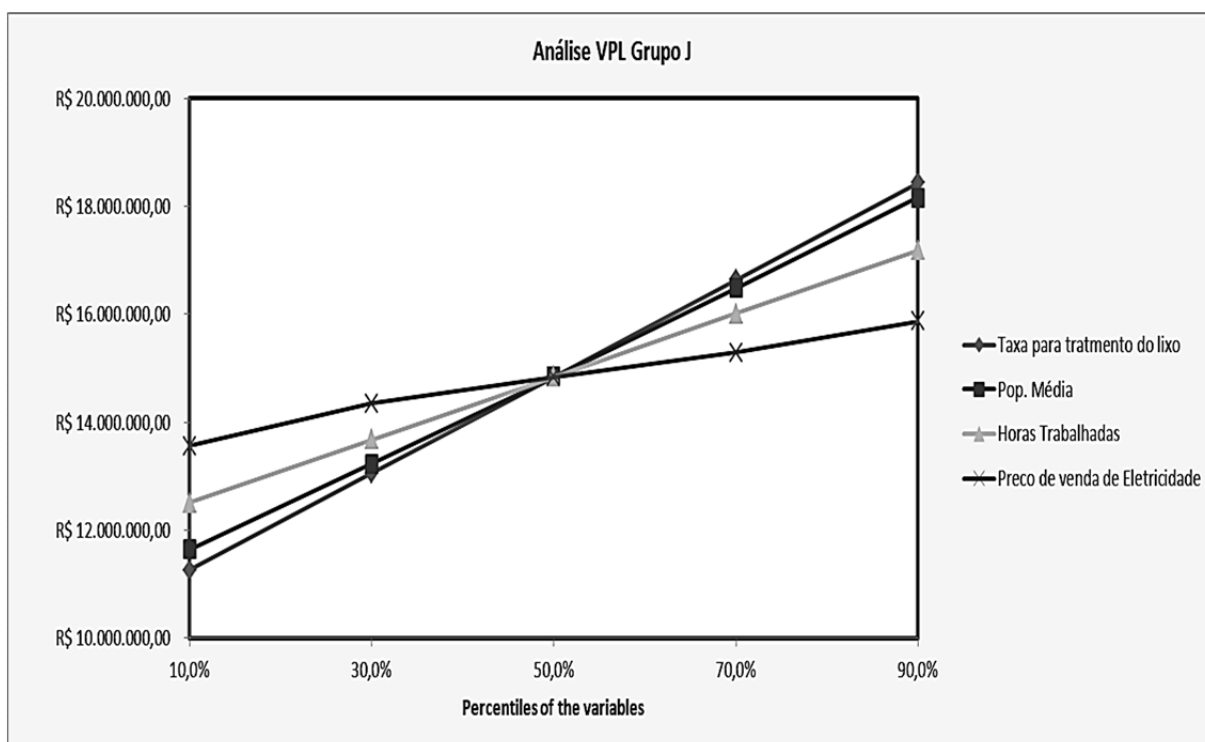
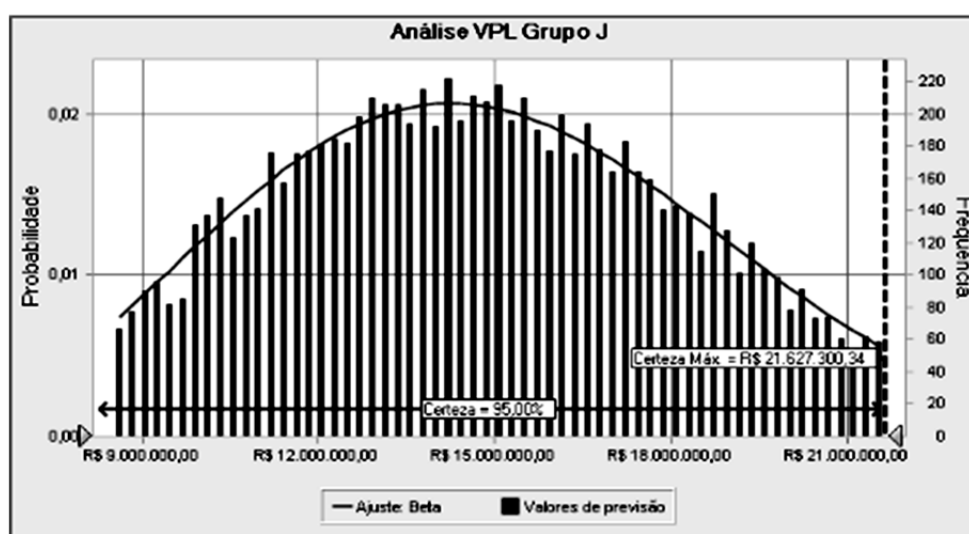
O nível de certeza é 95,00%

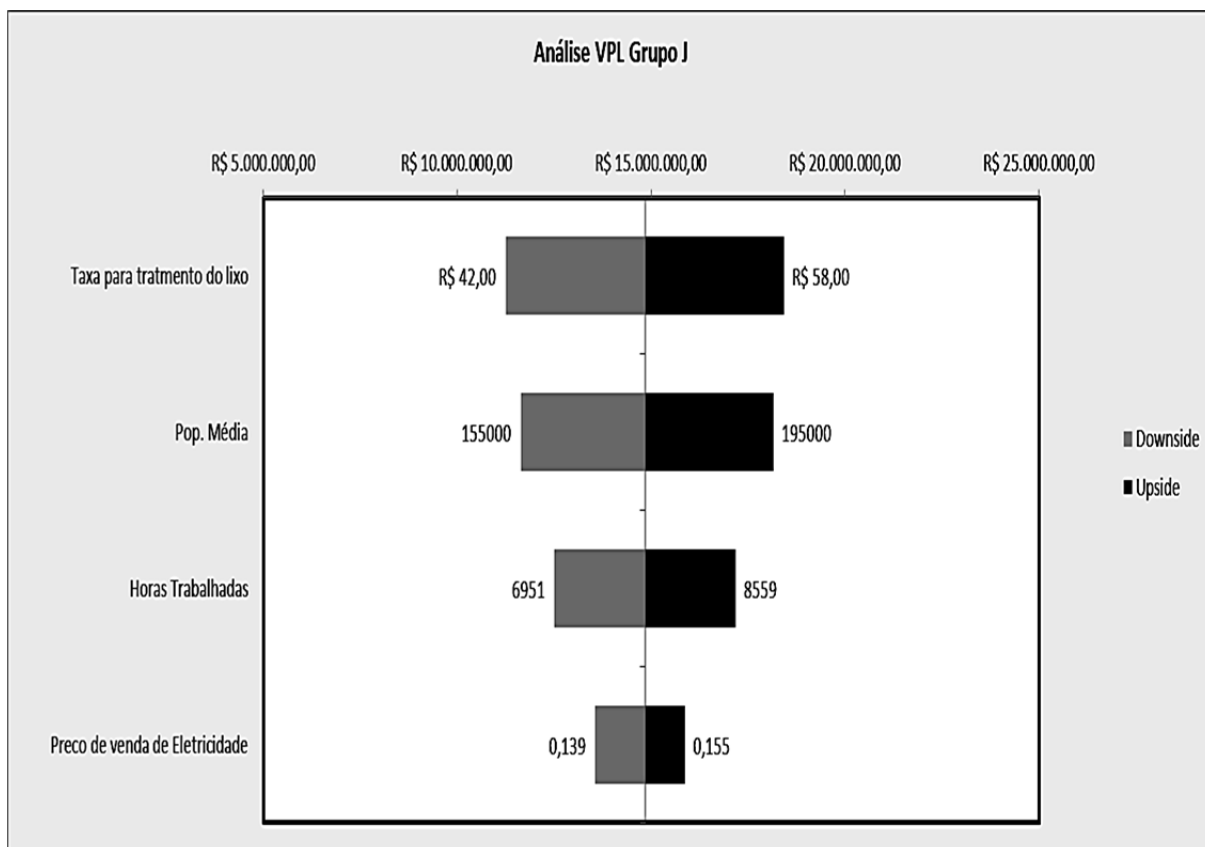
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 21.627.300,34

O intervalo inteiro de R\$ 4.243.283,67 a R\$ 28.047.222,18

O caso base é R\$ 18.545.959,60

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 39.374,31



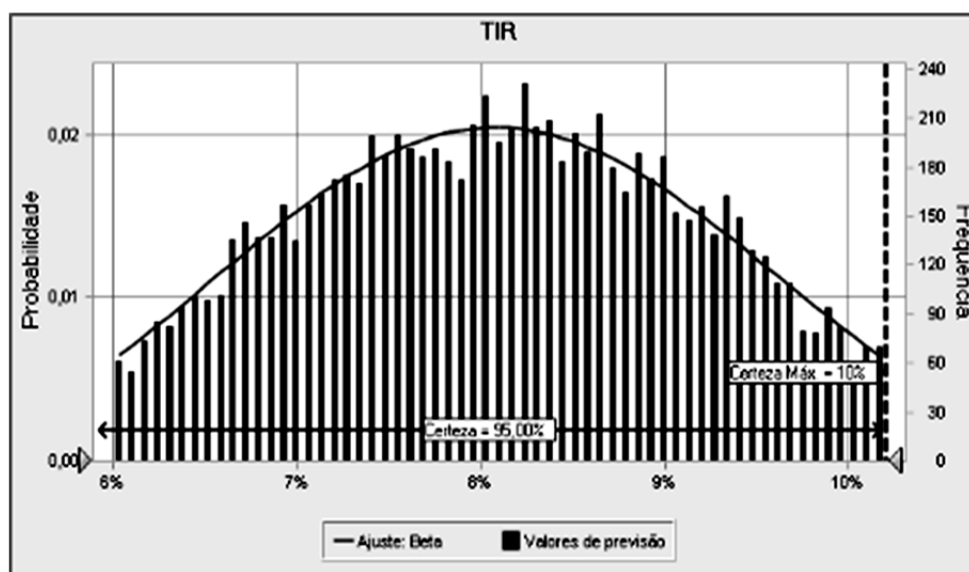


Previsão: TIR

Célula: I68

Resumo:

- O nível de certeza é 95,00%
- O intervalo de certeza é de 0% a 10%
- O intervalo inteiro de 4% a 12%
- O caso base é 9%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo k

Planilha: [VPL_GRUPO_K_10,58%_20_anos.xlsx]GK

Previsão: Análise VPL Grupo K

Célula: I62

Resumo:

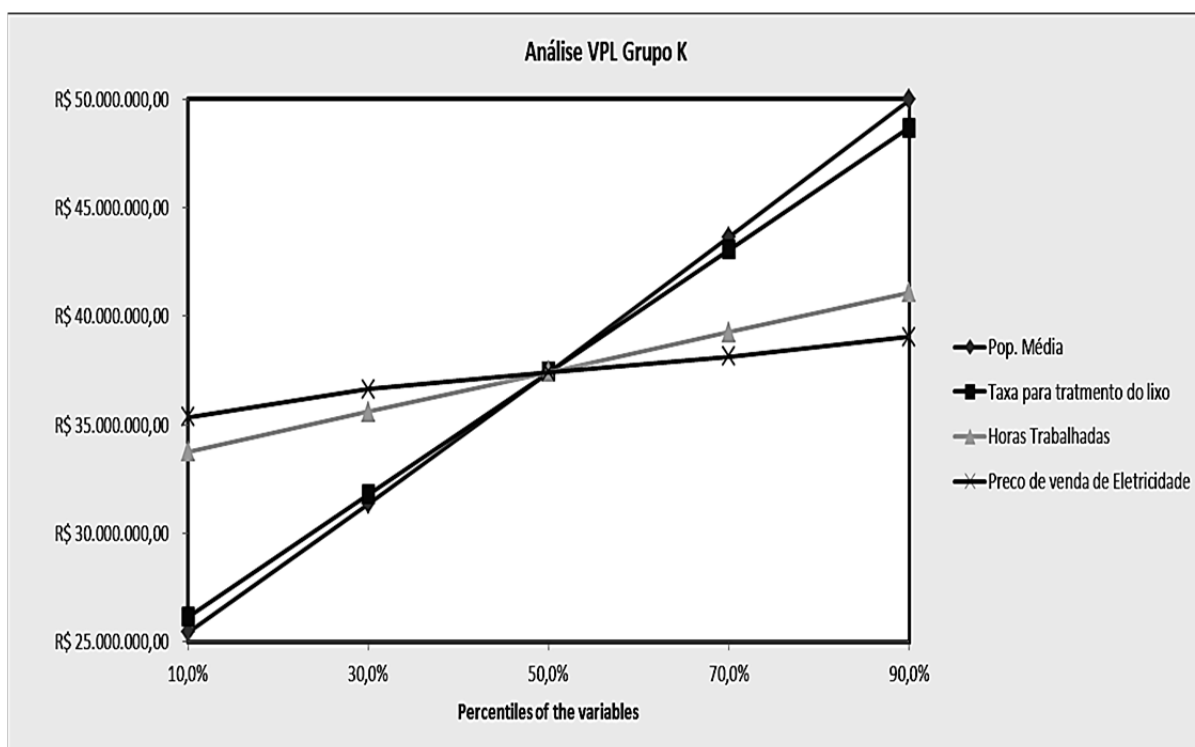
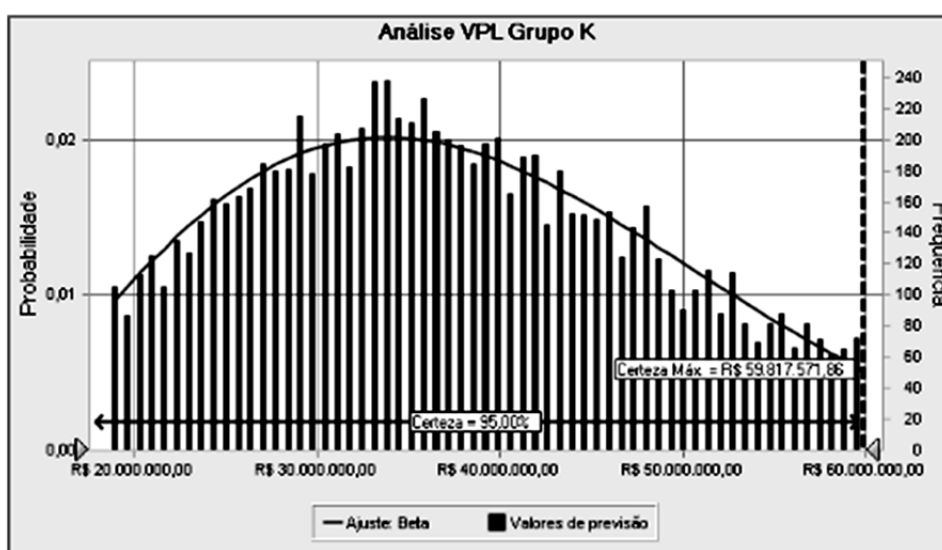
O nível de certeza é 95,00%

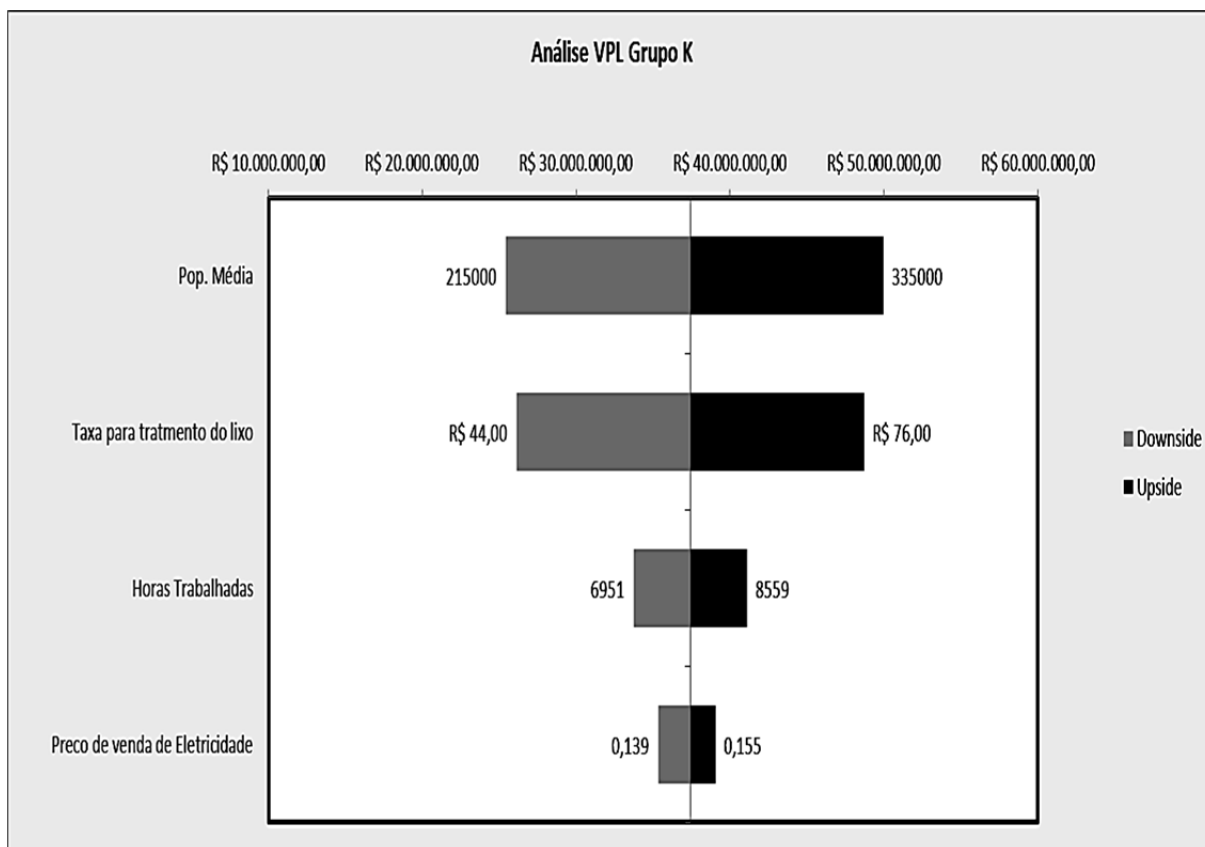
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 59.817.571,86

O intervalo inteiro de R\$ 9.094.496,43 a R\$ 77.064.519,80

O caso base é R\$ 33.661.850,51

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 124.273,24



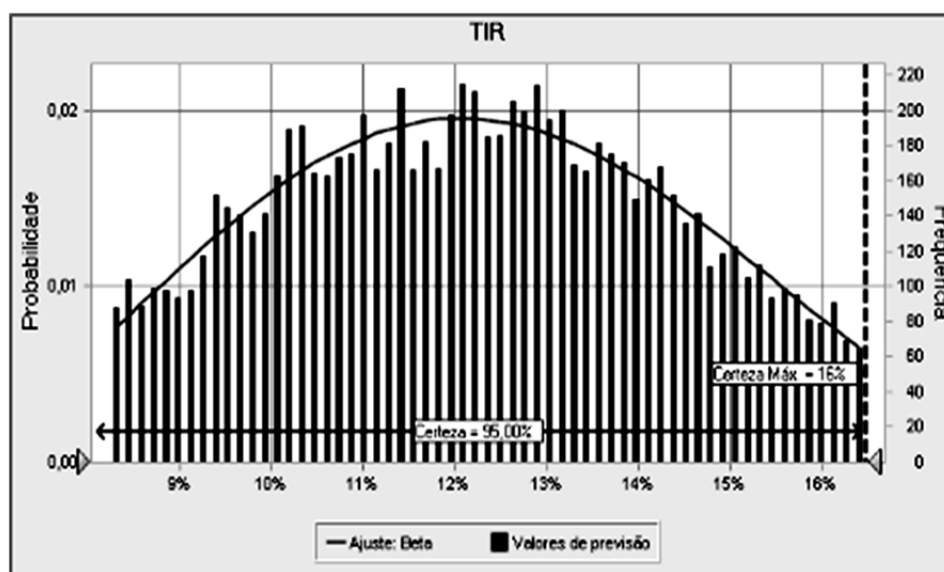


Previsão: TIR

Célula: I67

Resumo:

- O nível de certeza é 95,00%
- O intervalo de certeza é de 0% a 16%
- O intervalo inteiro de 6% a 20%
- O caso base é 12%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo L

Planilha: [VPL_GRUPO_L_10,58%_20_anos% .xlsx]GL

Previsão: Análise VPL Grupo L

Célula: I63

Resumo:

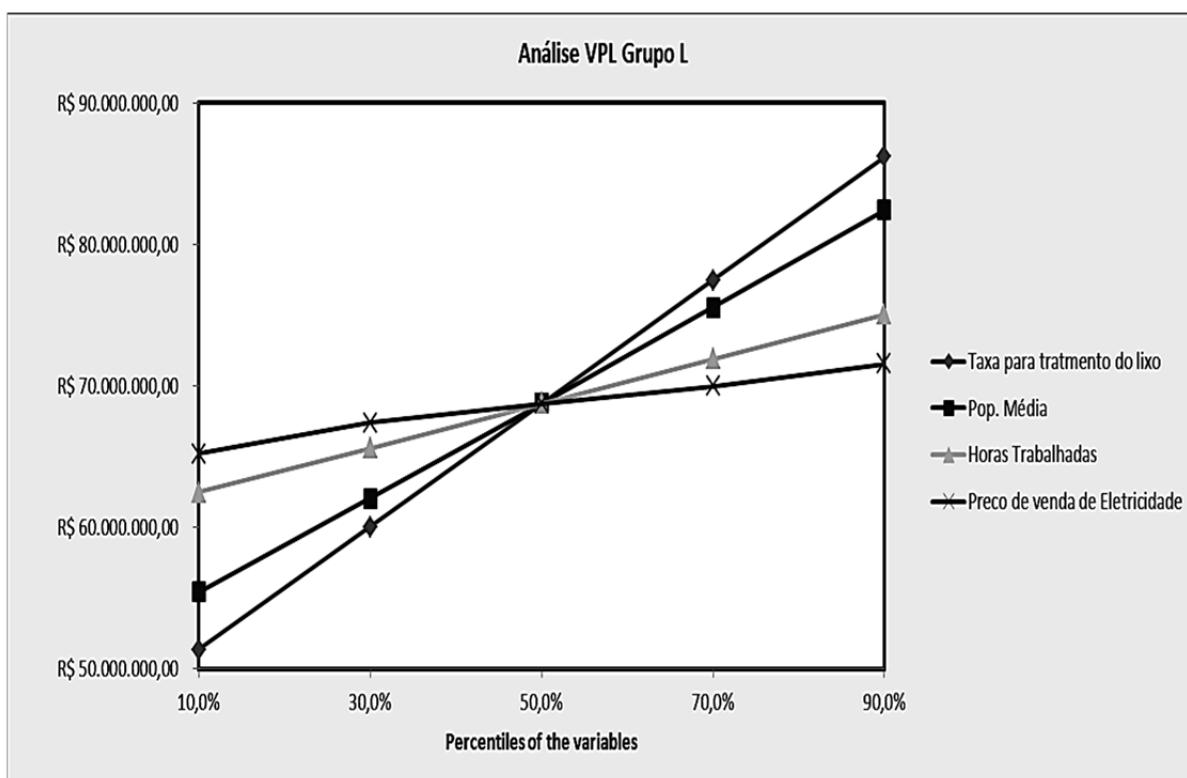
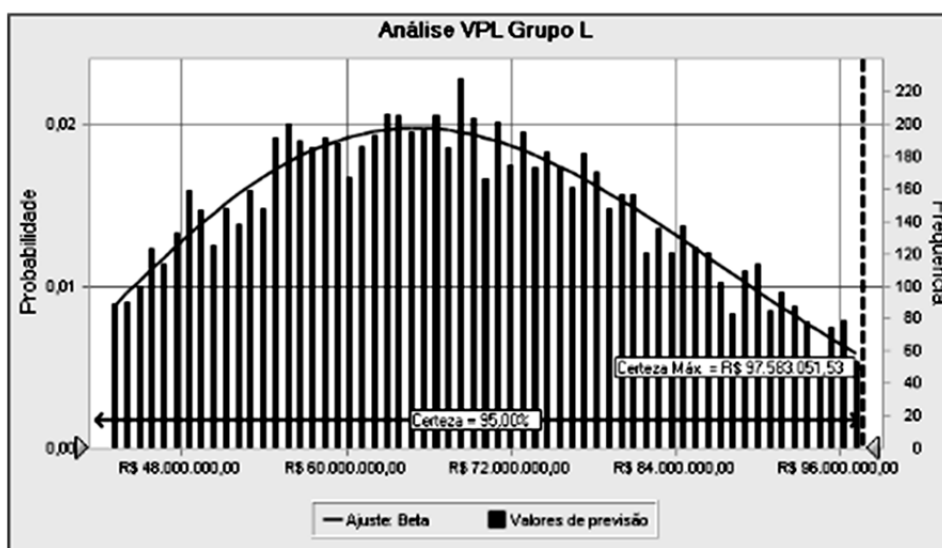
O nível de certeza é 95,00%

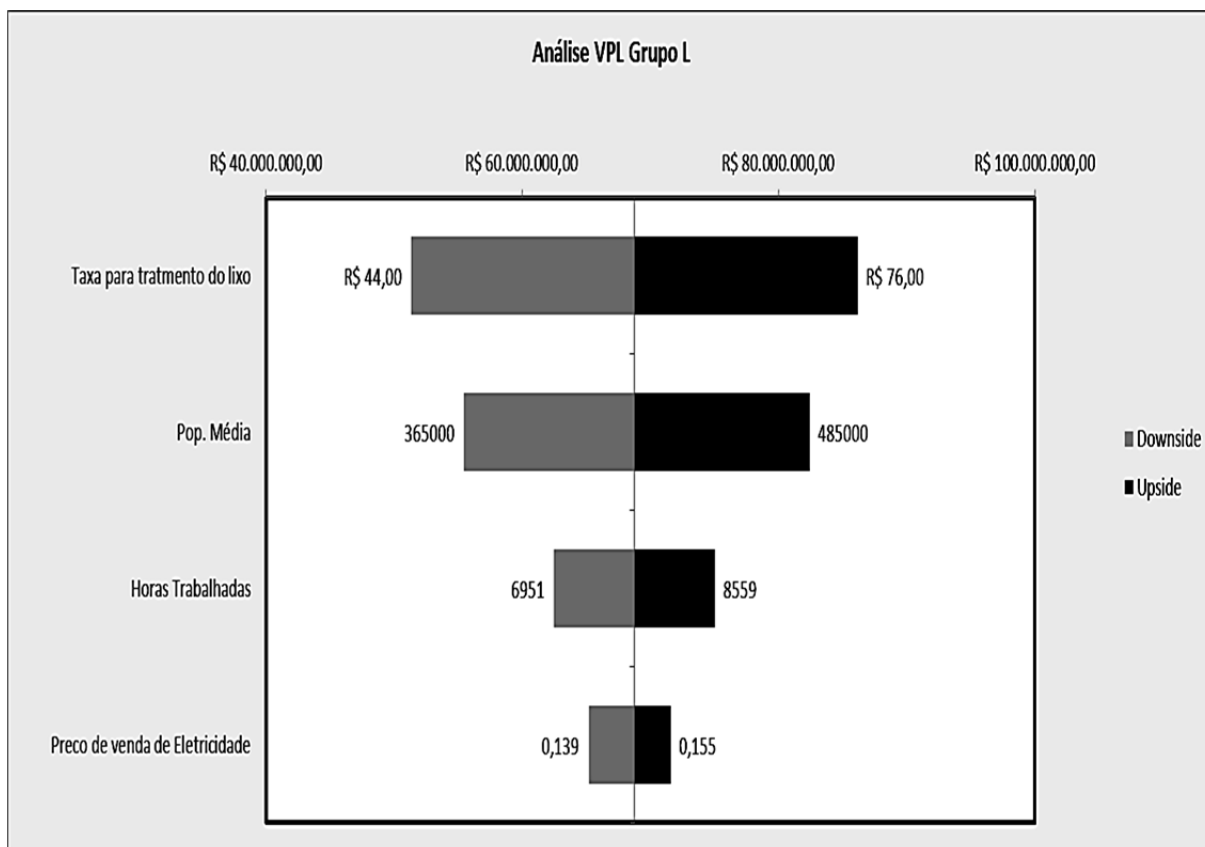
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 97.583.051,53

O intervalo inteiro de R\$ 28.494.323,13 a R\$ 122.165.080,74

O caso base é R\$ 64.639.041,86

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 167.498,18



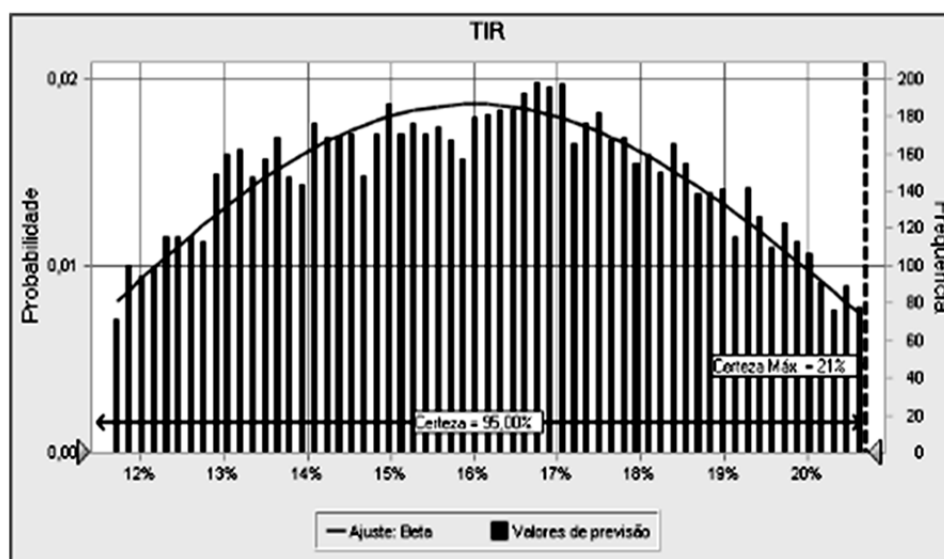


Previsão: TIR

Célula: I68

Resumo:

- O nível de certeza é 95,00%
- O intervalo de certeza é de 0% a 21%
- O intervalo inteiro de 9% a 24%
- O caso base é 16%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo M

Planilha: [VPL_GRUPO_M_10,58%_20_a nos.xlsx]Gm

Previsão: Análise VPL Grupo M

Célula: I63

Resumo:

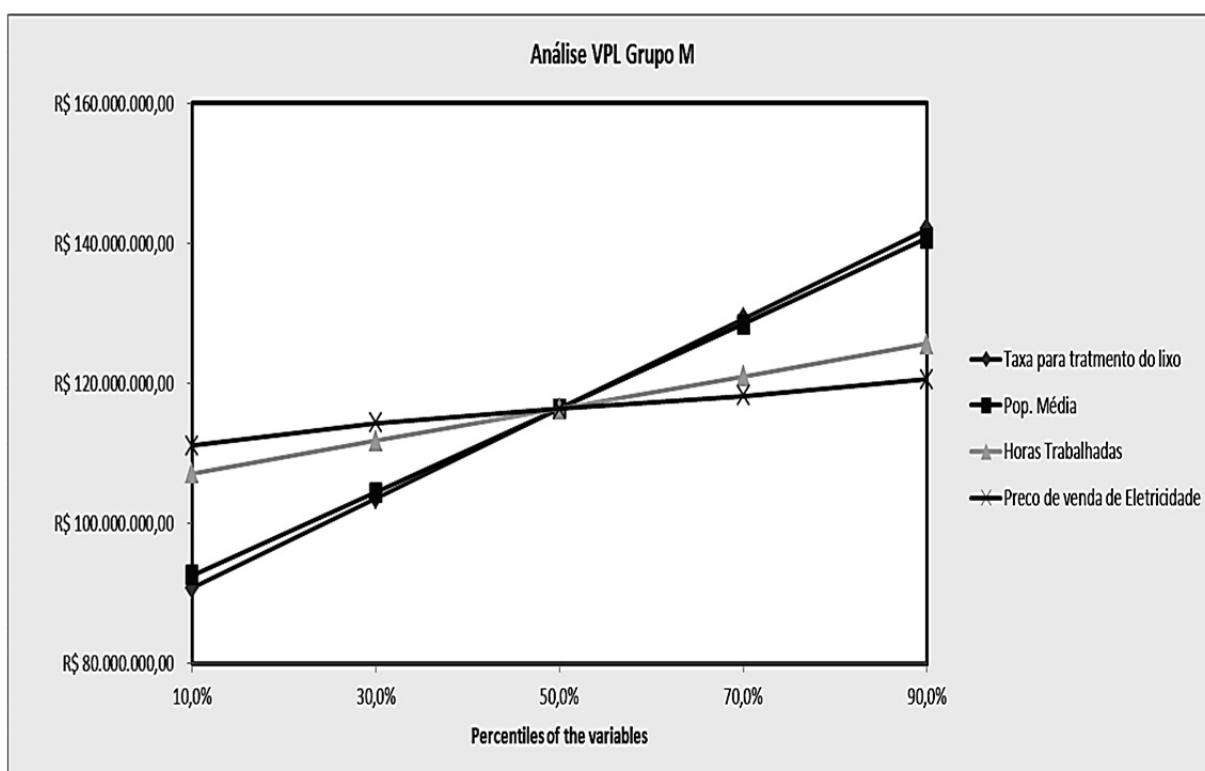
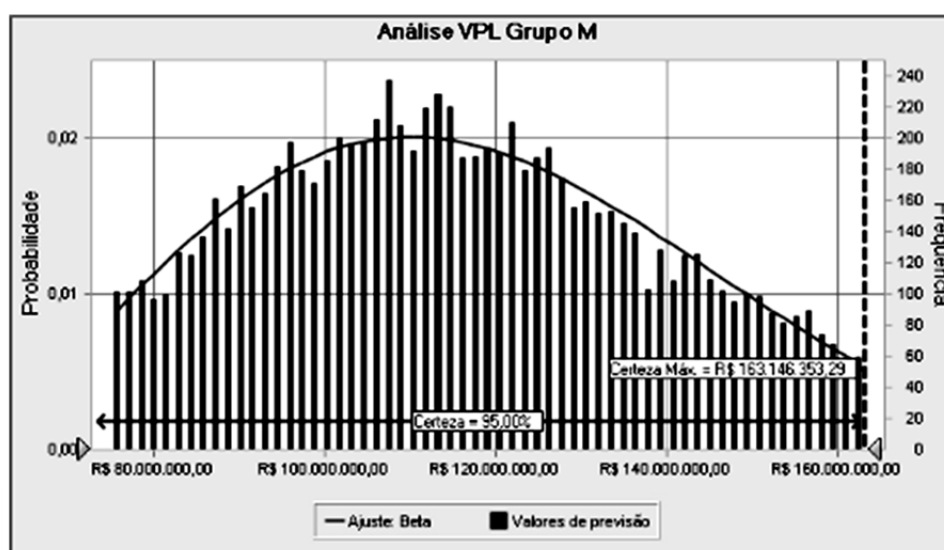
O nível de certeza é 95,00%

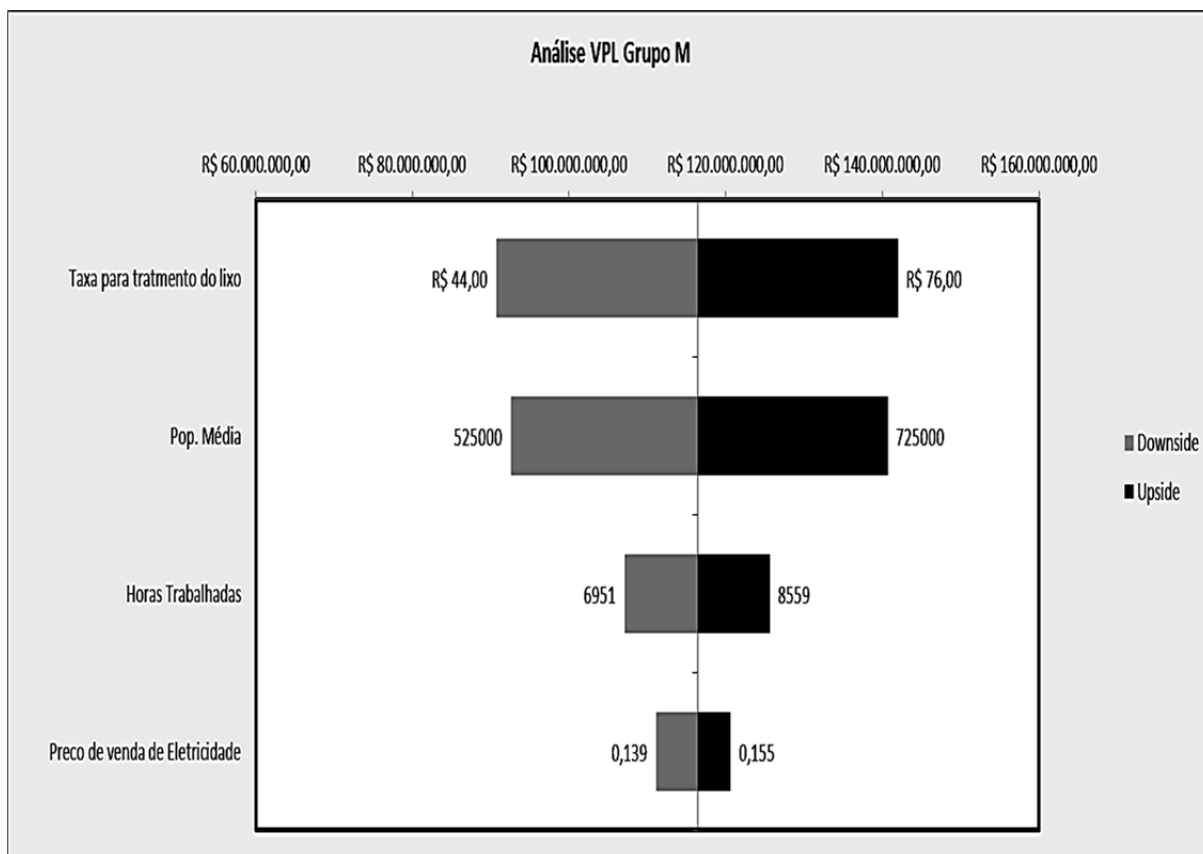
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 163.146.353,29

O intervalo inteiro de R\$ 48.383.854,49 a R\$ 196.099.971,48

O caso base é R\$ 108.030.064,32

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 265.765,46



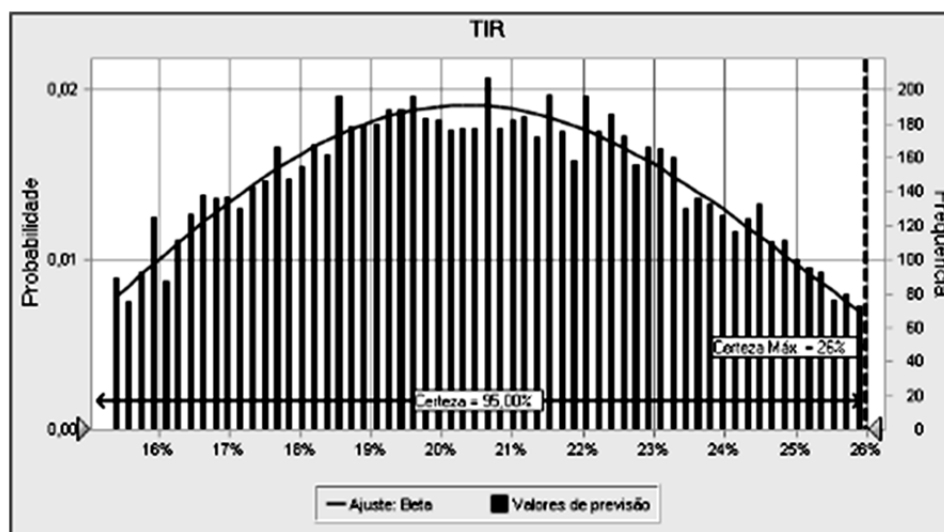


Previsão: TIR

Célula: I68

Resumo:

- O nível de certeza é 95,00%
- O intervalo de certeza é de 0% a 26%
- O intervalo inteiro de 11% a 30%
- O caso base é 20%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo N

Planilha: [VPL_GRUPO_N_10,58%_20_a nos.xlsx]GN

Previsão: Análise VPL Grupo N

Célula: I62

Resumo:

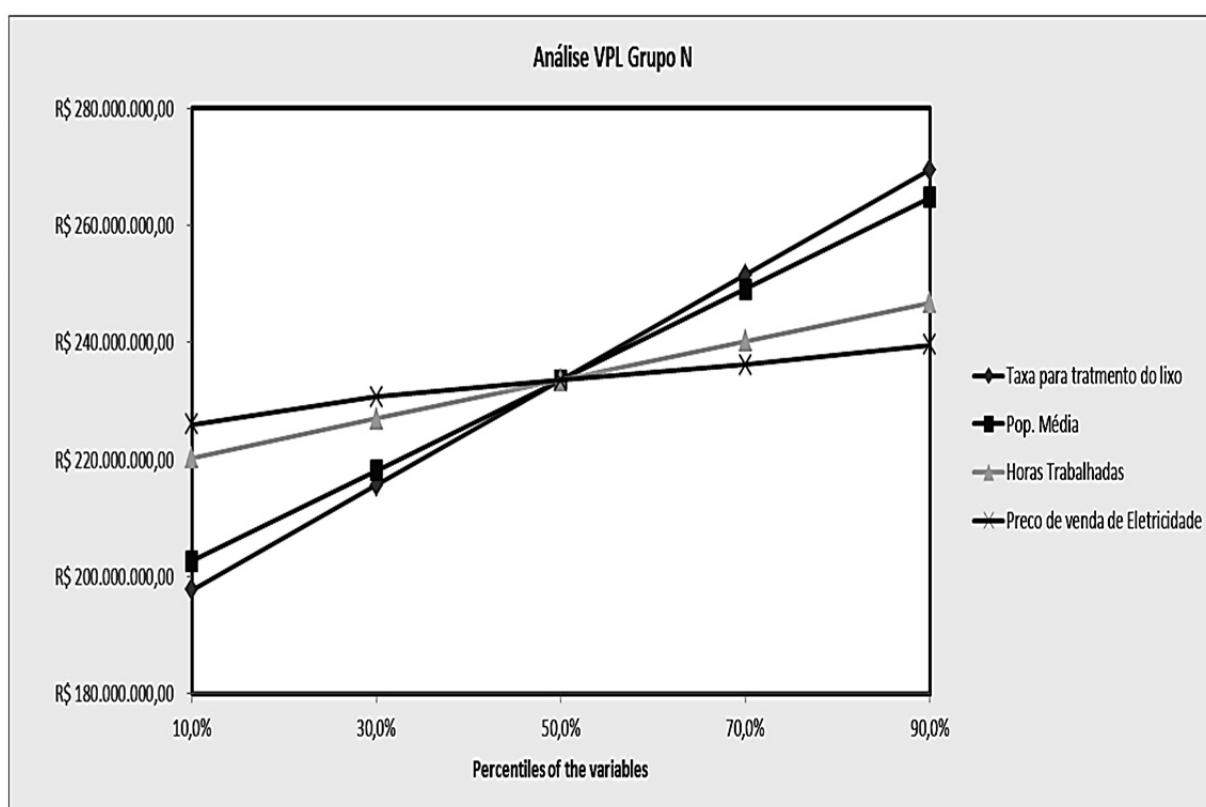
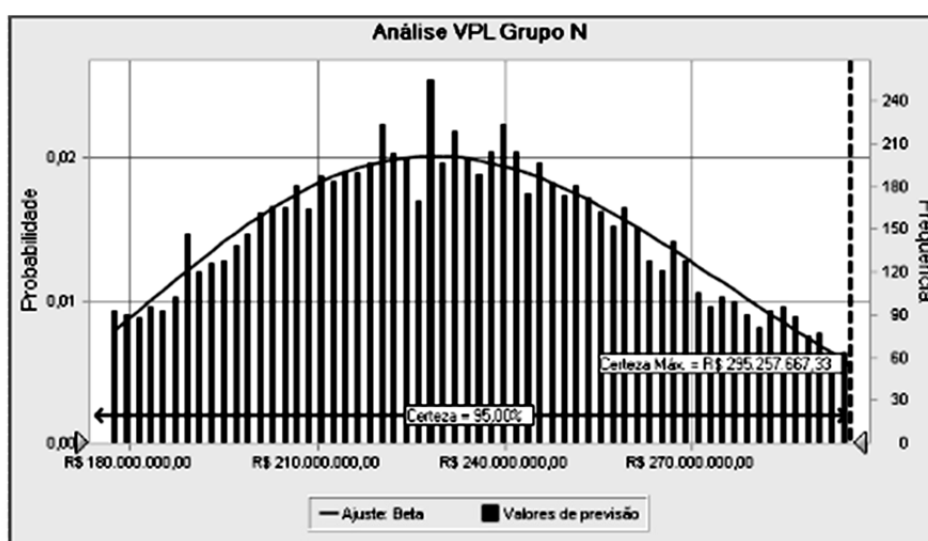
O nível de certeza é 95,00%

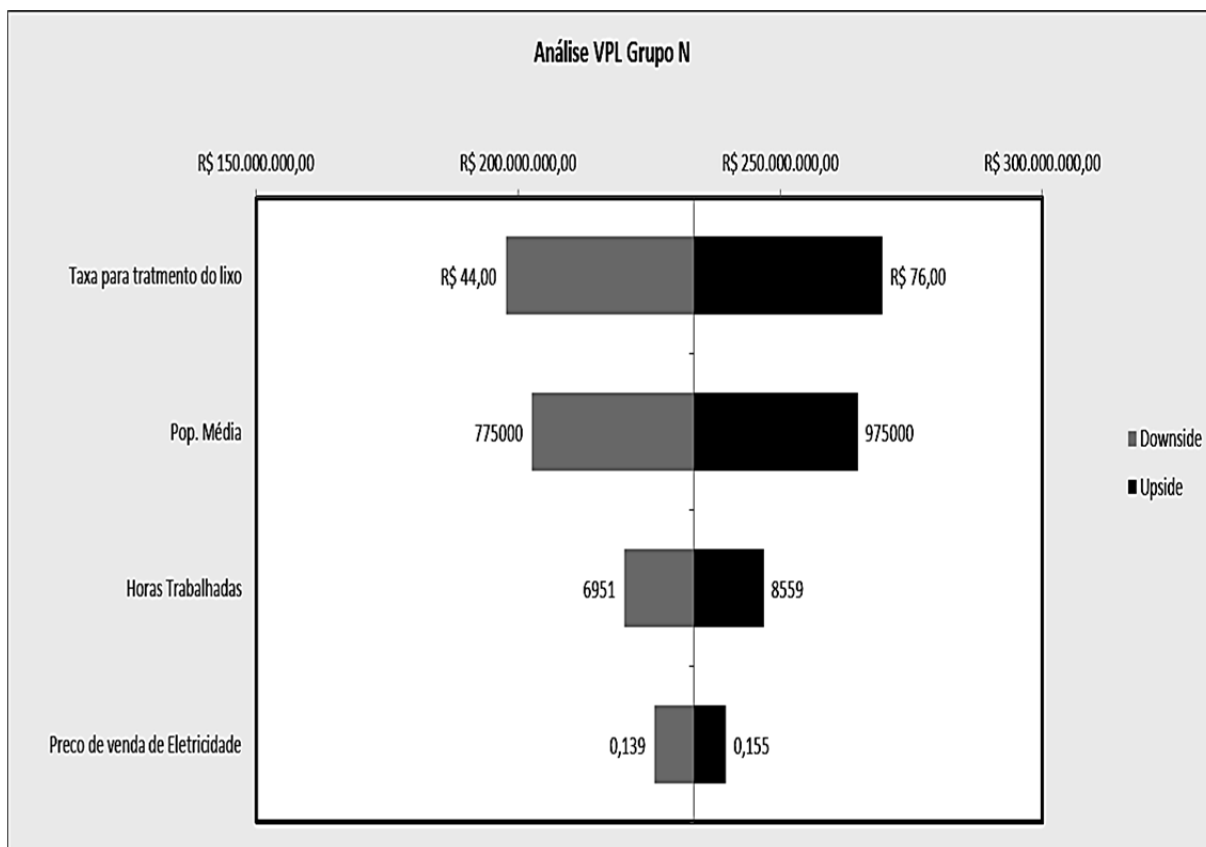
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 295.257.667,33

O intervalo inteiro de R\$ 138.603.480,21 a R\$ 342.154.273,07

O caso base é R\$ 221.577.169,22

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 356.201,09

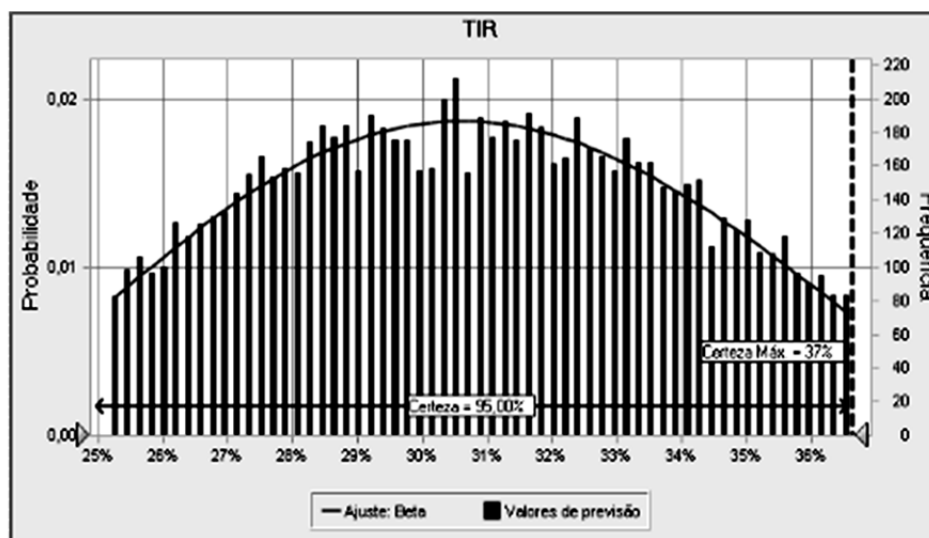


**Previsão: TIR**

Célula: I67

Resumo:

- O nível de certeza é 95,00%
- O intervalo de certeza é de 0% a 37%
- O intervalo inteiro de 21% a 41%
- O caso base é 30%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo O

Planilha: [VPL_GRUPO_O_10,58%_20_a_nos.xlsx]GO

Previsão: Análise VPL Grupo O

Célula: I62

Resumo:

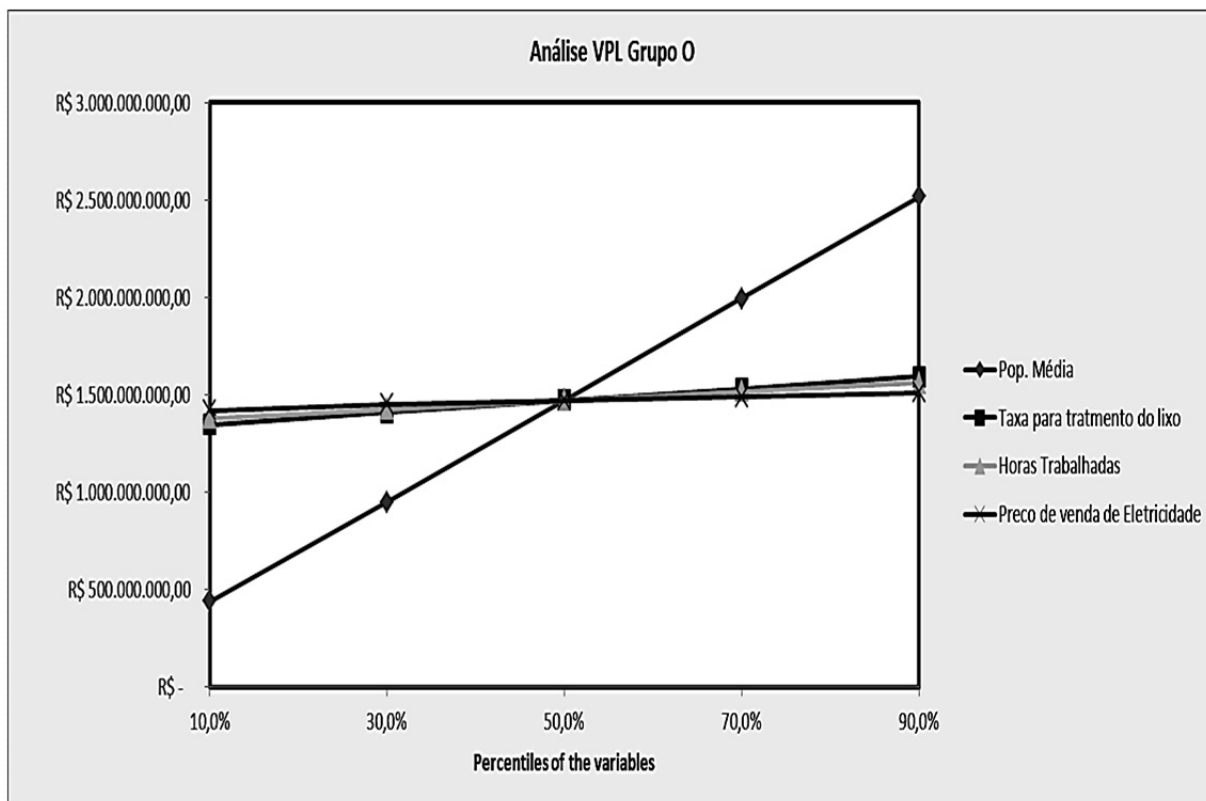
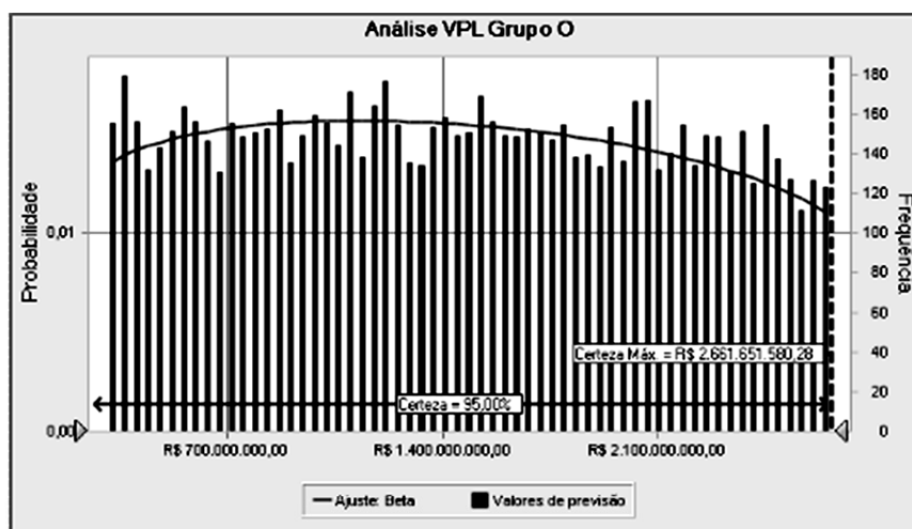
O nível de certeza é 95,00%

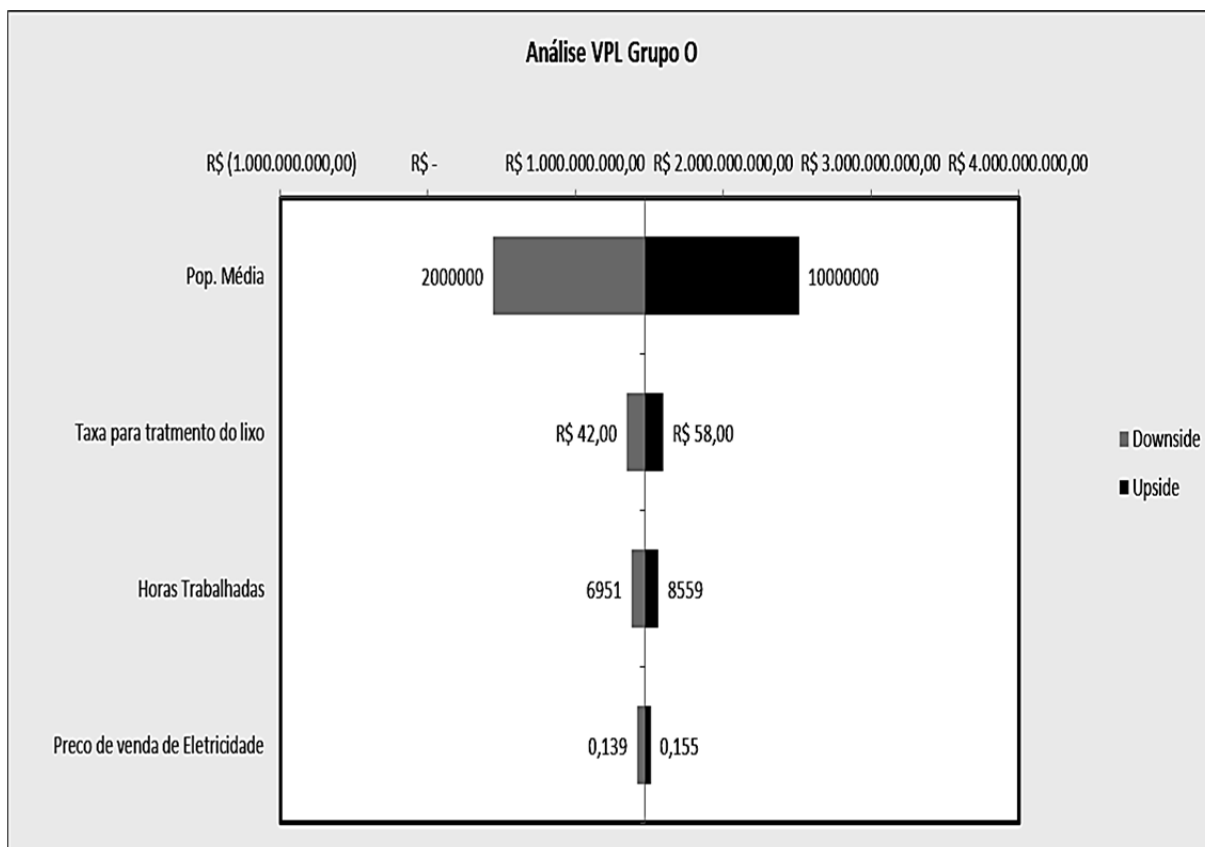
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 2.661.651.580,28

O intervalo inteiro de R\$ 156.497.946,43 a R\$ 3.363.500.149,28

O caso base é R\$ 671.840.531,51

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 7.555.683,34



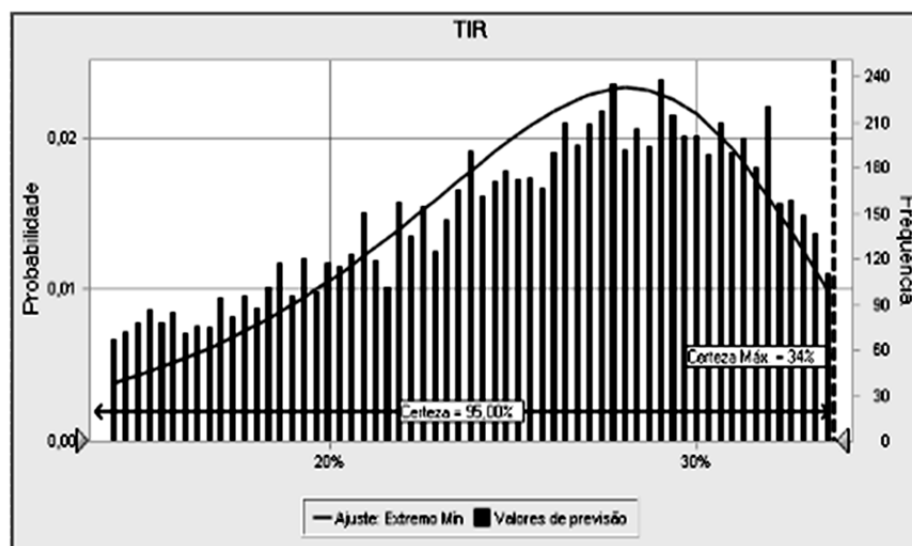


Previsão: TIR

Célula: 167

Resumo:

- nível de certeza é 95,00%
- intervalo de certeza é de 0% a 34%
- intervalo inteiro de 9% a 39%
- caso base é 20%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



APÊNDICE B – Análise da VPL e TIR para o cenário 2 para todos os grupos populacionais avaliados

Análise do Grupo A

Previsões

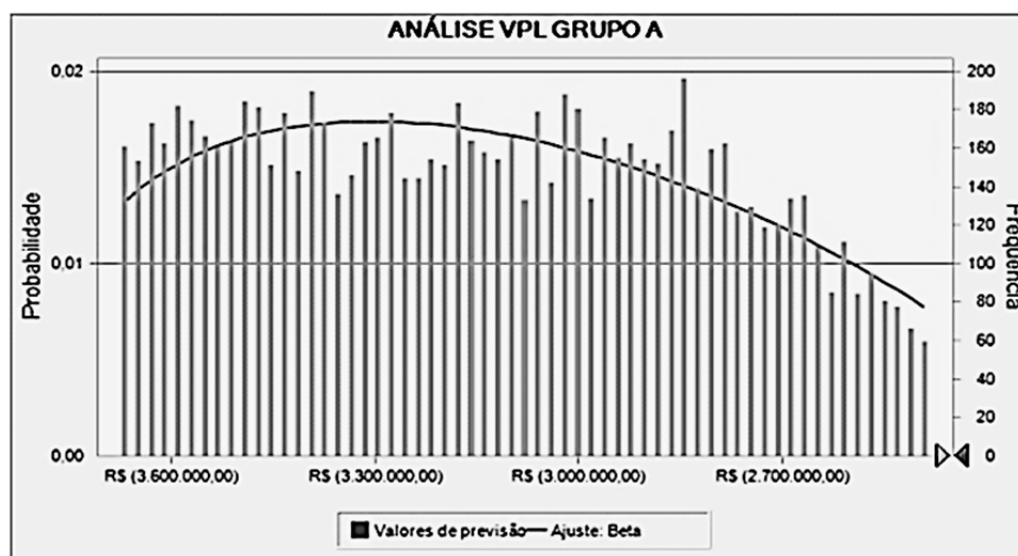
Planilha: [VPL_lixo_GRUPO_A_7,5%_20_anos.xlsx]GA

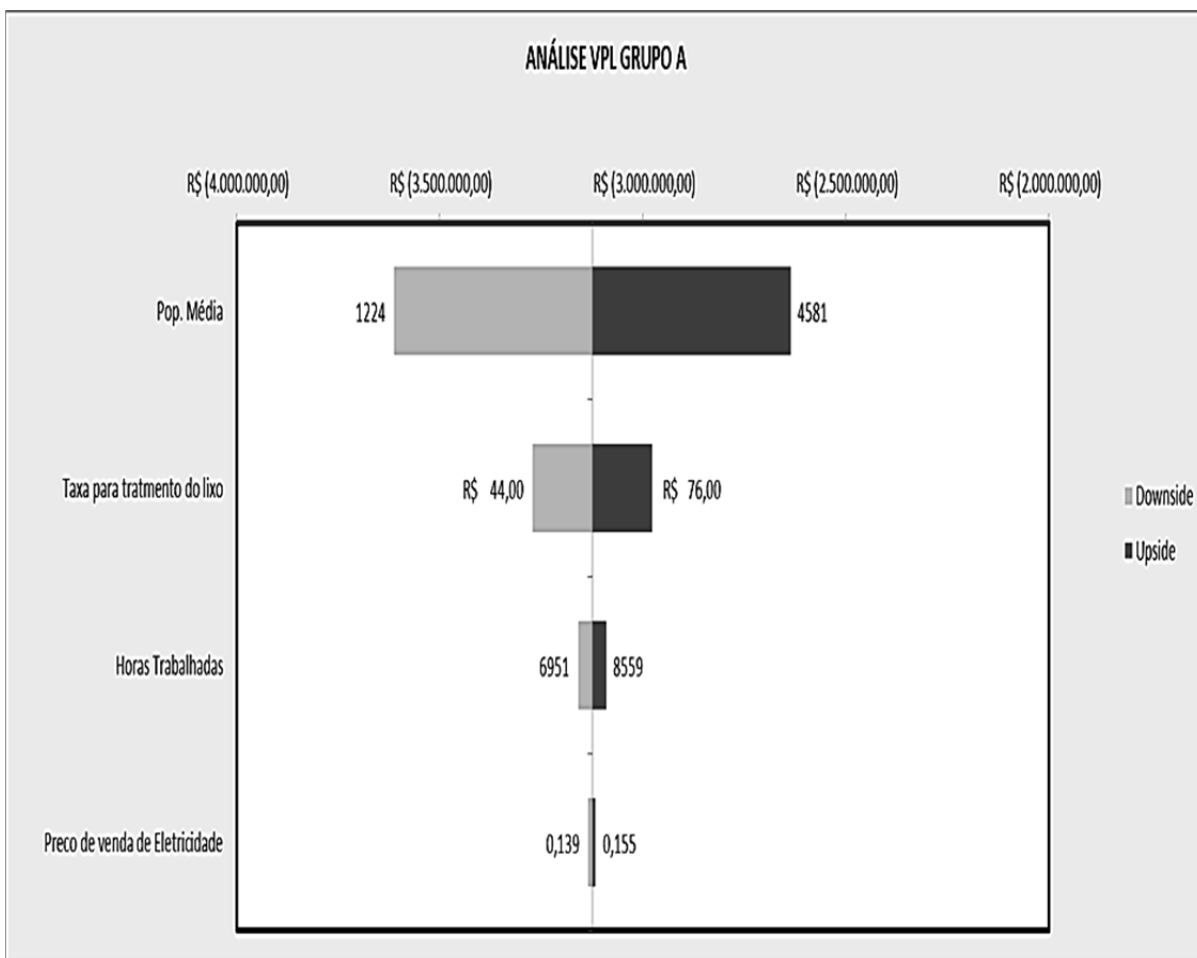
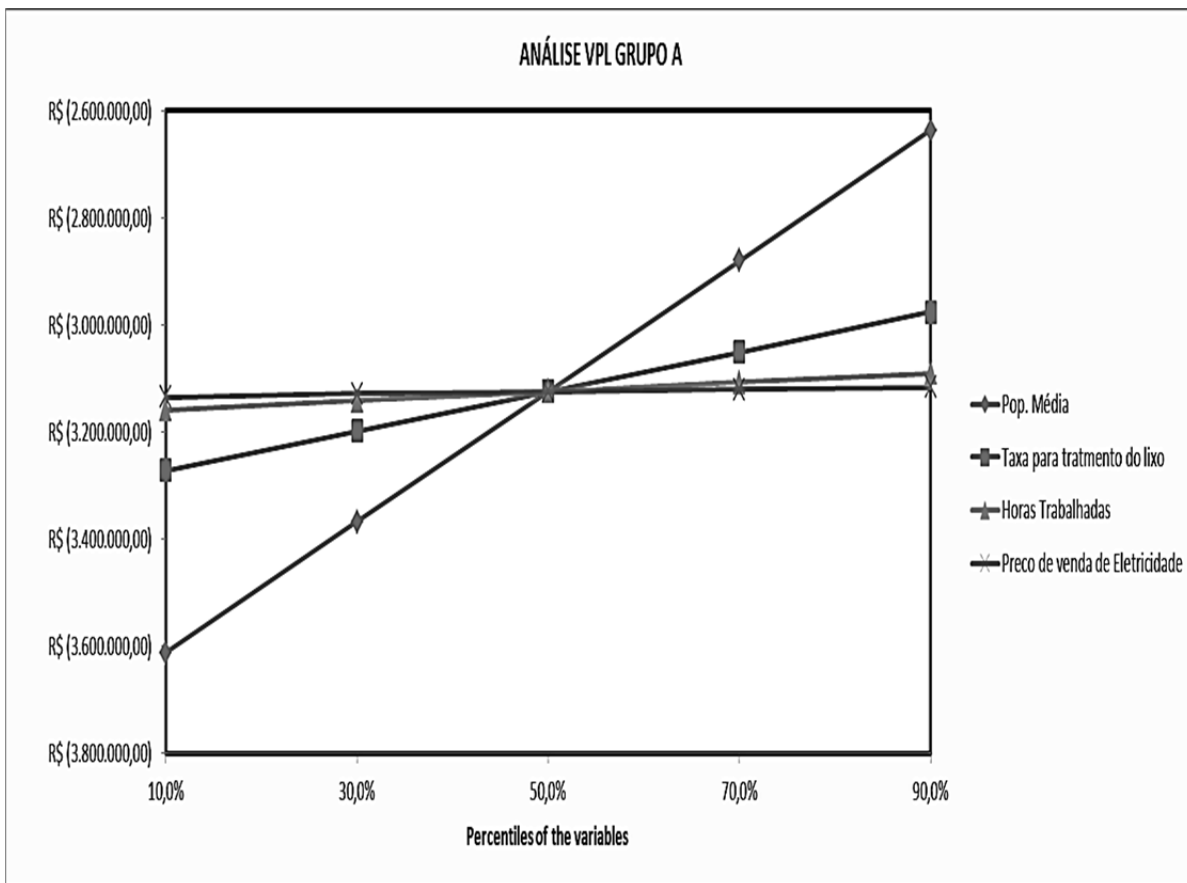
Previsão: ANÁLISE VPL GRUPO A

Célula: I

Resumo:

- O nível de certeza é 0,00%
- O intervalo de certeza é de +Infinito a +Infinito
- O intervalo inteiro de R\$ (3.793.016,70) a R\$ (2.138.531,74)
- O caso base é R\$ (3.000.187,04)
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 3.755,21





Análise do Grupo B

Planilha: [VPL_GRUPO_B_7,5%_20_Anos.xlsx]GB

Previsão: Análise VPL Grupo B

Célula: I

Resumo:

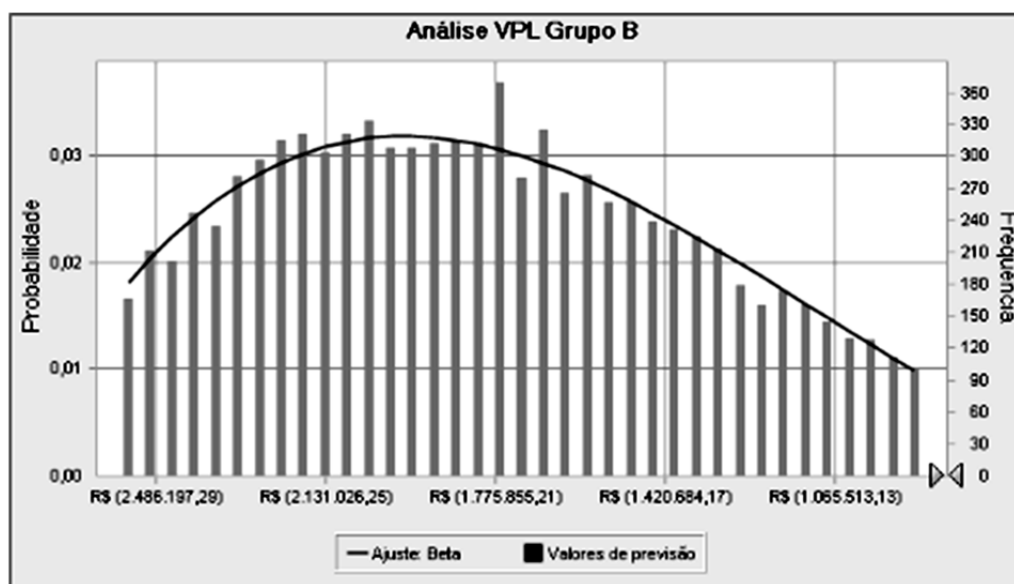
O nível de certeza é 0,00%

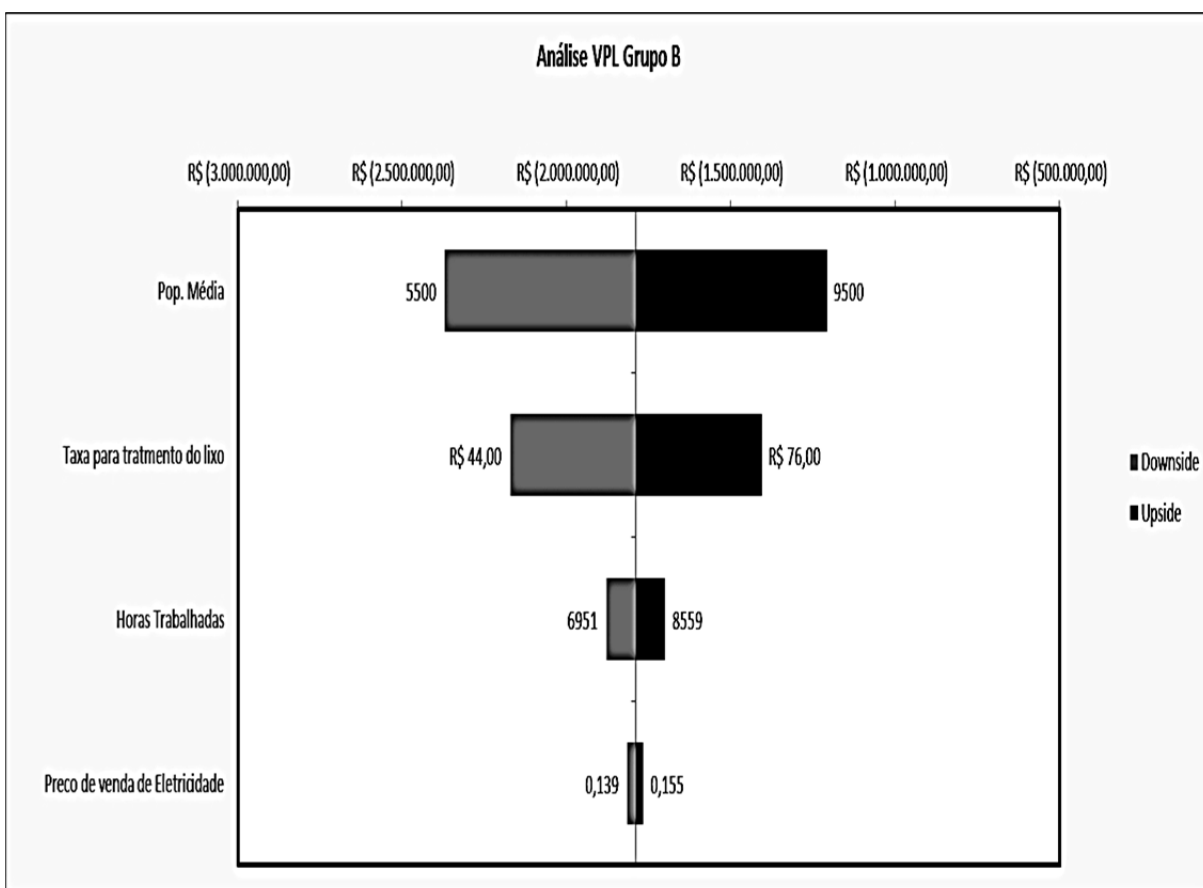
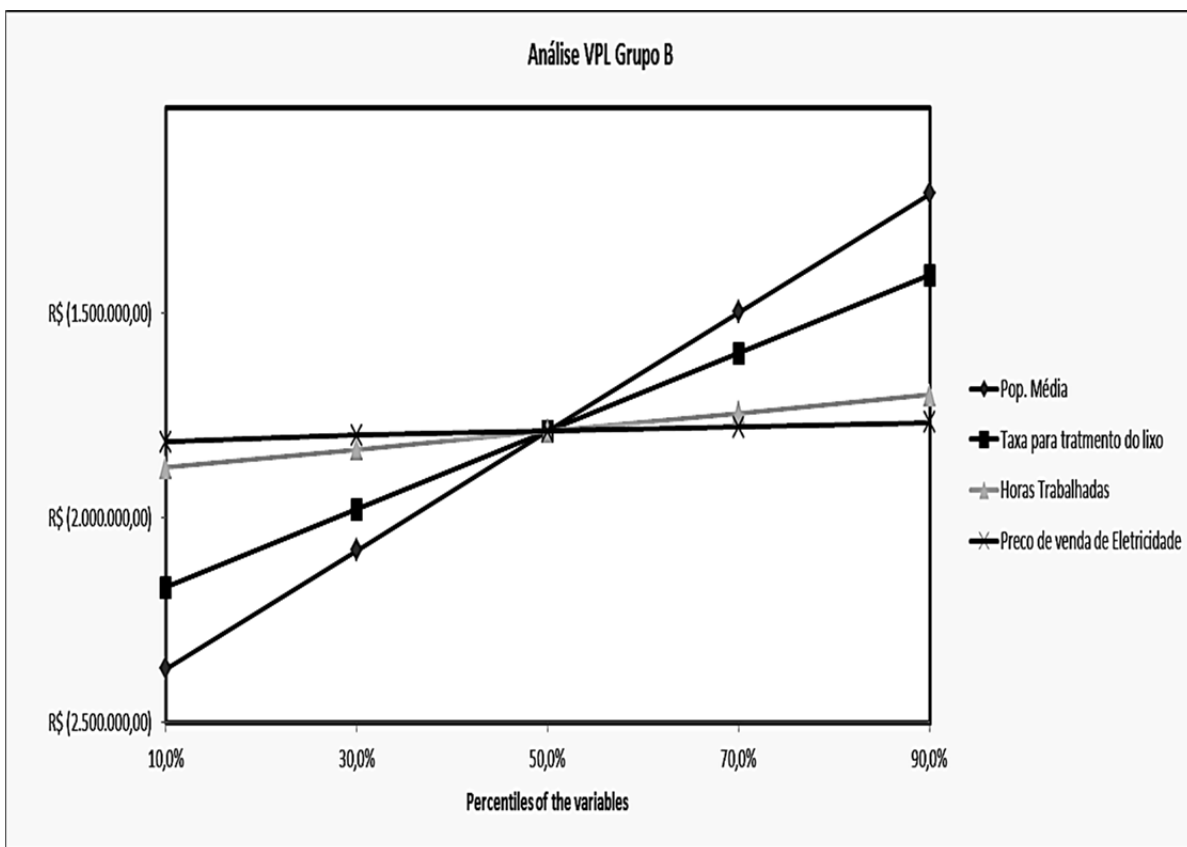
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 520.056,01

O intervalo inteiro de R\$ (2.866.879,81) a R\$ (387.889,72)

O caso base é R\$ (1.941.113,98)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 5.123,06





Análise do Grupo C

Planilha: [VPL_GRUPO_C_7,5%_20_Anos.xlsx]GC

Previsão: Análise VPL Grupo C

Célula: I

Resumo:

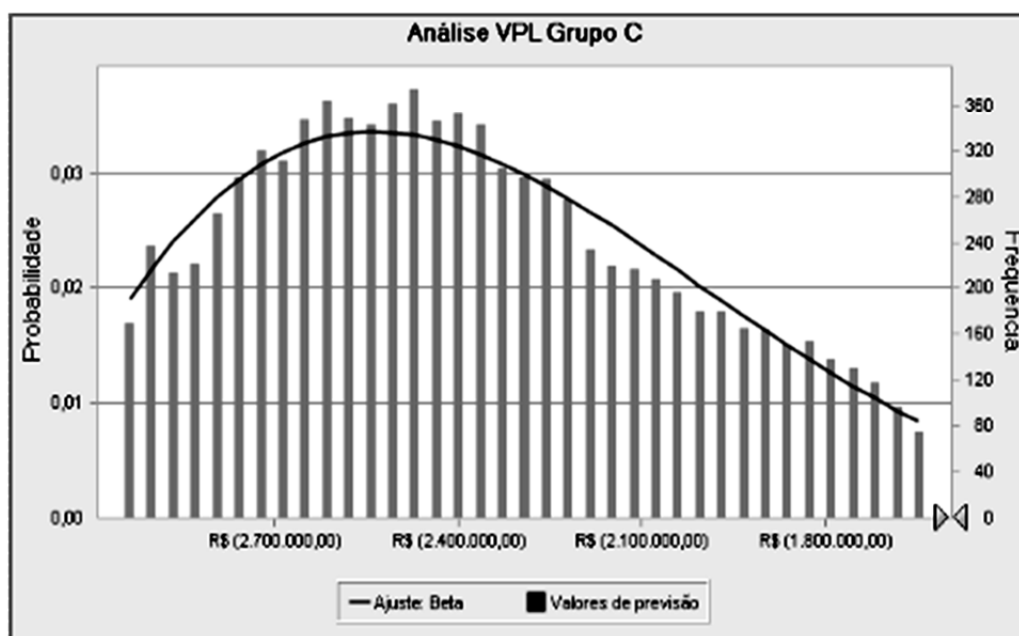
O nível de certeza é 0,00%

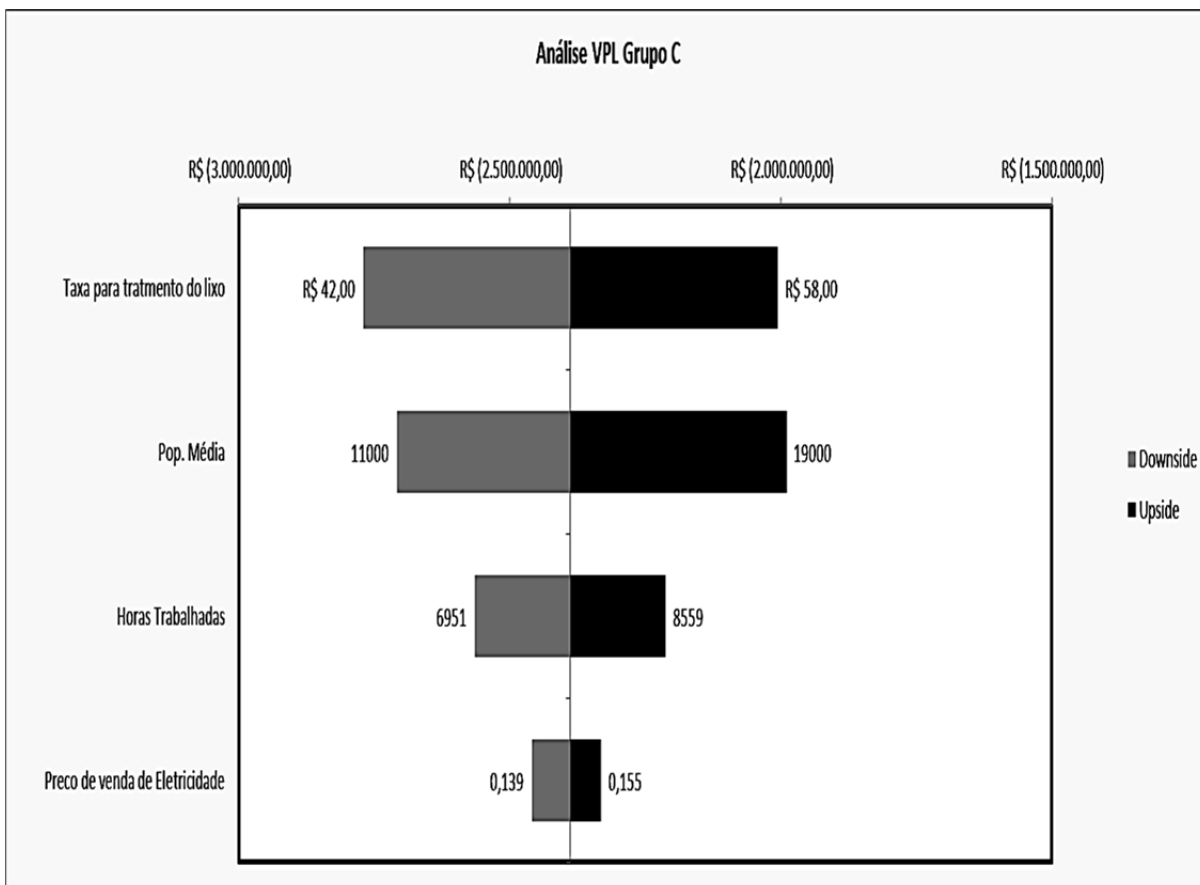
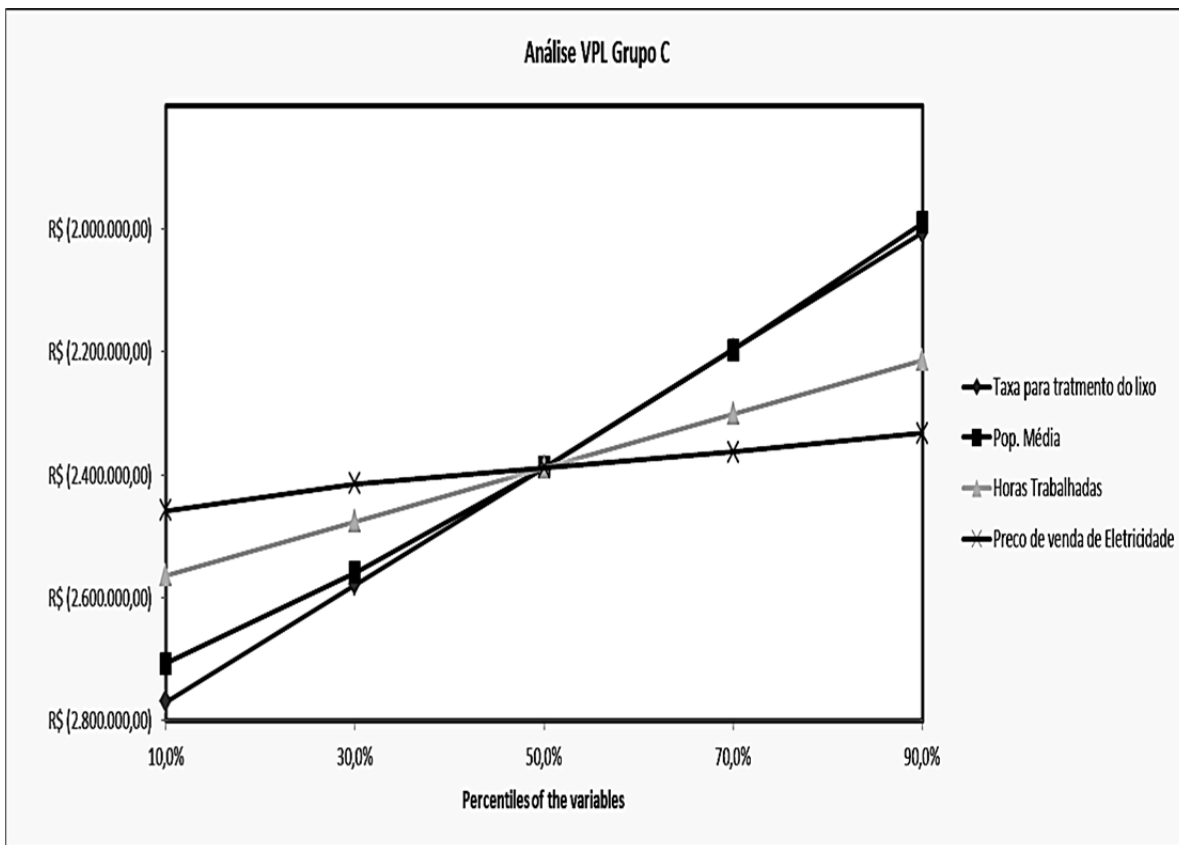
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 1.129.477,49

O intervalo inteiro de R\$ (3.265.789,60) a R\$ (961.296,52)

O caso base é R\$ (2.057.781,13)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 4.041,74





Análise do Grupo D

Planilha: [VPL_GRUPO_D_7,5%_20_anos.xlsx]GD

Previsão: Análise VPL Grupo D

Célula: I

Resumo:

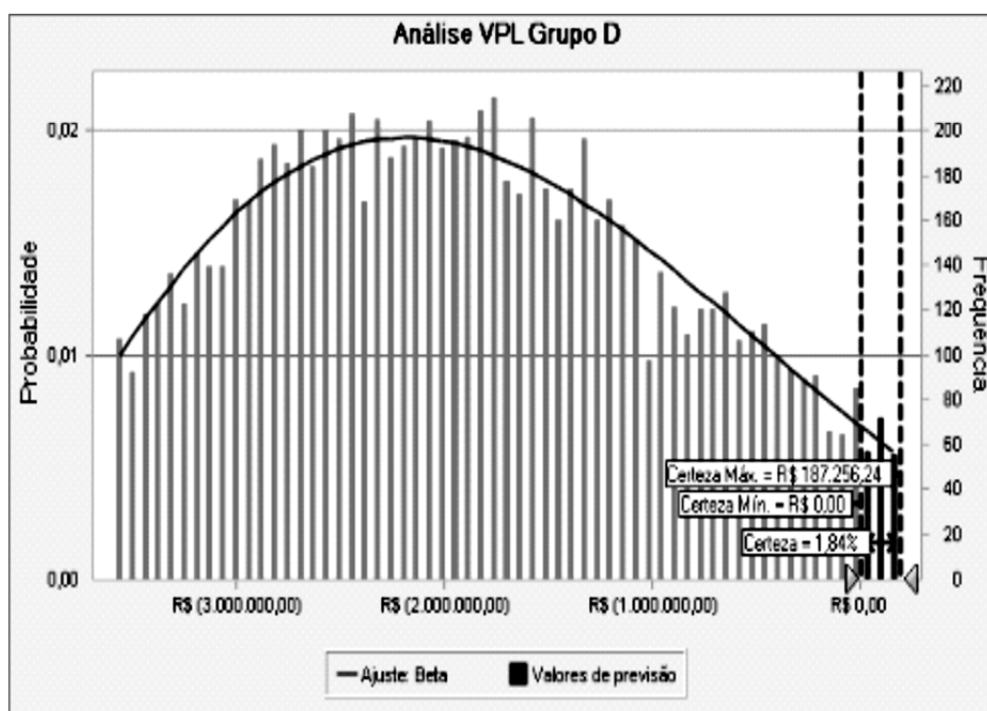
O nível de certeza é 1,84%

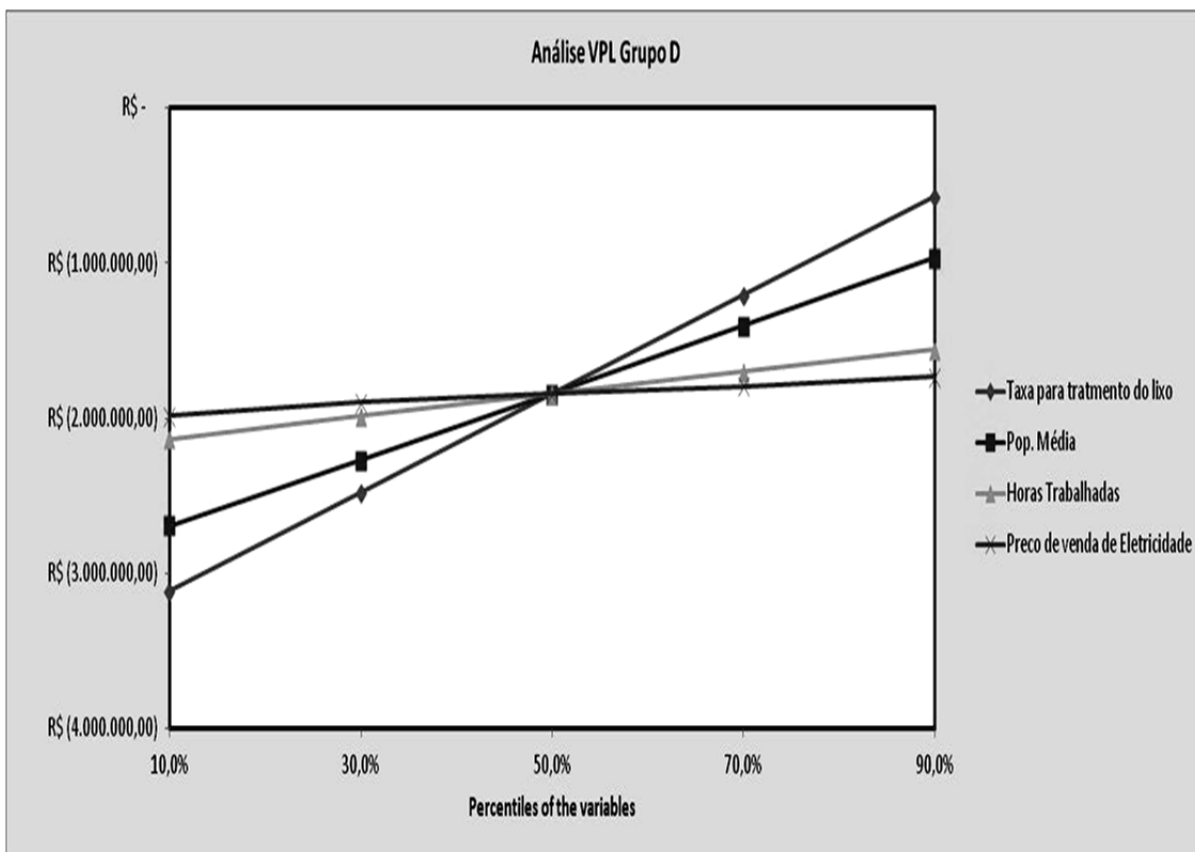
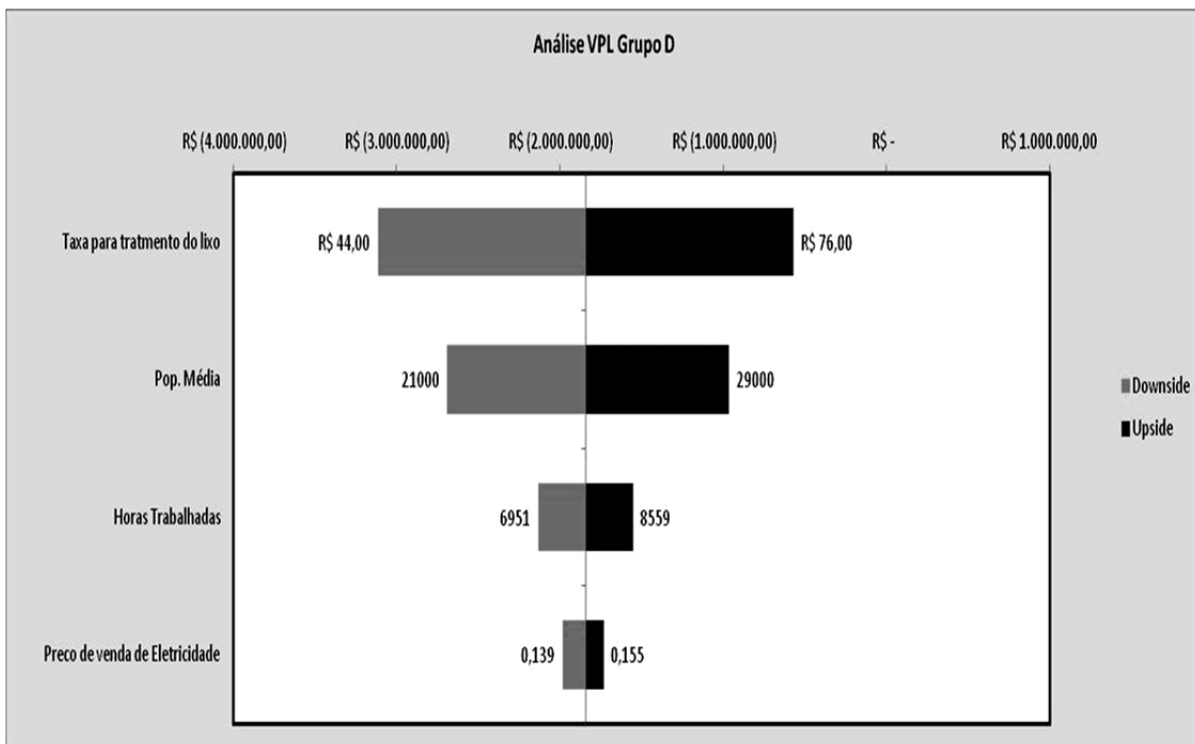
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 187.256,24

O intervalo inteiro de R\$ (4.359.939,89) a R\$ 1.700.287,57

O caso base é R\$ (2.092.169,11)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 11.446,94





Previsão: TIR**Célula: I**

Resumo:

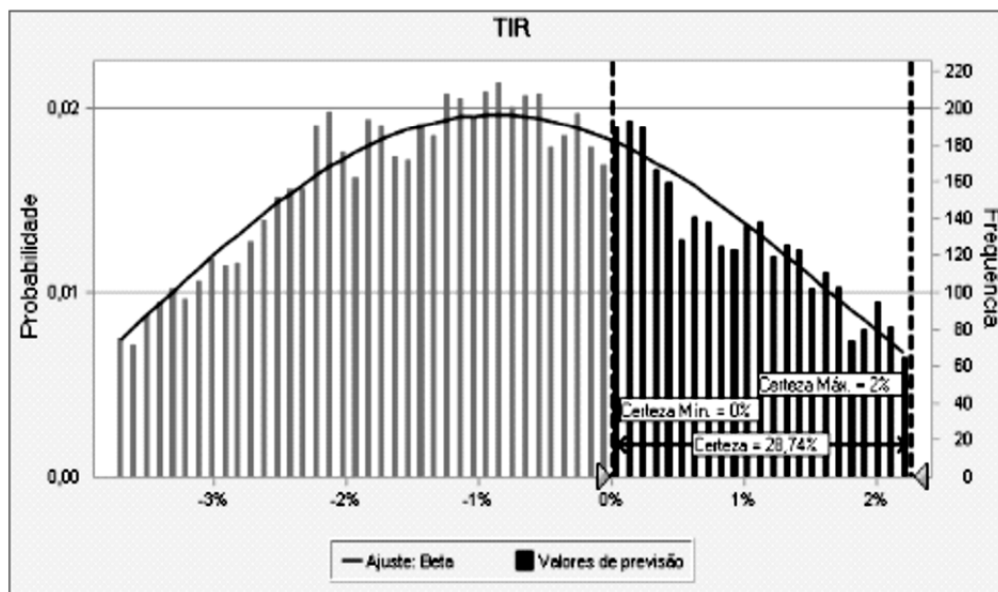
O nível de certeza é 28,74%

O intervalo de certeza é de 0% a 2%

O intervalo inteiro de -5% a 4%

O caso base é -1%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo E

Planilha: [VPL_GRUPO_E_7,5%_20_anos.xlsx]GE

Previsão: Análise VPL Grupo E

Célula: I

Resumo:

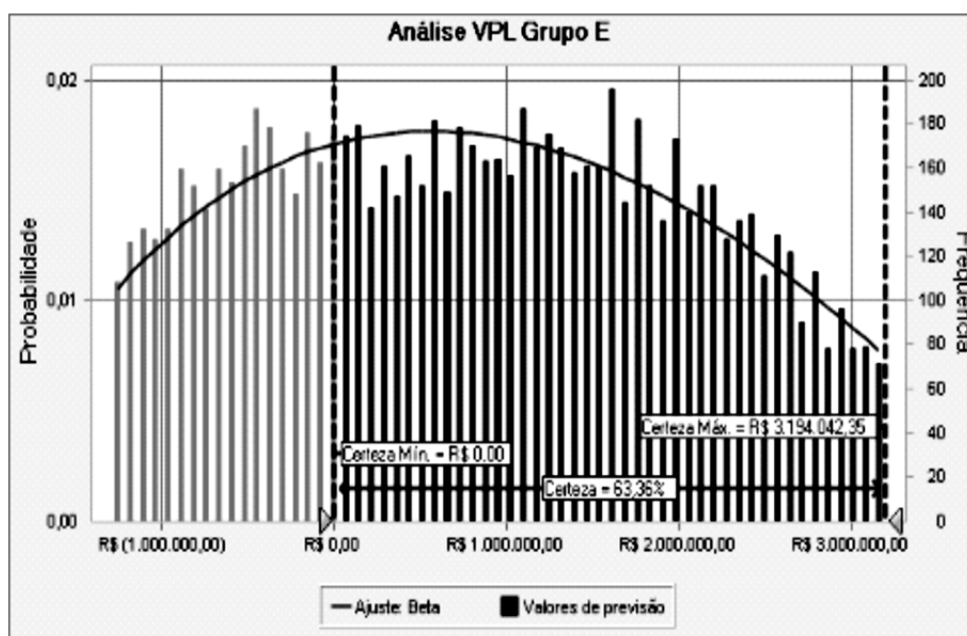
O nível de certeza é 63,36%

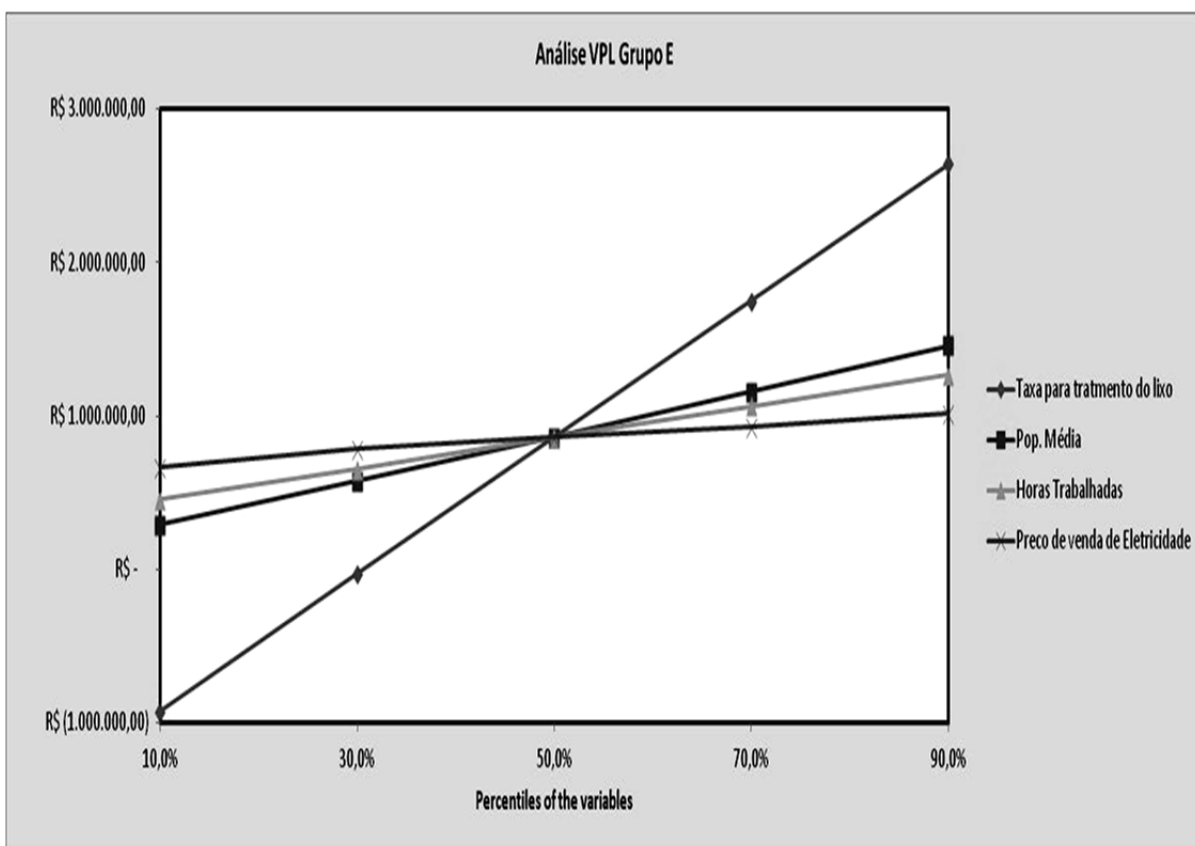
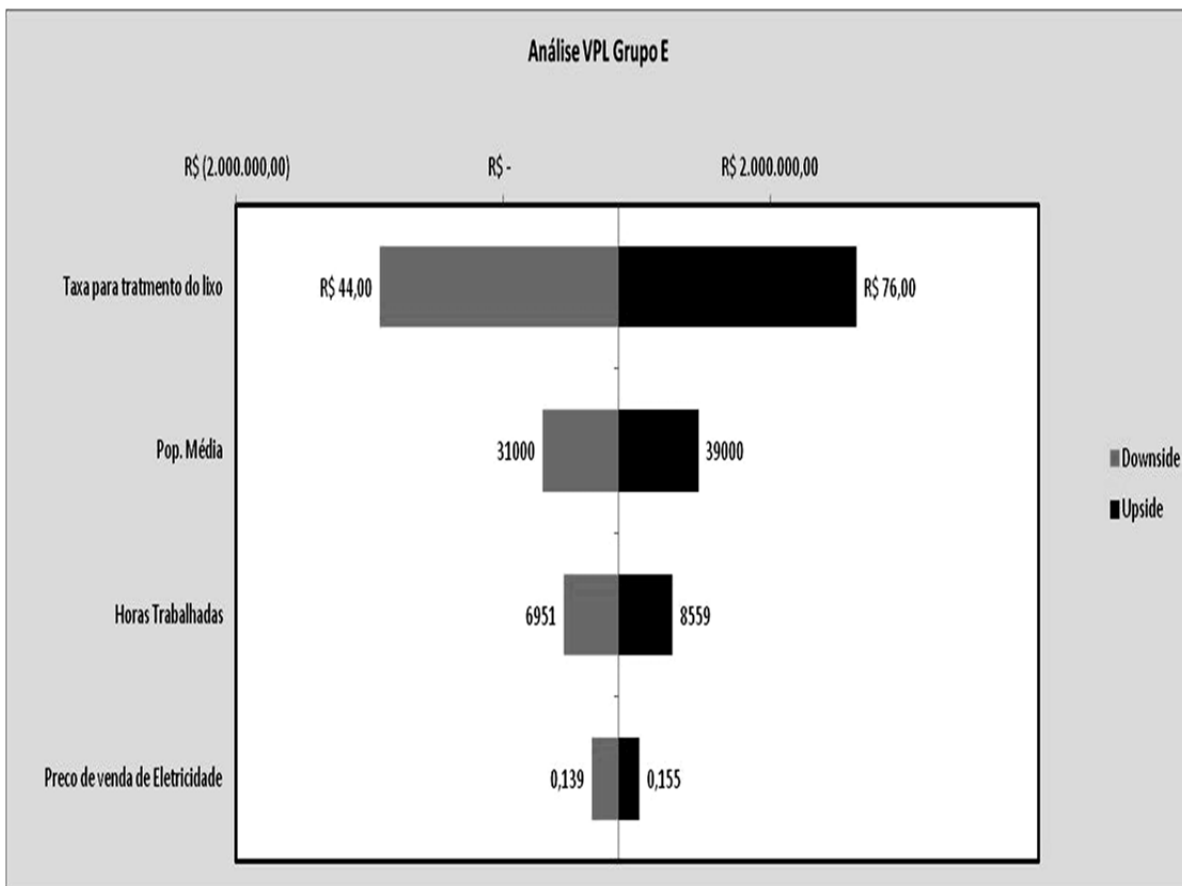
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 3.194.042,35

O intervalo inteiro de R\$ (2.255.479,49) a R\$ 4.551.867,96

O caso base é R\$ 662.944,00

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 13.993,42





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

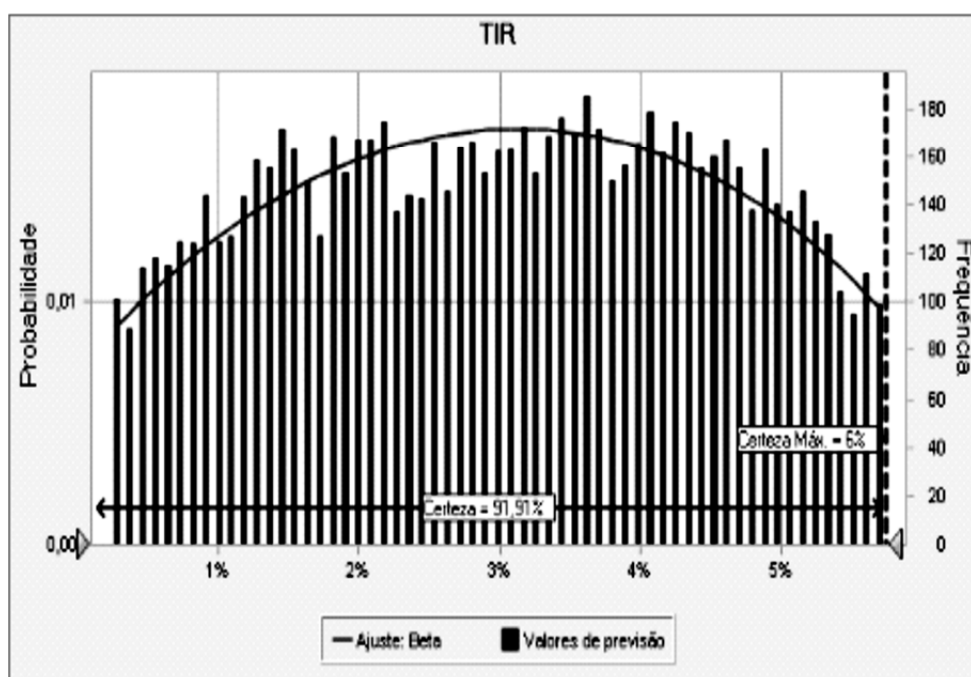
O nível de certeza é 91,91%

O intervalo de certeza é de 0% a 6%

O intervalo inteiro de -1% a 7%

O caso base é 3%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo F

Planilha: [VPL_GRUPO_F_7,5% .xls]GF

Previsão: Análise VPL Grupo F

Célula: I

Resumo:

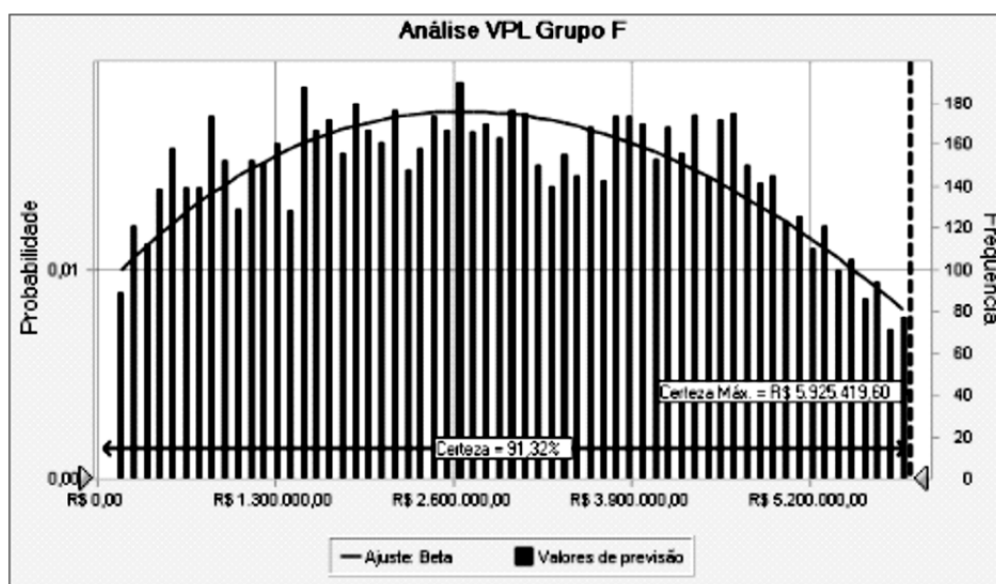
O nível de certeza é 91,32%

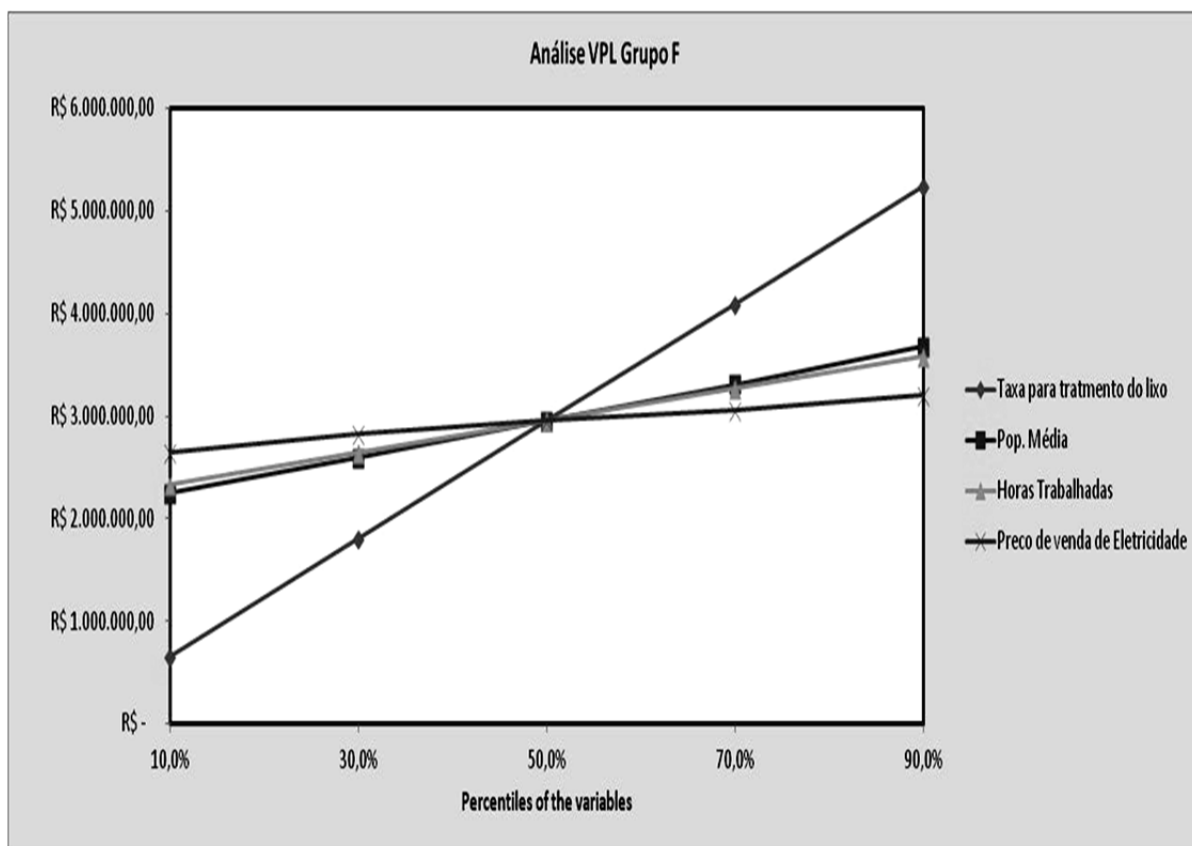
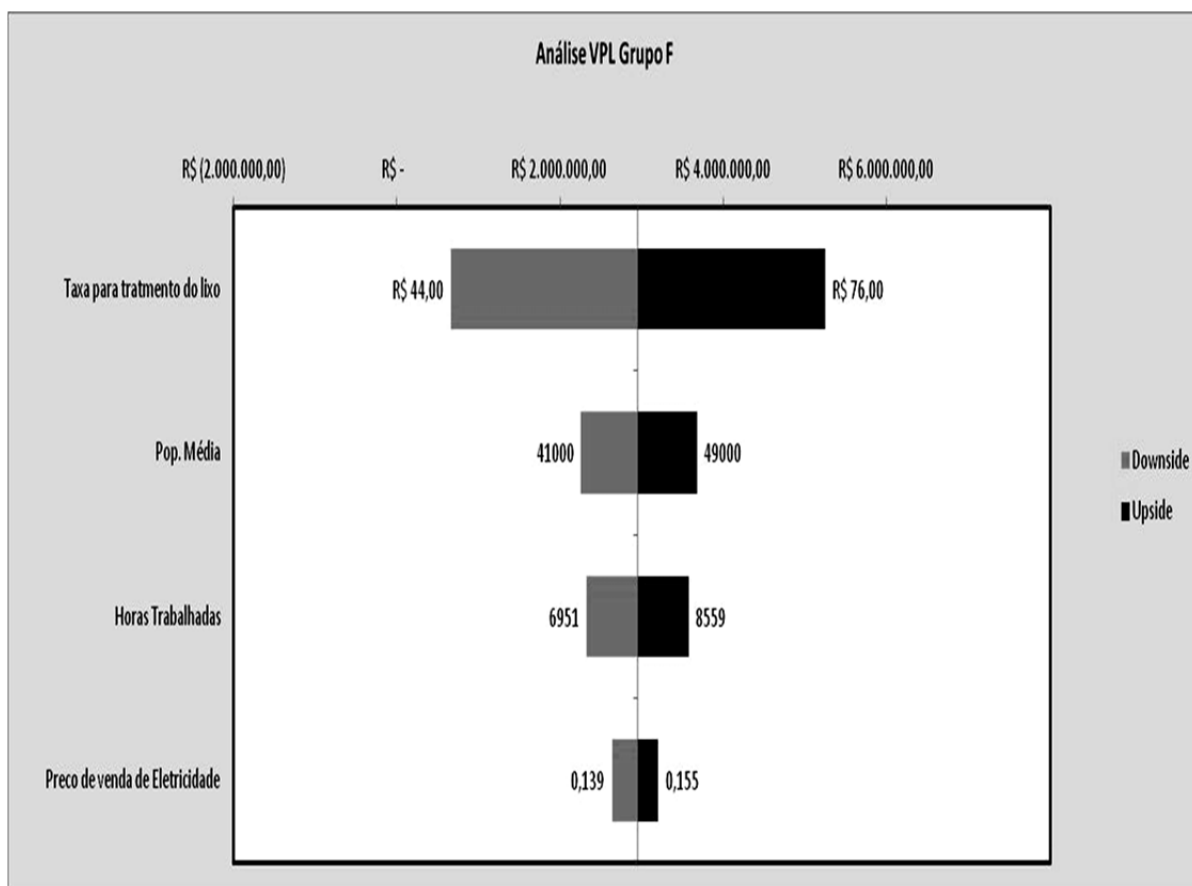
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 5.925.419,60

O intervalo inteiro de R\$ (1.440.309,18) a R\$ 8.183.091,19

O caso base é R\$ 2.715.073,89

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 18.177,95





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

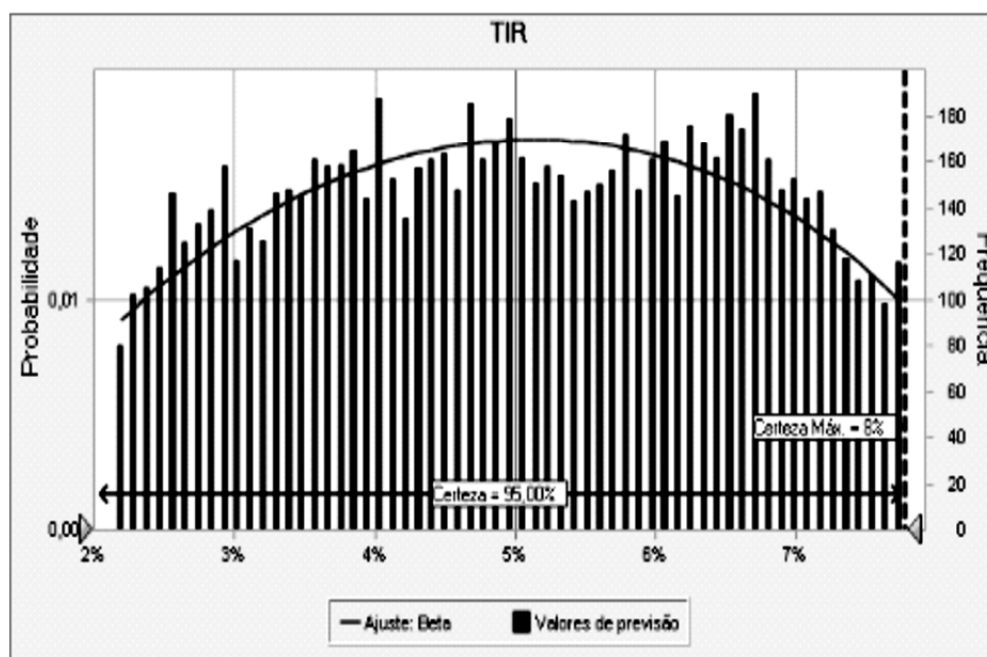
O nível de certeza é 95,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 8%

O intervalo inteiro de 0% a 10%

O caso base é 5%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo G

Planilha: [VPL_GRUPO_G_7,5%_20_anos.xlsx]GG

Previsão: Análise VPL Grupo G

Célula: I

Resumo:

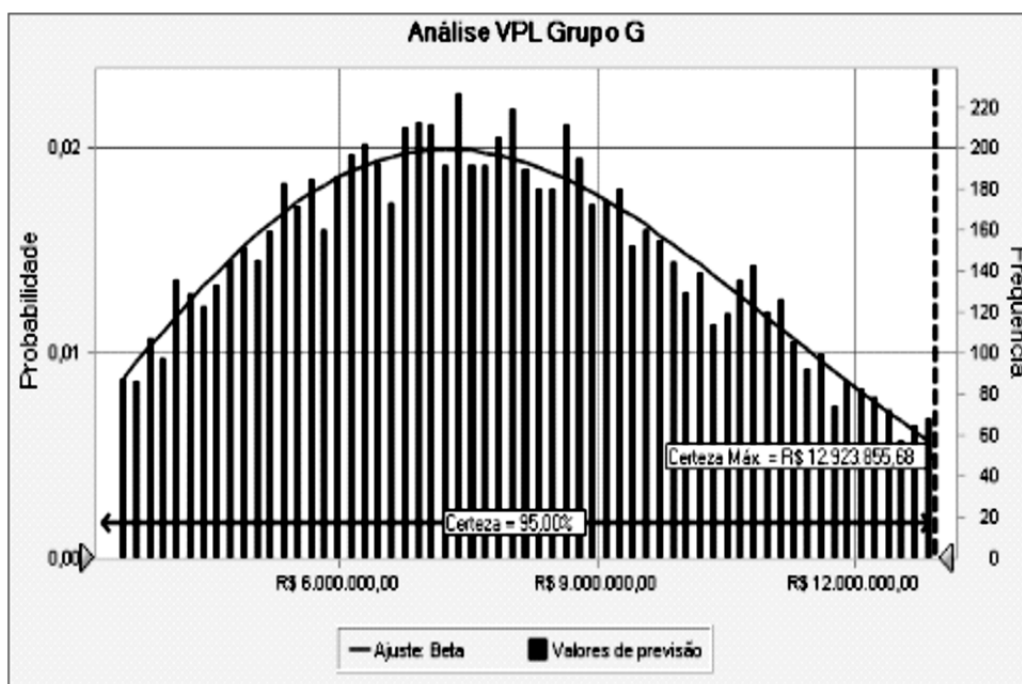
O nível de certeza é 95,00%

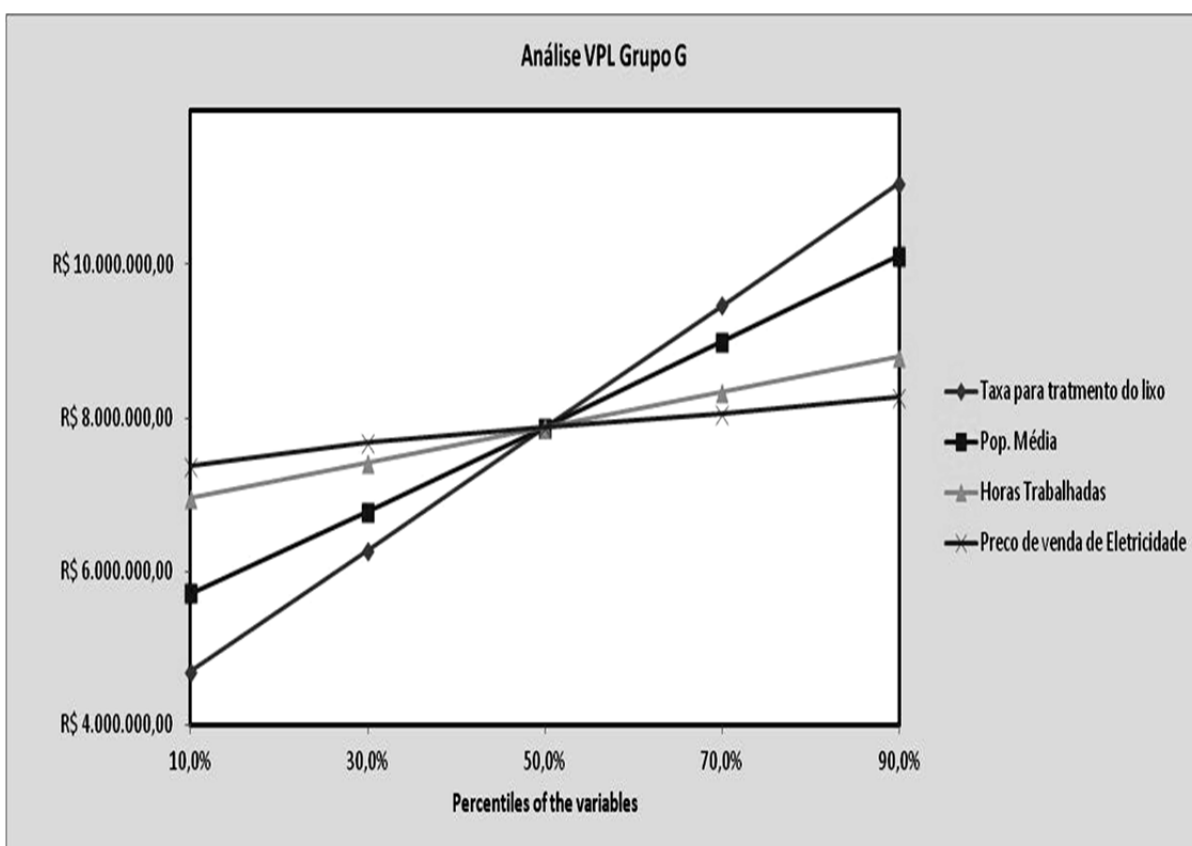
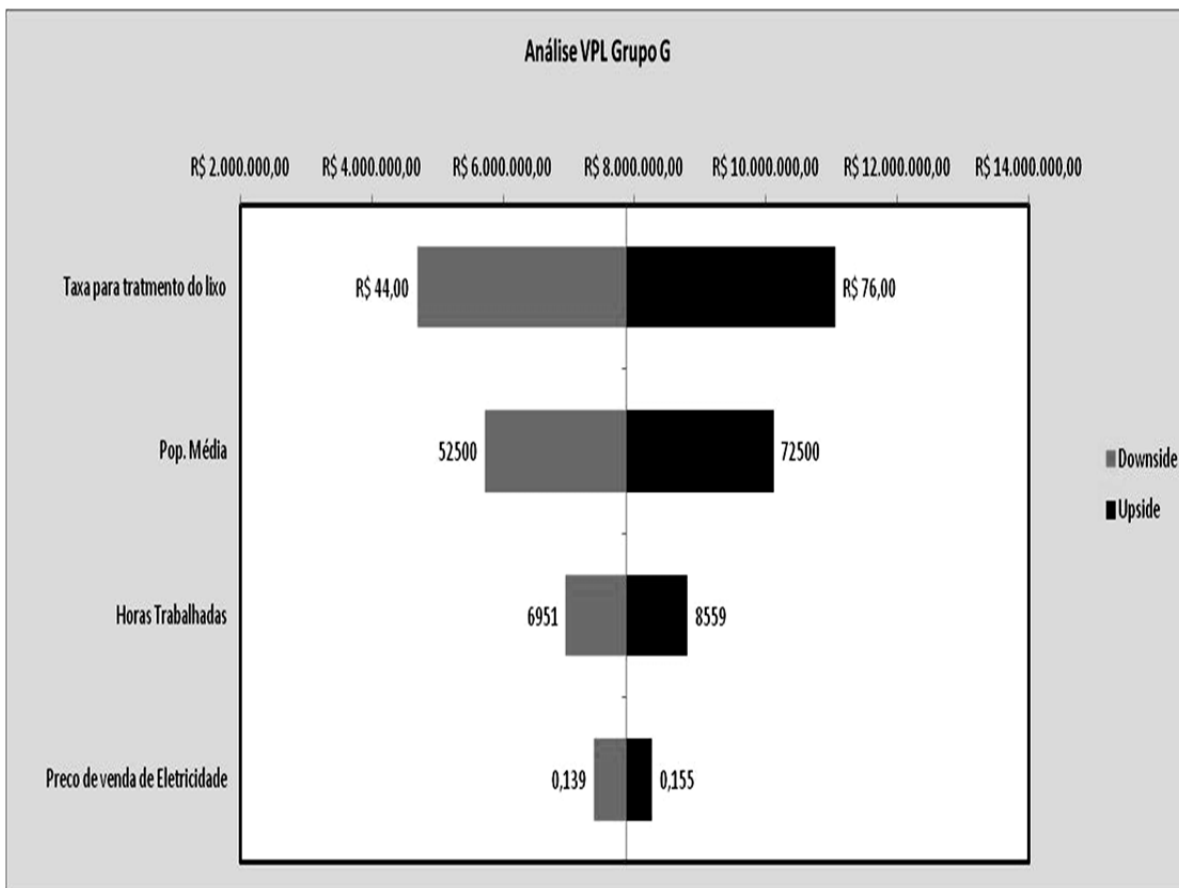
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 12.923.855,68

O intervalo inteiro de R\$ 1.003.885,62 a R\$ 16.534.131,75

O caso base é R\$ 7.305.191,17

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 28.832,77





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

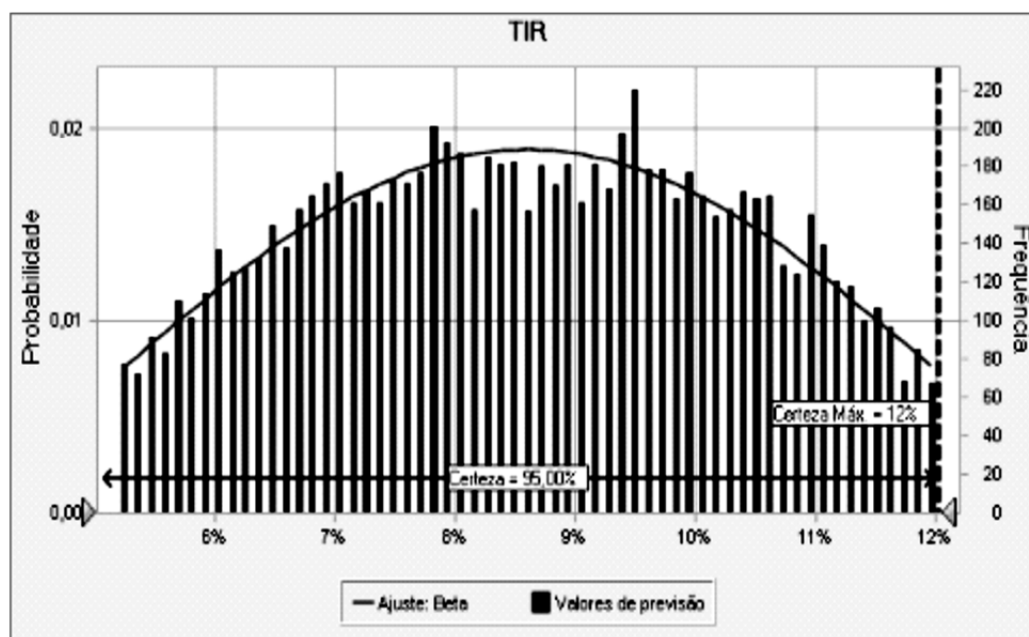
O nível de certeza é 95,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 12%

O intervalo inteiro de 3% a 14%

O caso base é 8%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo H

Previsão: Análise VPL Grupo H

Célula: I

Resumo:

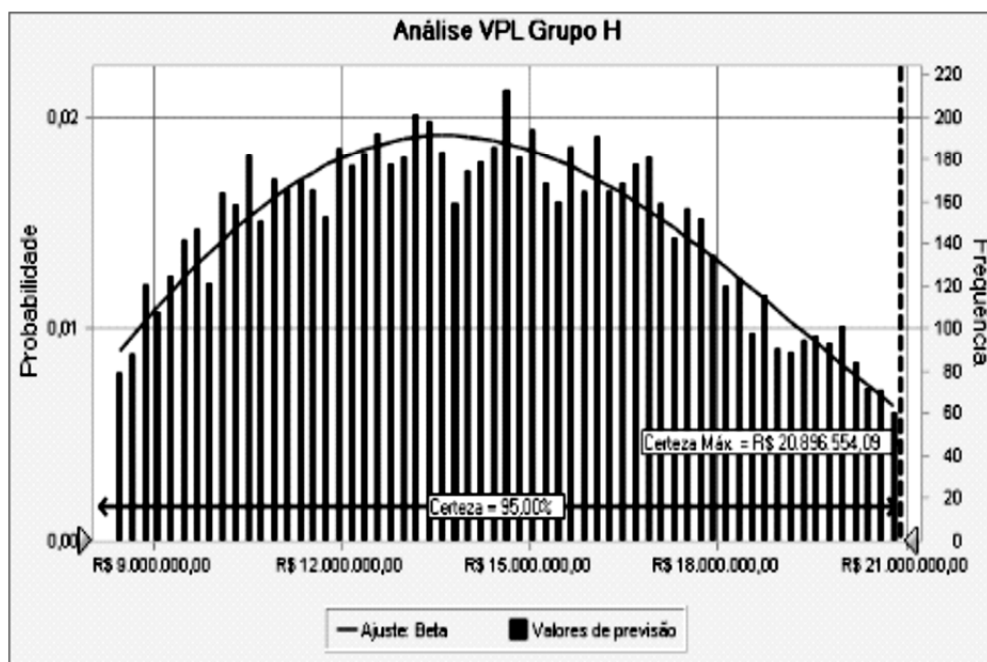
O nível de certeza é 95,00%

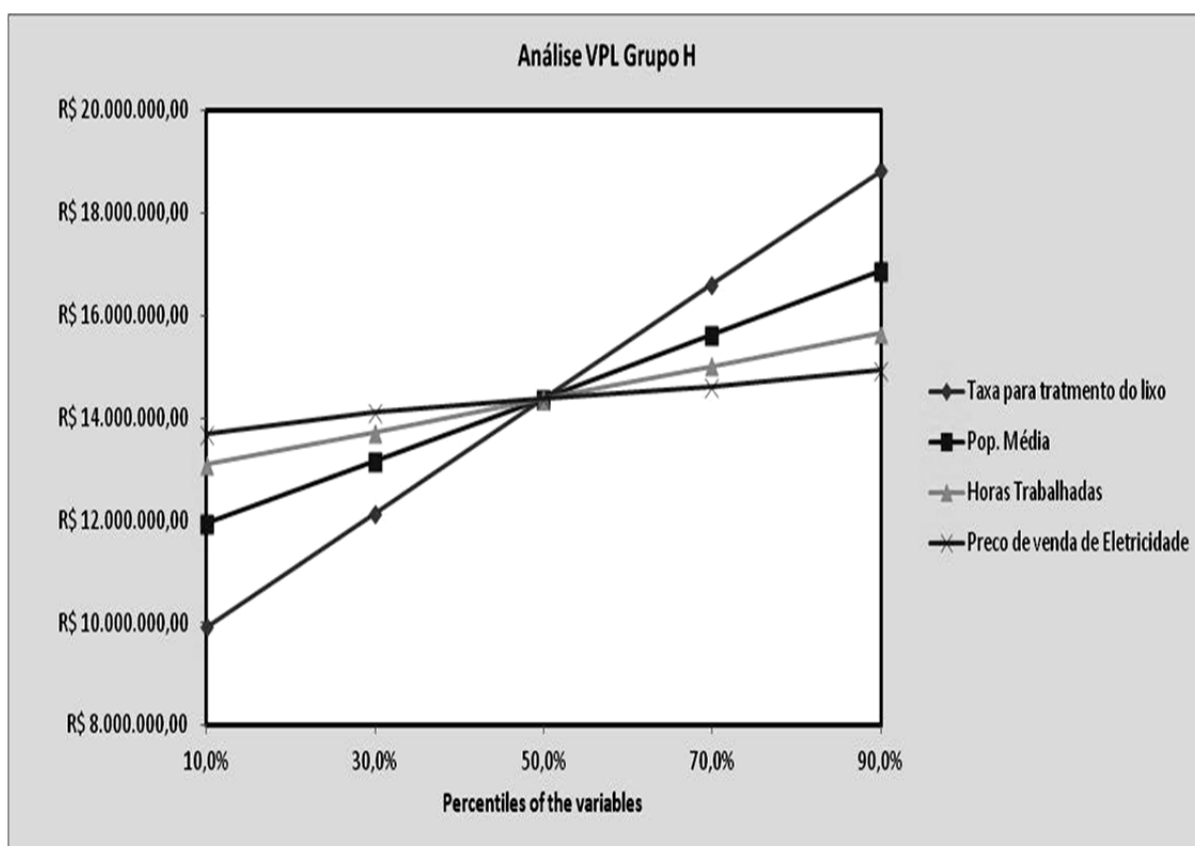
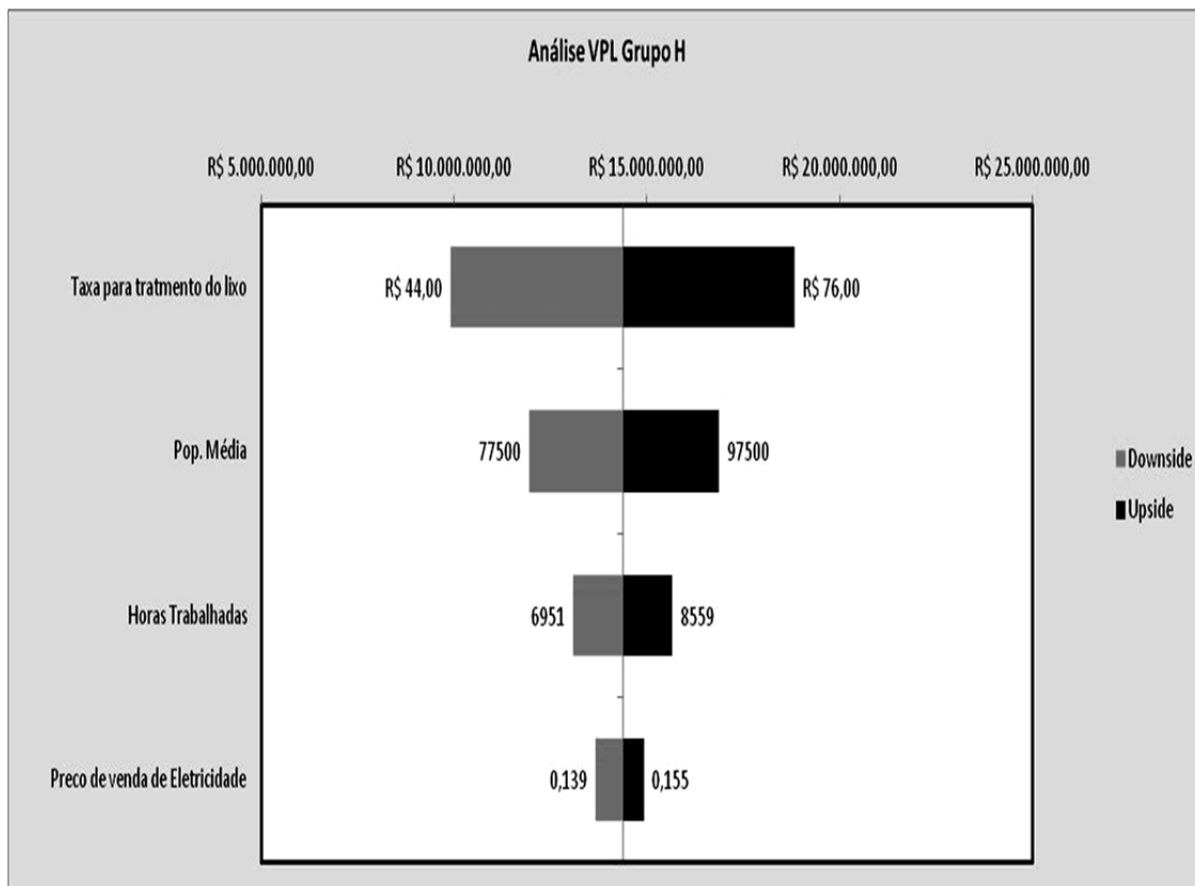
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 20.896.554,09

O intervalo inteiro de R\$ 4.833.898,69 a R\$ 25.865.019,16

O caso base é R\$ 13.584.761,27

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 38.448,08





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

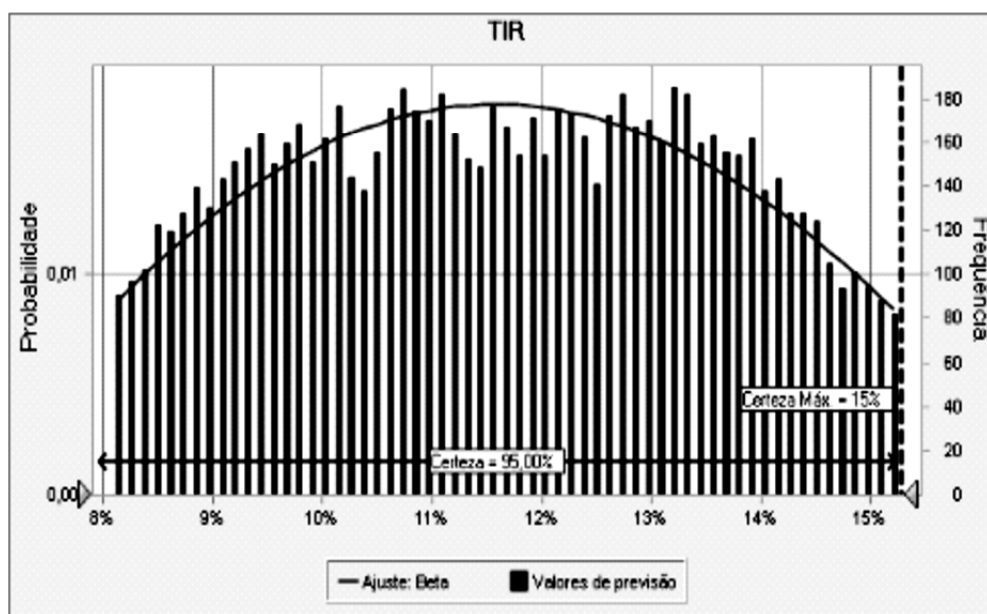
O nível de certeza é 95,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 15%

O intervalo inteiro de 6% a 18%

O caso base é 11%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo I

Planilha: [VPL_GRUPO_I_7,5%_20_anos.xlsx]GI

Previsão: Análise VPL Grupo I

Célula: I

Resumo:

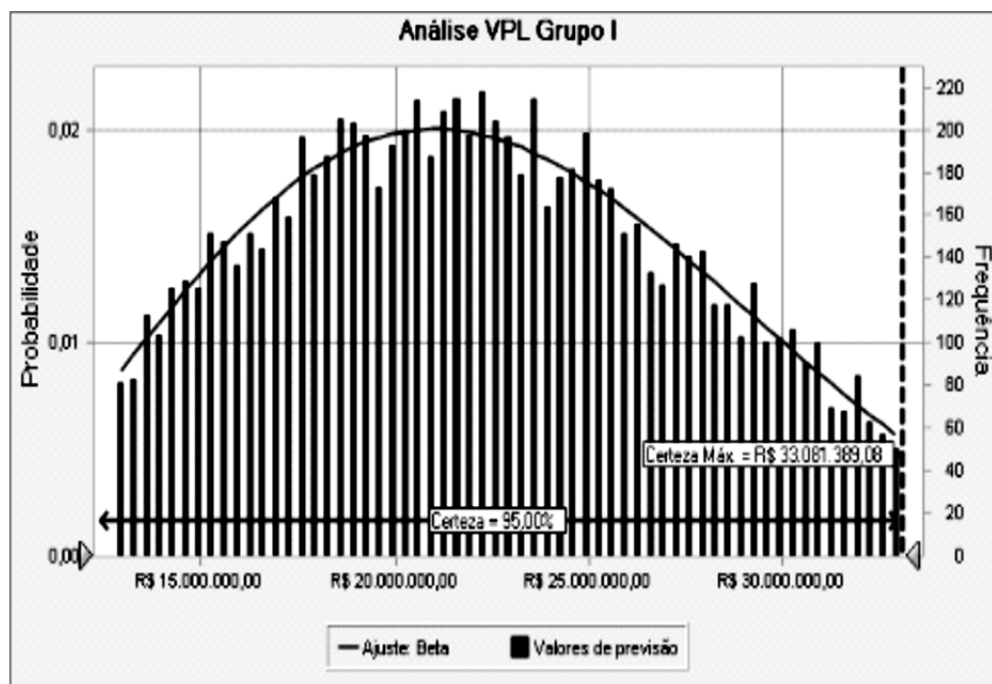
O nível de certeza é 95,00%

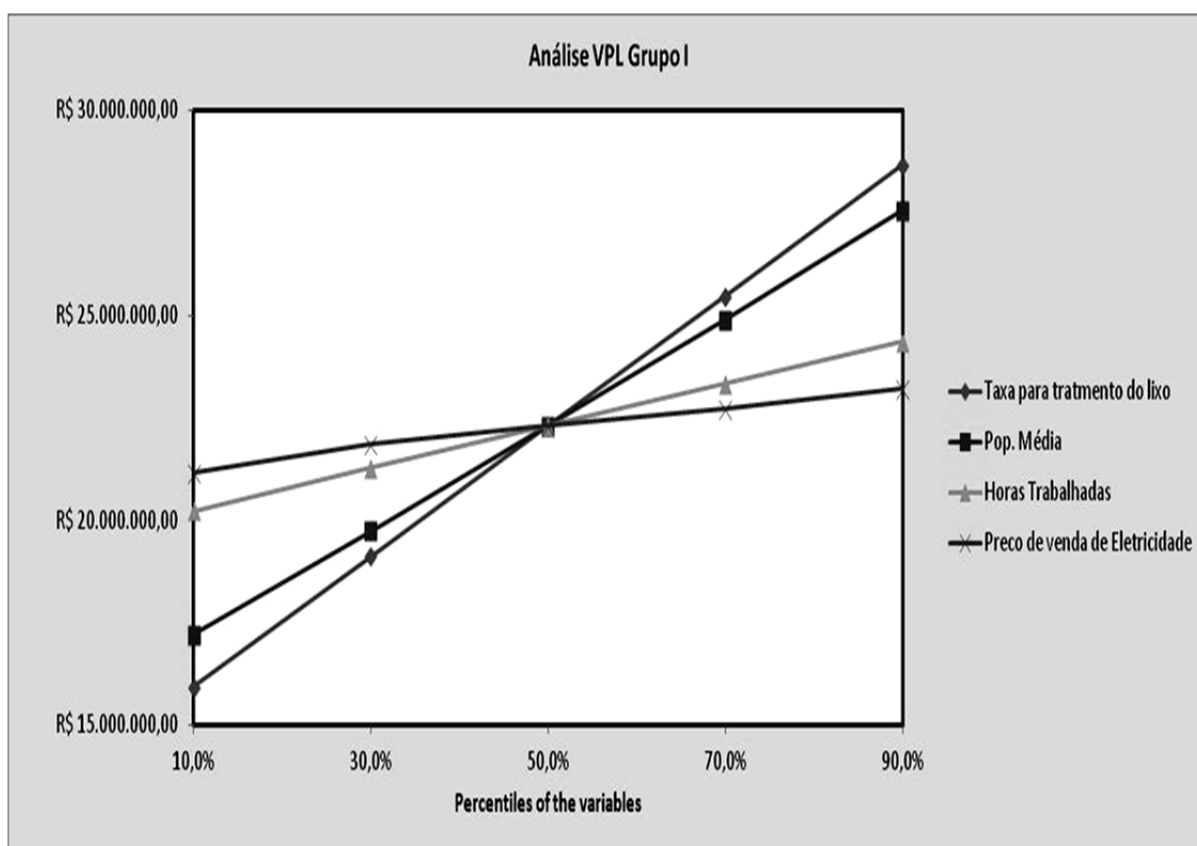
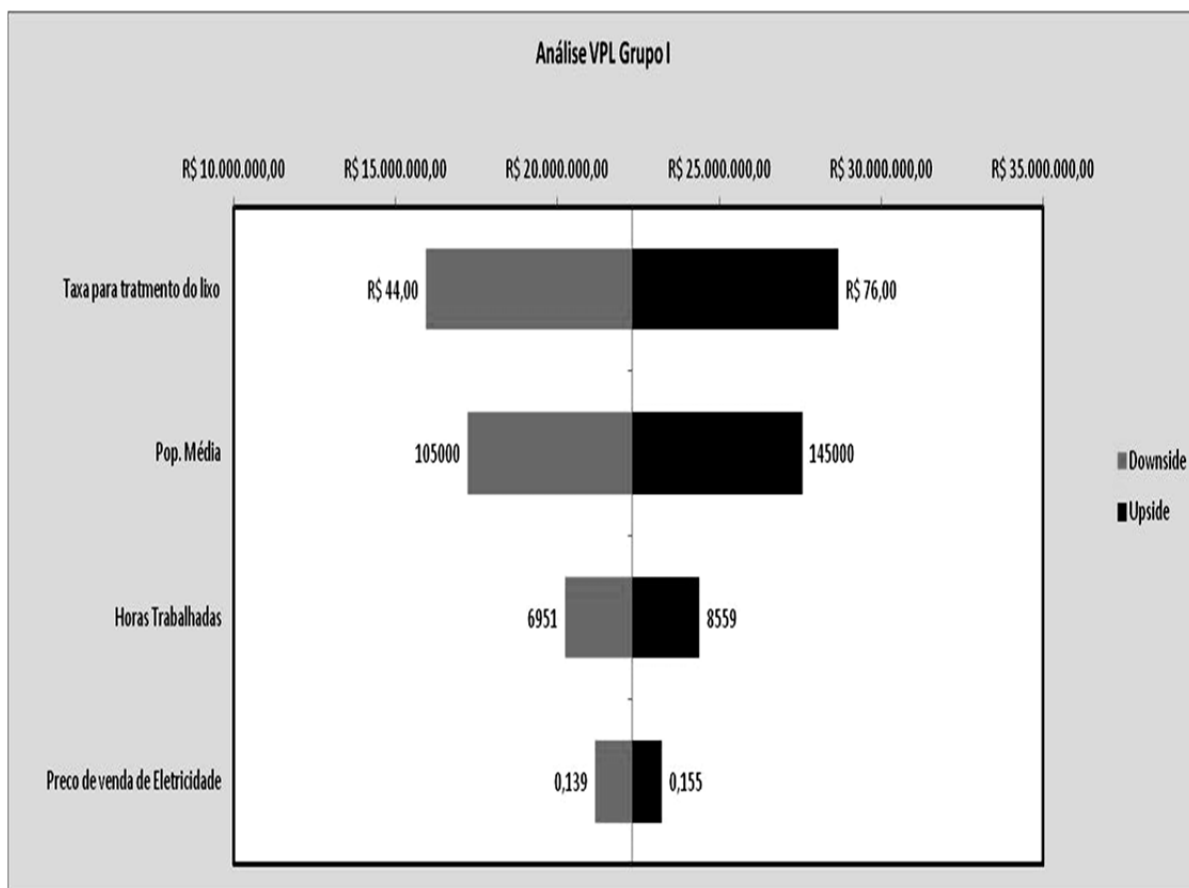
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 33.081.389,08

O intervalo inteiro de R\$ 7.203.796,79 a R\$ 41.891.771,71

O caso base é R\$ 20.004.641,37

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 61.410,72



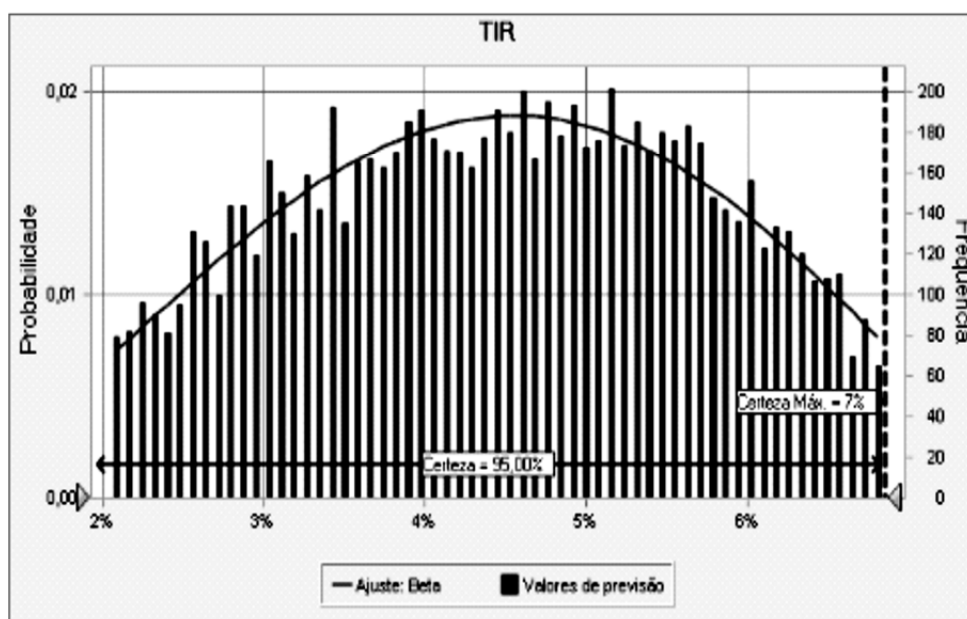


Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

- O nível de certeza é 95,00%
- O intervalo de certeza é de 0% a 7%
- O intervalo inteiro de 0% a 8%
- O caso base é 4%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo J

Planilha: [VPL_GRUPO_J_7,5%_20_anos.xlsx]GJ

Previsão: Análise VPL Grupo J

Célula: I

Resumo:

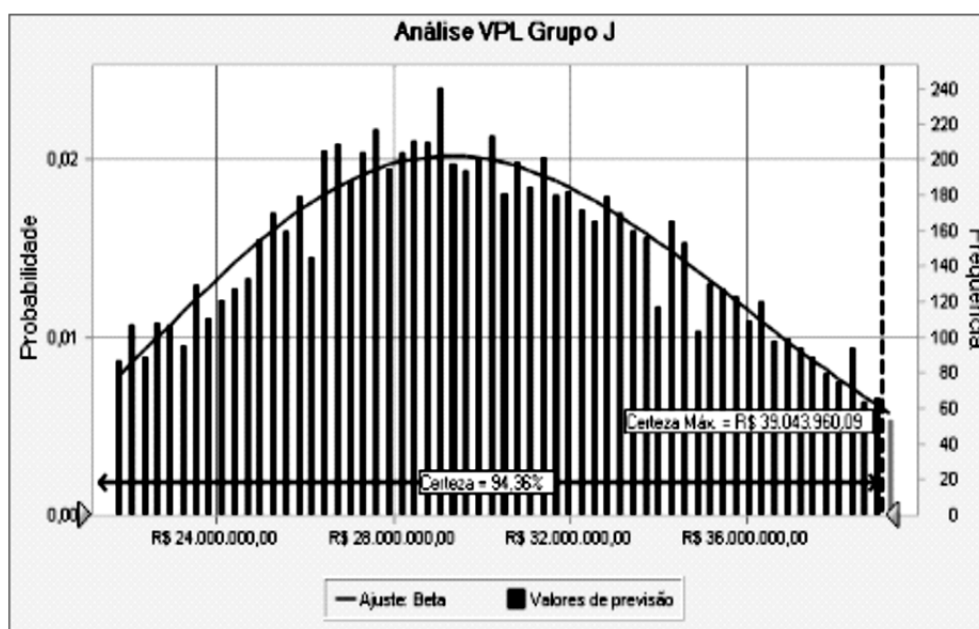
O nível de certeza é 94,36%

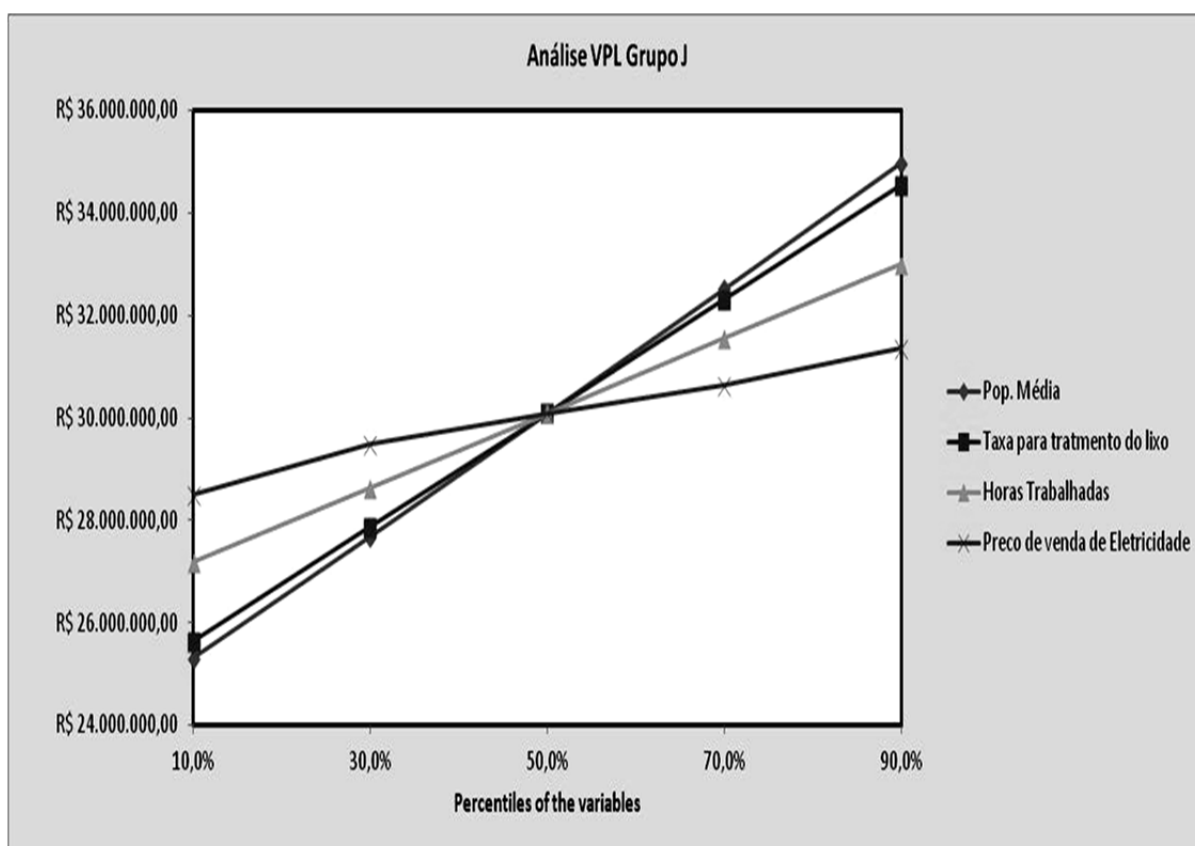
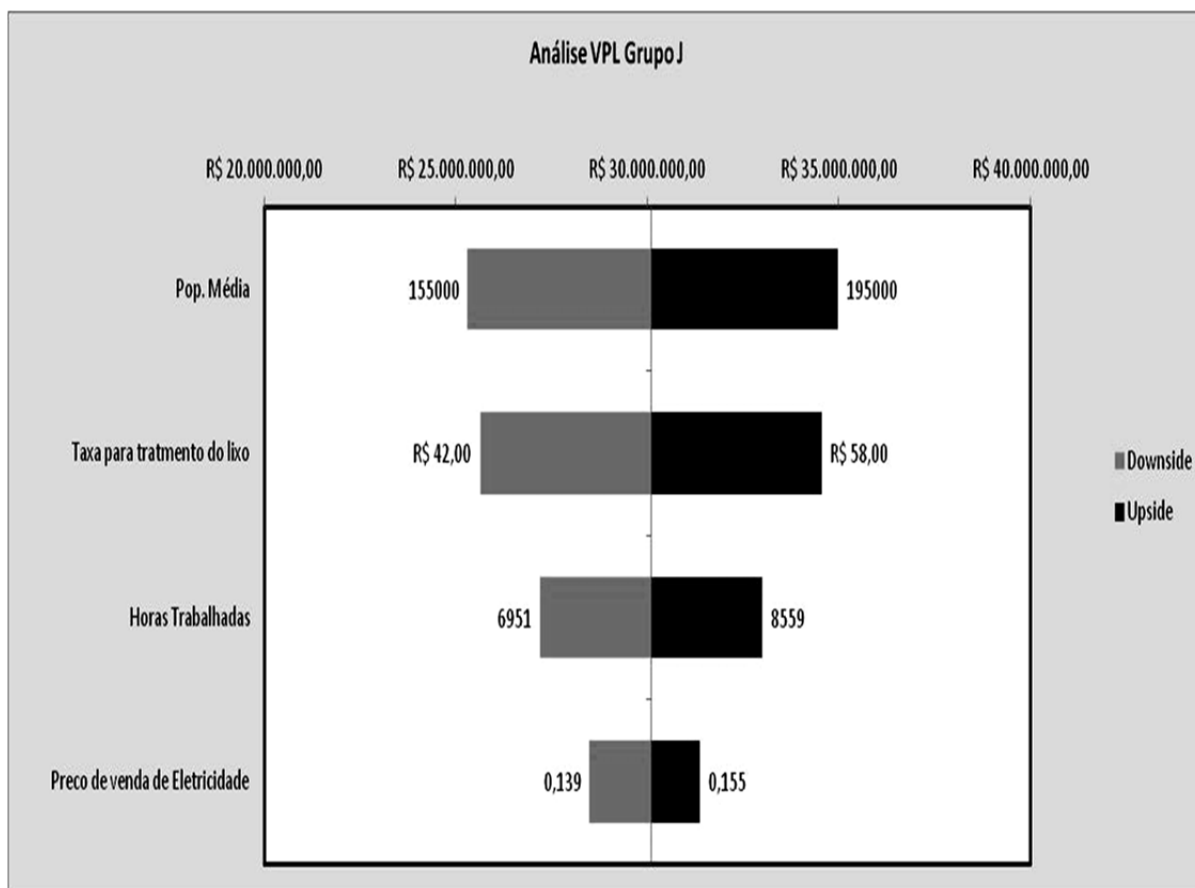
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 39.043.960,09

O intervalo inteiro de R\$ 14.877.423,88 a R\$ 46.604.178,60

O caso base é R\$ 34.619.543,36

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 53.861,90



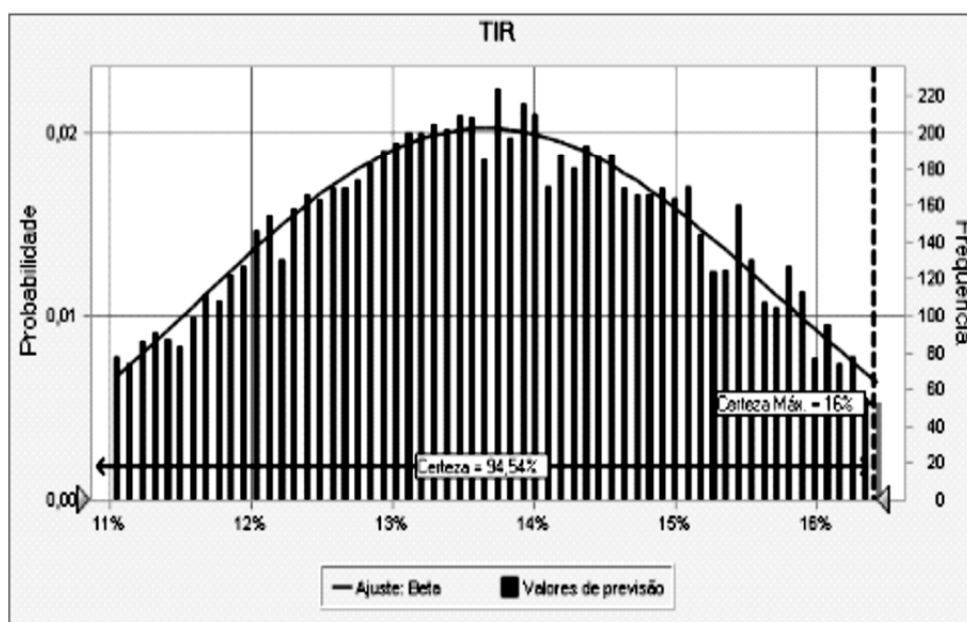


Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

- O nível de certeza é 94,54%
- O intervalo de certeza é de 0% a 16%
- O intervalo inteiro de 9% a 19%
- O caso base é 15%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo K

Planilha: [VPL_GRUPO_K_7,5%.xlsx]GK

Previsão: Análise VPL Grupo K

Célula: I

Resumo:

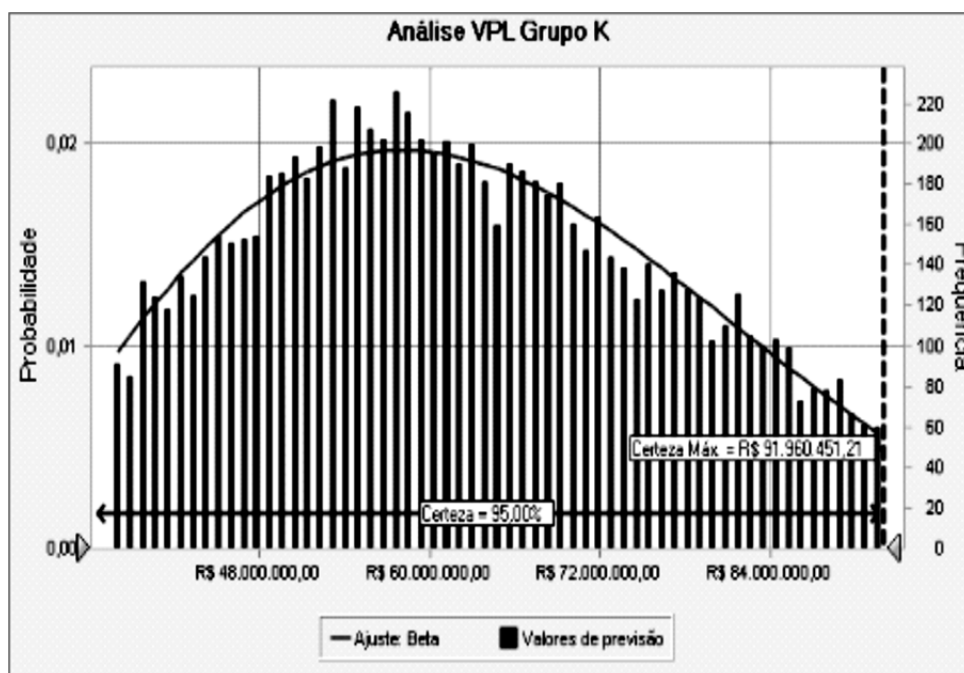
O nível de certeza é 95,00%

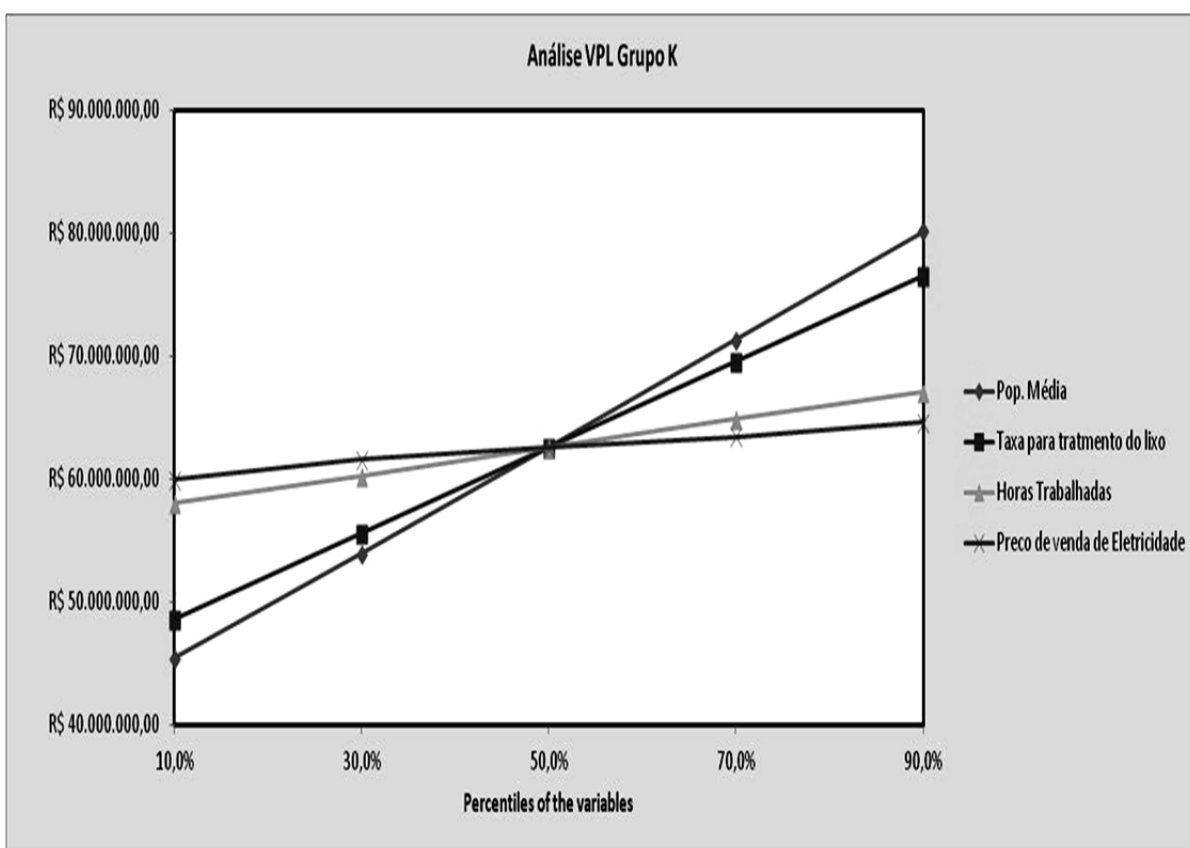
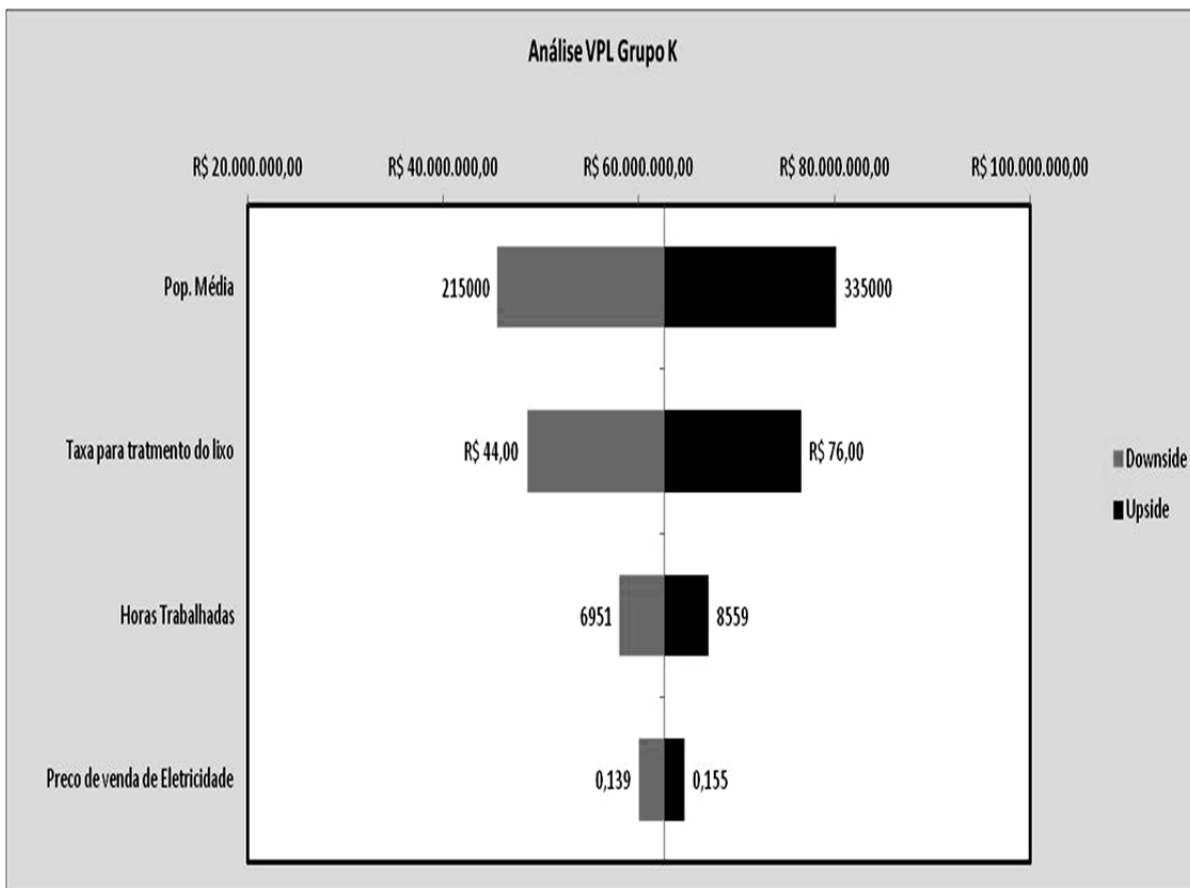
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 91.960.451,21

O intervalo inteiro de R\$ 24.759.516,56 a R\$ 114.093.160,63

O caso base é R\$ 57.400.224,68

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 165.375,96



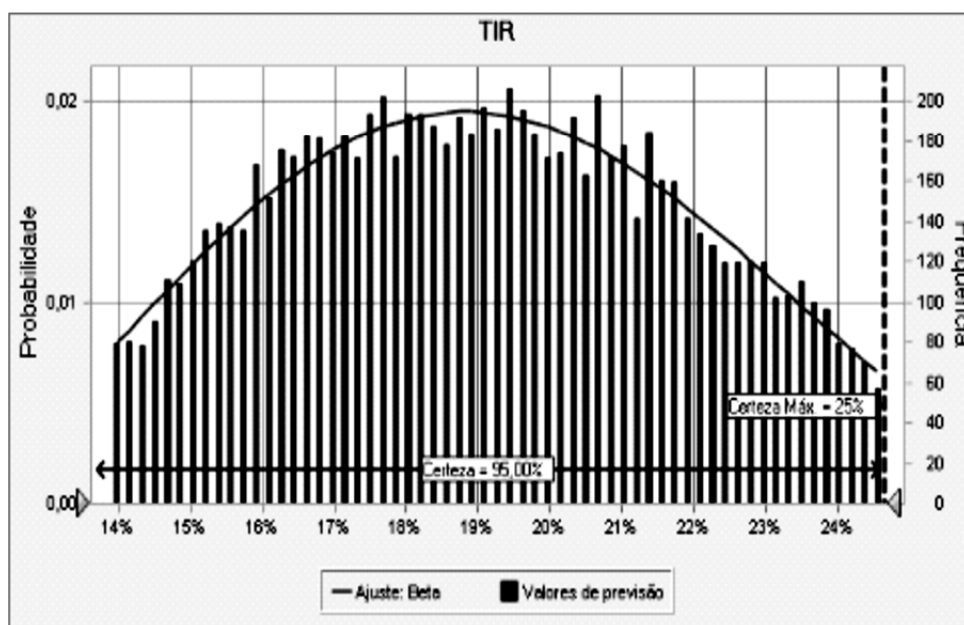


Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

- O nível de certeza é 95,00%
- O intervalo de certeza é de 0% a 25%
- O intervalo inteiro de 11% a 29%
- O caso base é 18%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo L

Planilha: [VPL_GRUPO_L_7,5%_20_anos%.xlsx]GL

Previsão: Análise VPL Grupo L

Célula: I

Resumo:

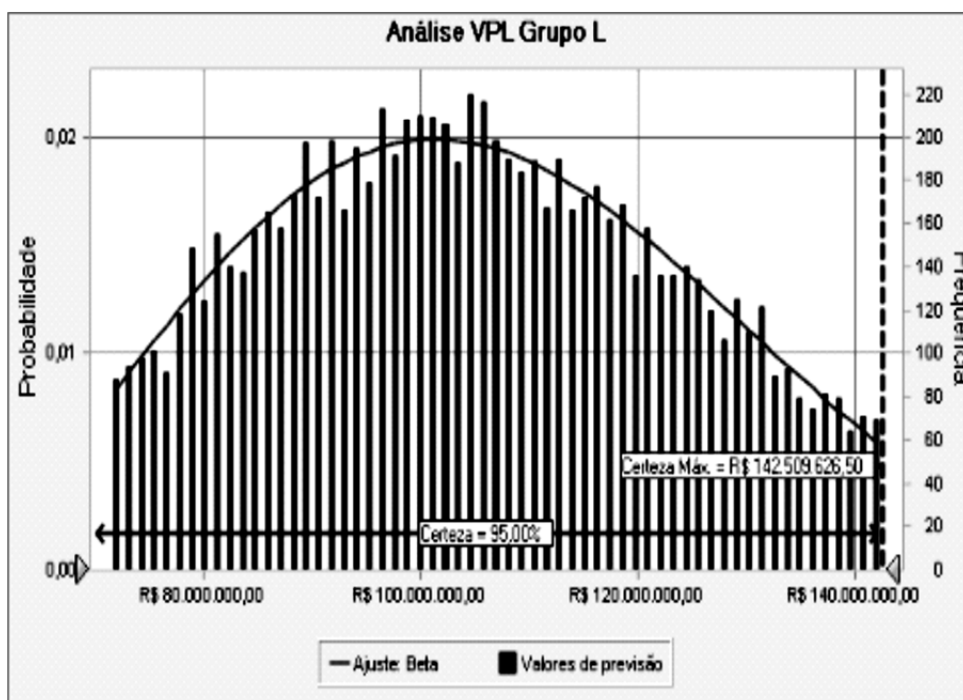
O nível de certeza é 95,00%

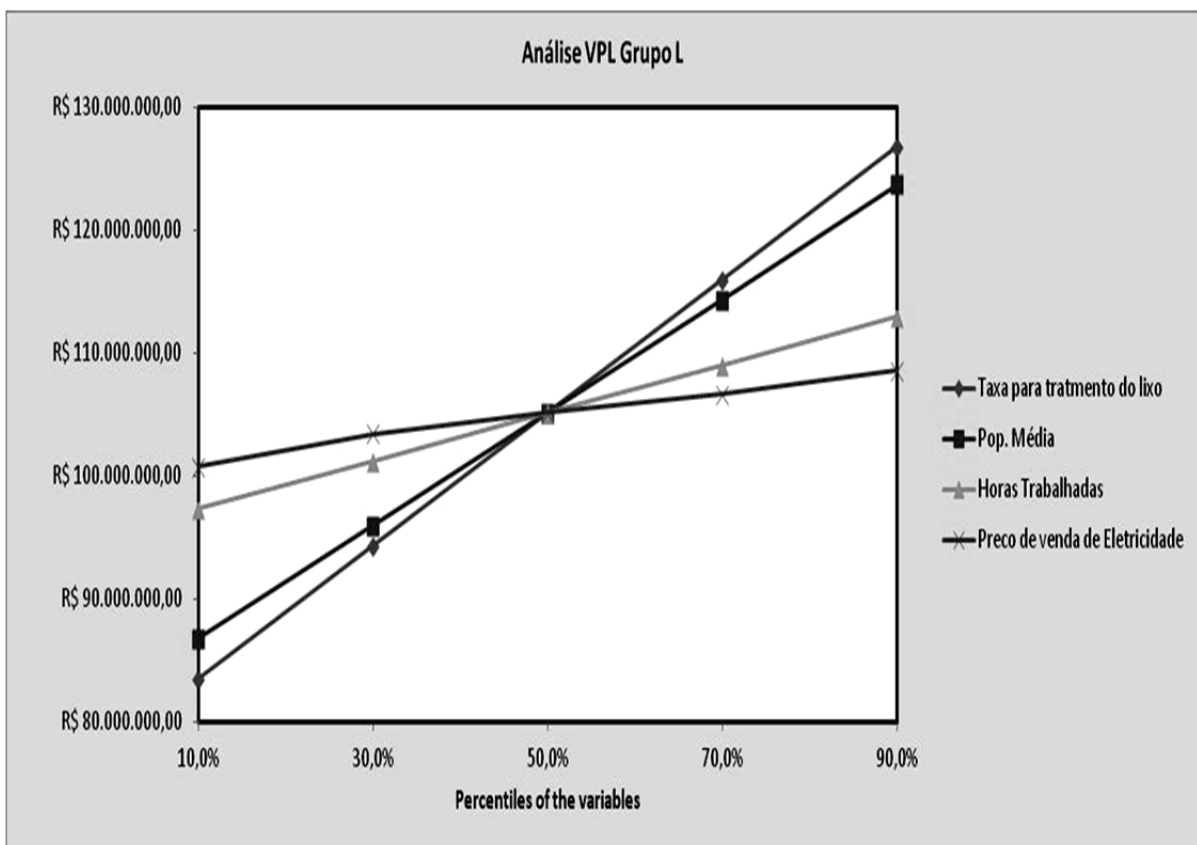
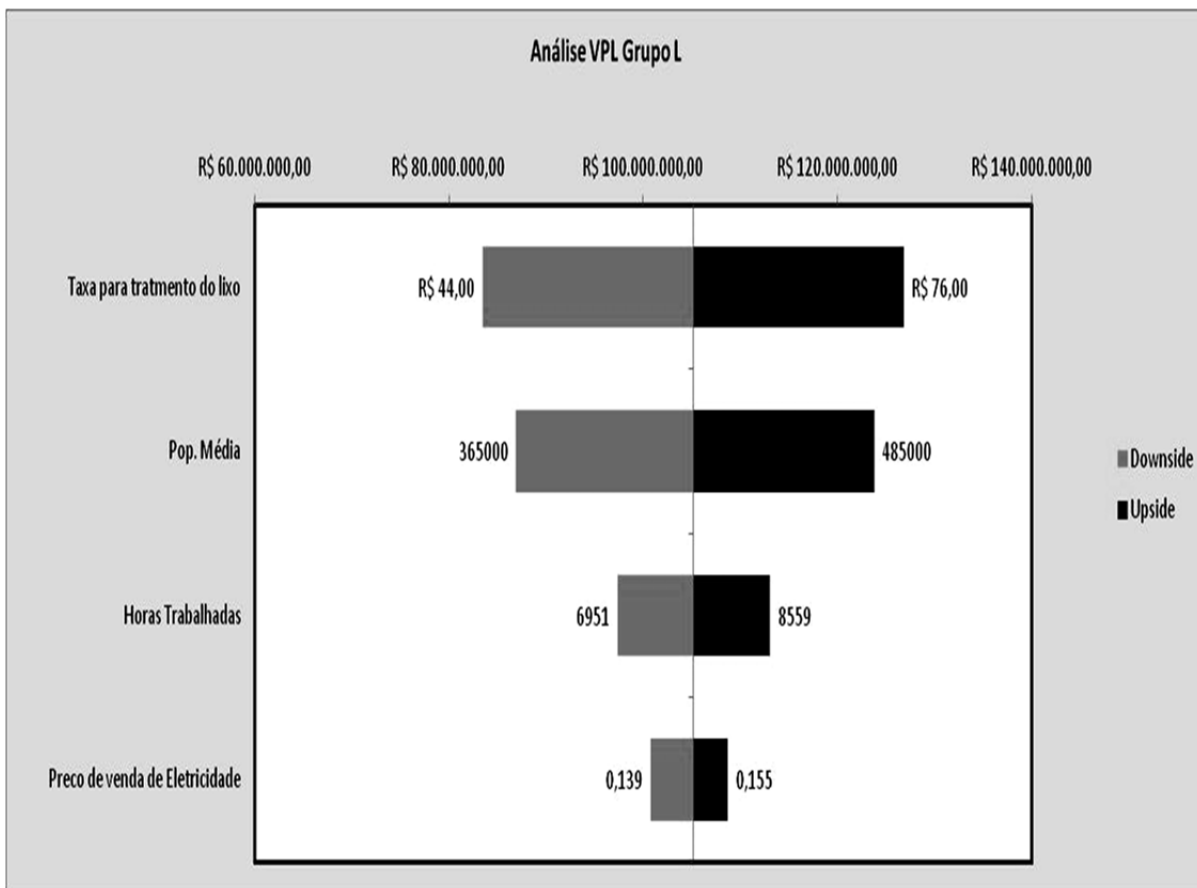
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 142.509.626,50

O intervalo inteiro de R\$ 48.944.252,41 a R\$ 170.356.173,68

O caso base é R\$ 99.689.196,94

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 215.372,59





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

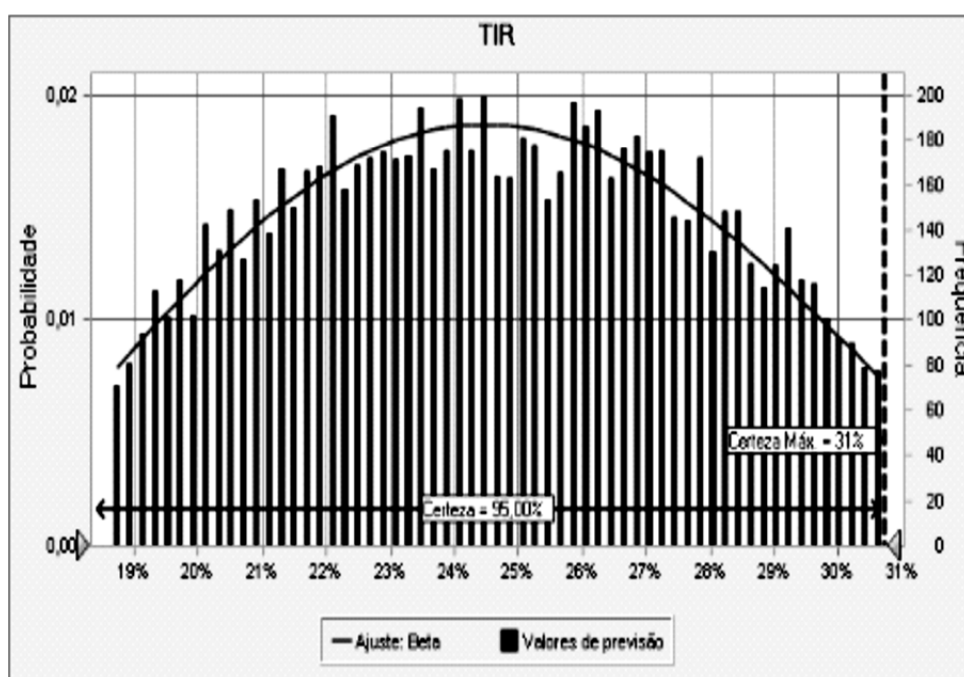
O nível de certeza é 95,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 31%

O intervalo inteiro de 14% a 35%

O caso base é 24%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo M

Planilha: [VPL_GRUPO_M_7,5%_20_anos.xlsx]Gm

Previsão: Análise VPL Grupo M

Célula: I

Resumo:

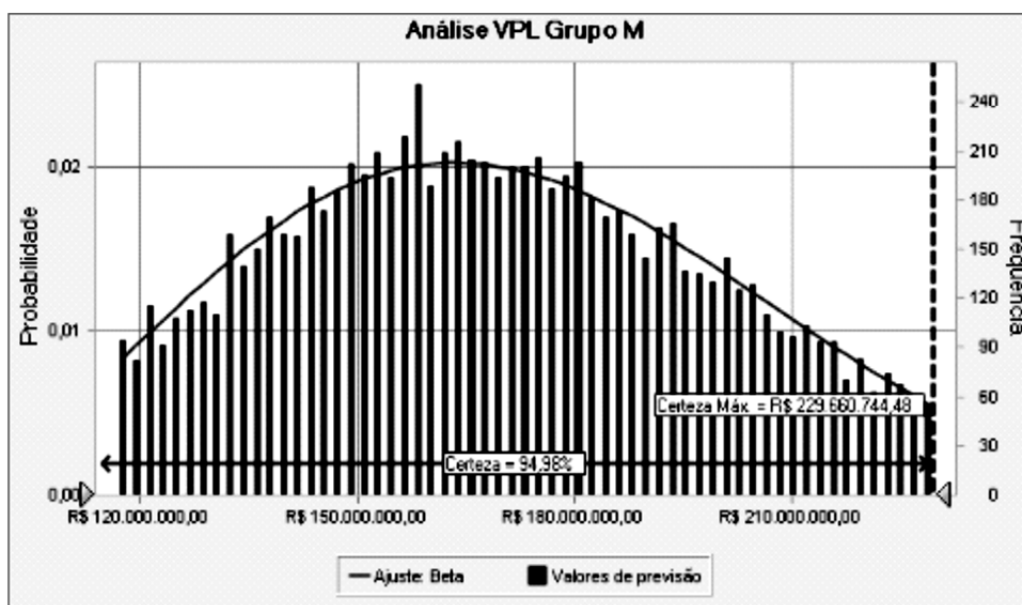
O nível de certeza é 94,98%

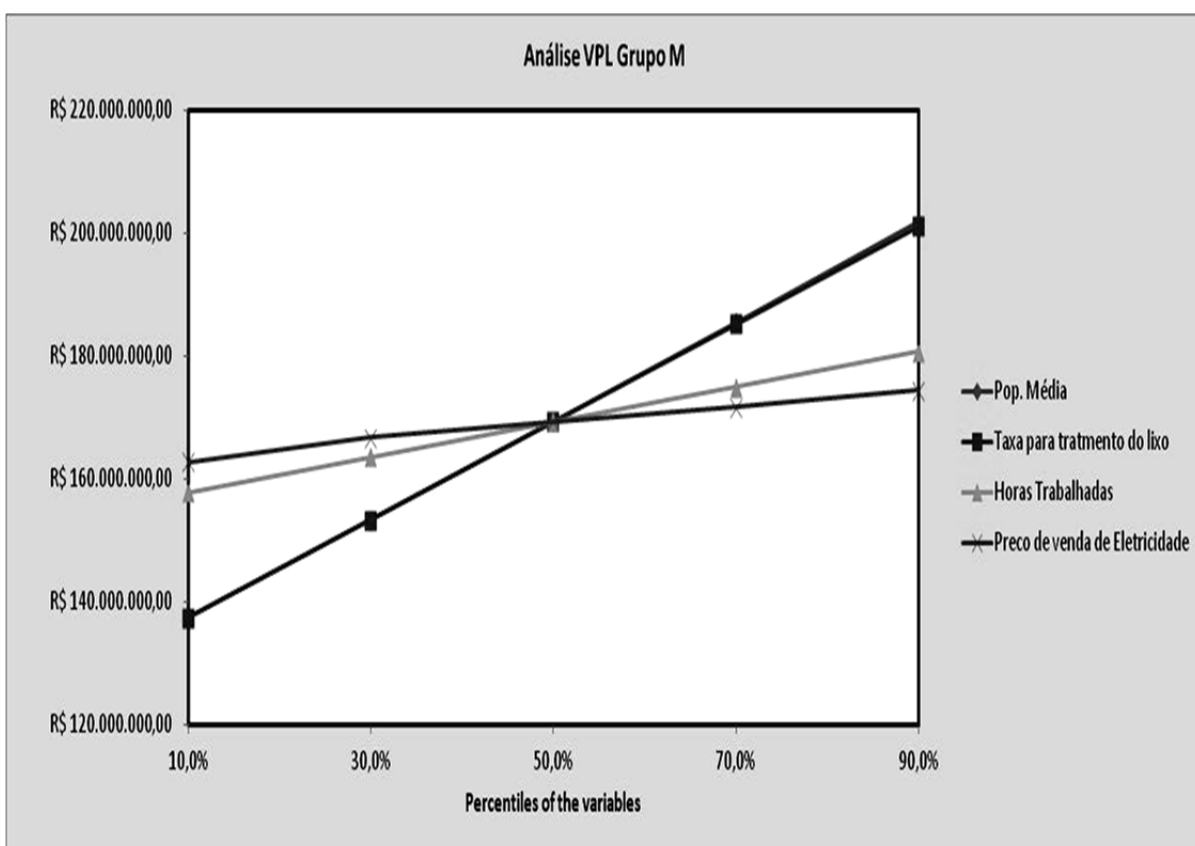
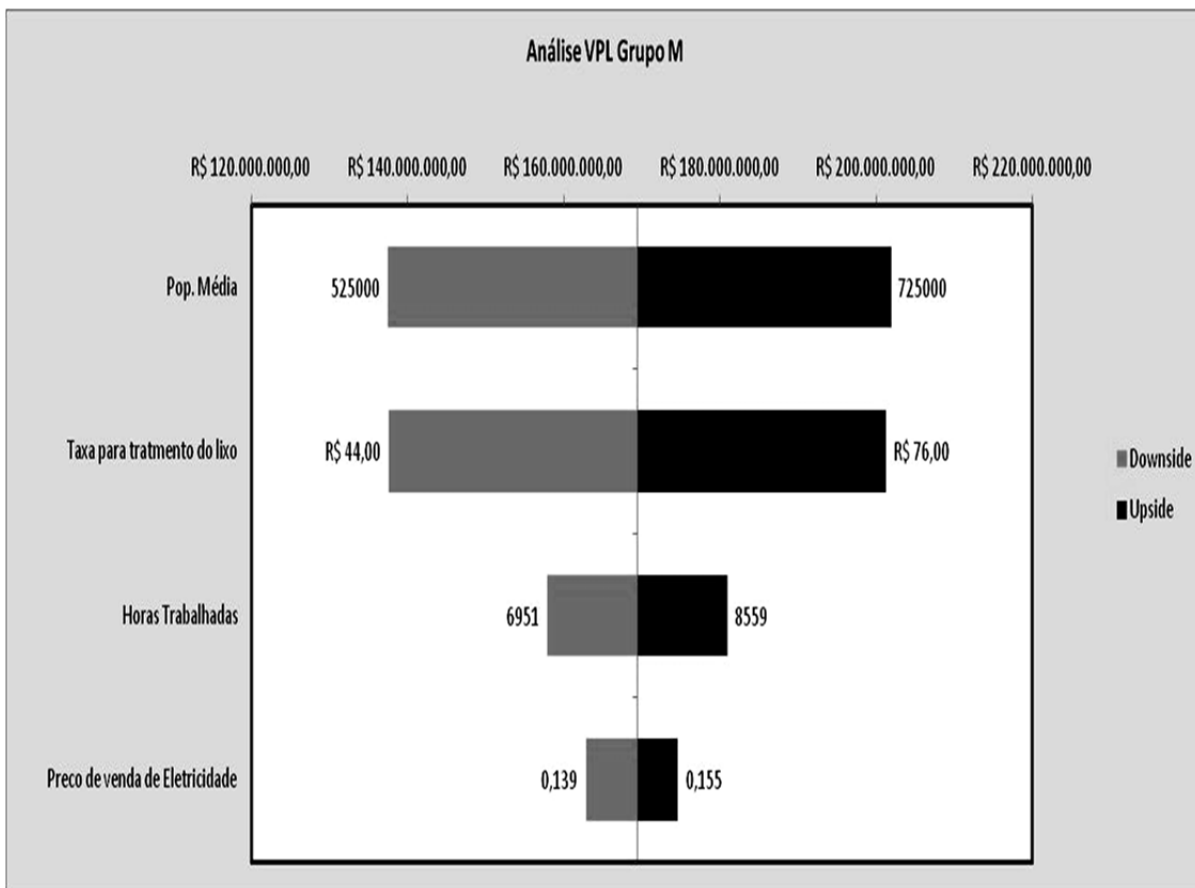
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 229.660.744,48

O intervalo inteiro de R\$ 85.815.013,30 a R\$ 272.934.430,99

O caso base é R\$ 158.364.315,63

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 338.708,38





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

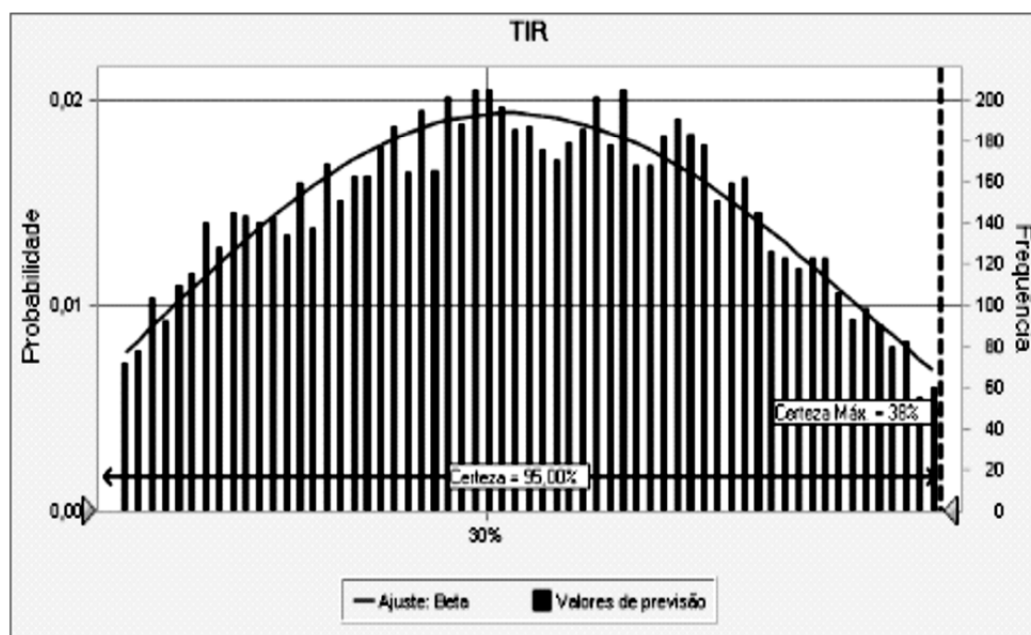
O nível de certeza é 95,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 38%

O intervalo inteiro de 19% a 43%

O caso base é 30%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo N

Planilha: [VPL_GRUPO_N_7,5%_20_anos.xlsx]GN

Previsão: Análise VPL Grupo N

Célula: I

Resumo:

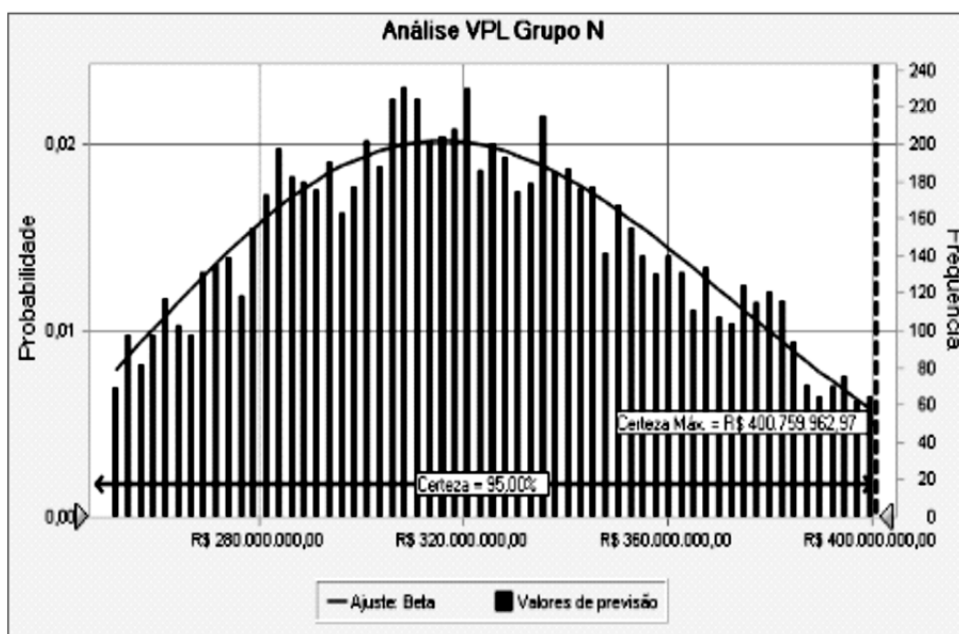
O nível de certeza é 95,00%

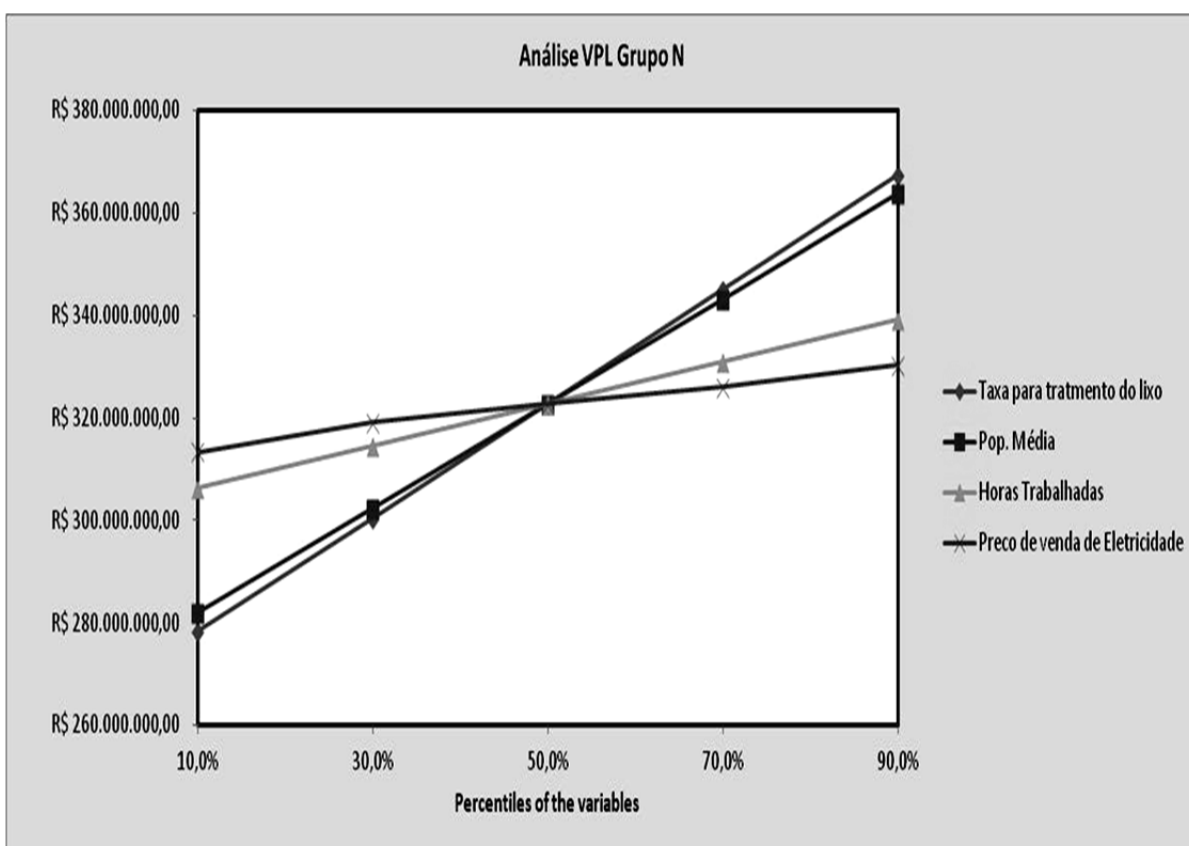
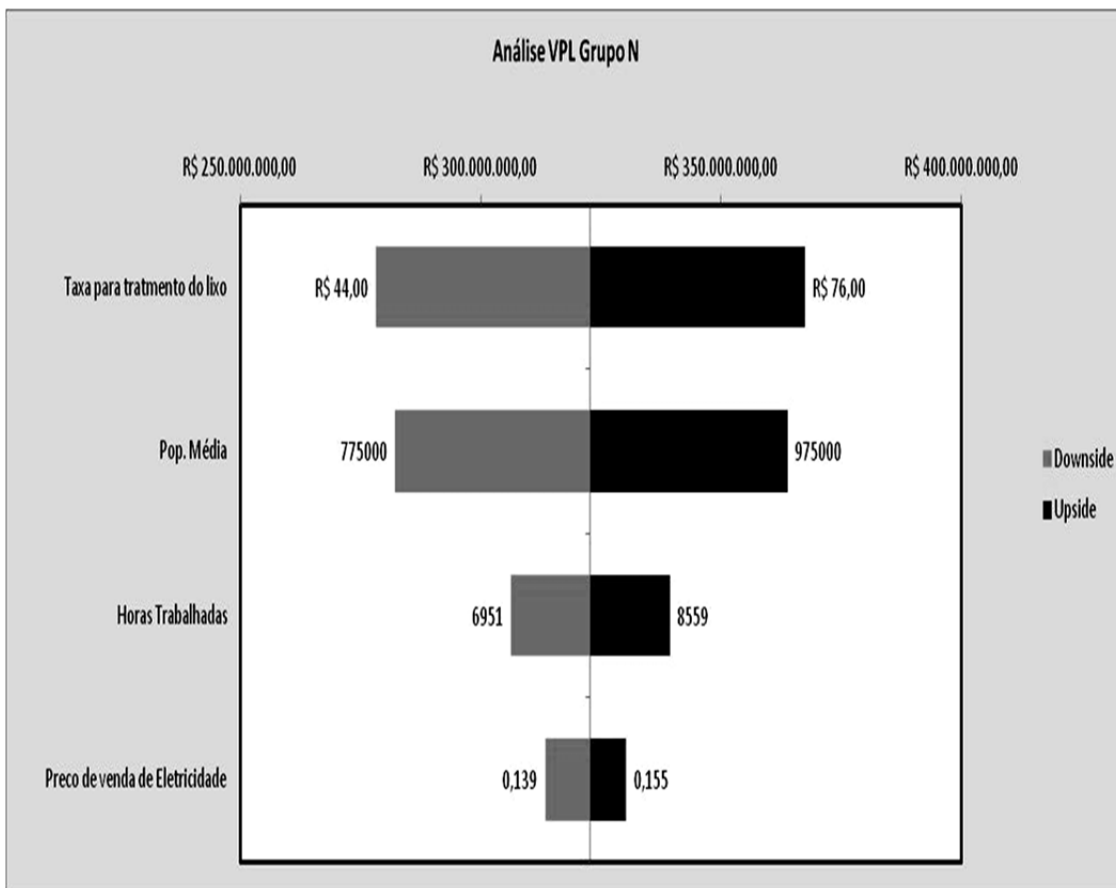
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 400.759.962,97

O intervalo inteiro de R\$ 205.029.361,59 a R\$ 462.551.548,96

O caso base é R\$ 307.234.528,55

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 453.986,69



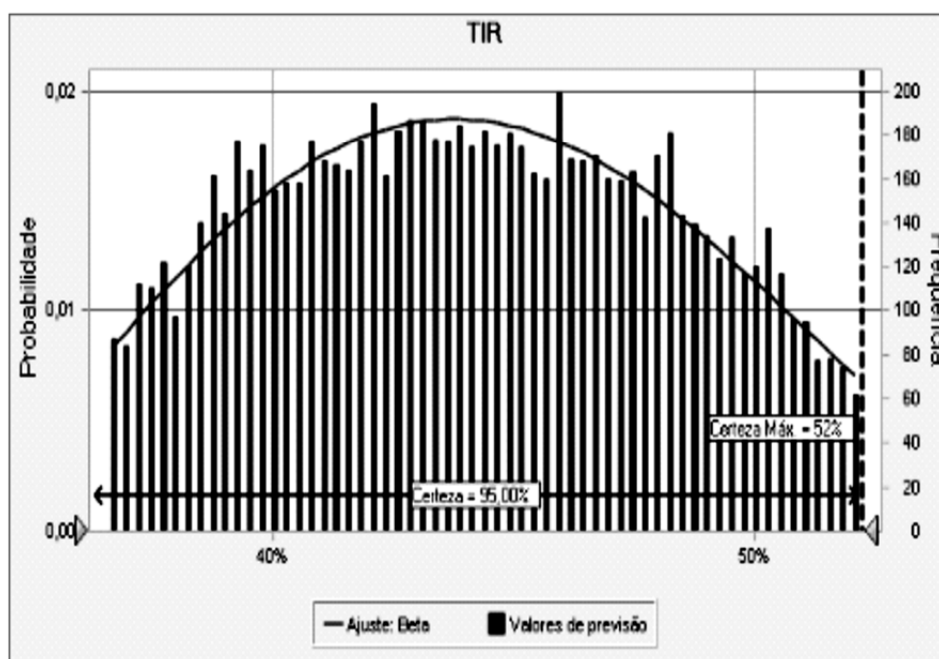


Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

- O nível de certeza é 95,00%
- O intervalo de certeza é de 0% a 52%
- O intervalo inteiro de 31% a 58%
- O caso base é 43%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo O

Planilha: [VPL_GRUPO_O_7,5%_20_anos.xlsx]GO

Previsão: Análise VPL Grupo O

Resumo:

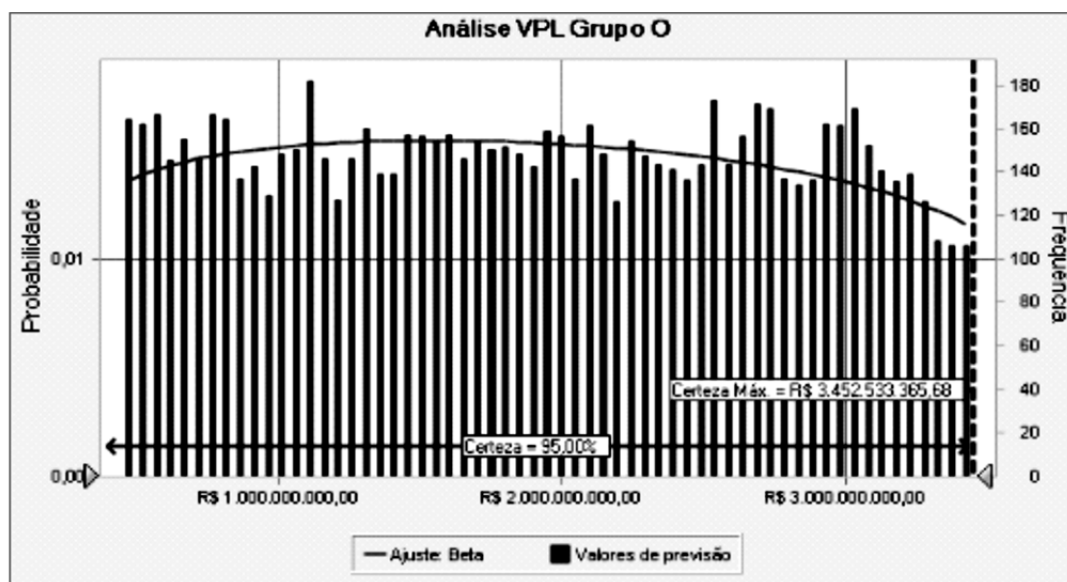
O nível de certeza é 95,00%

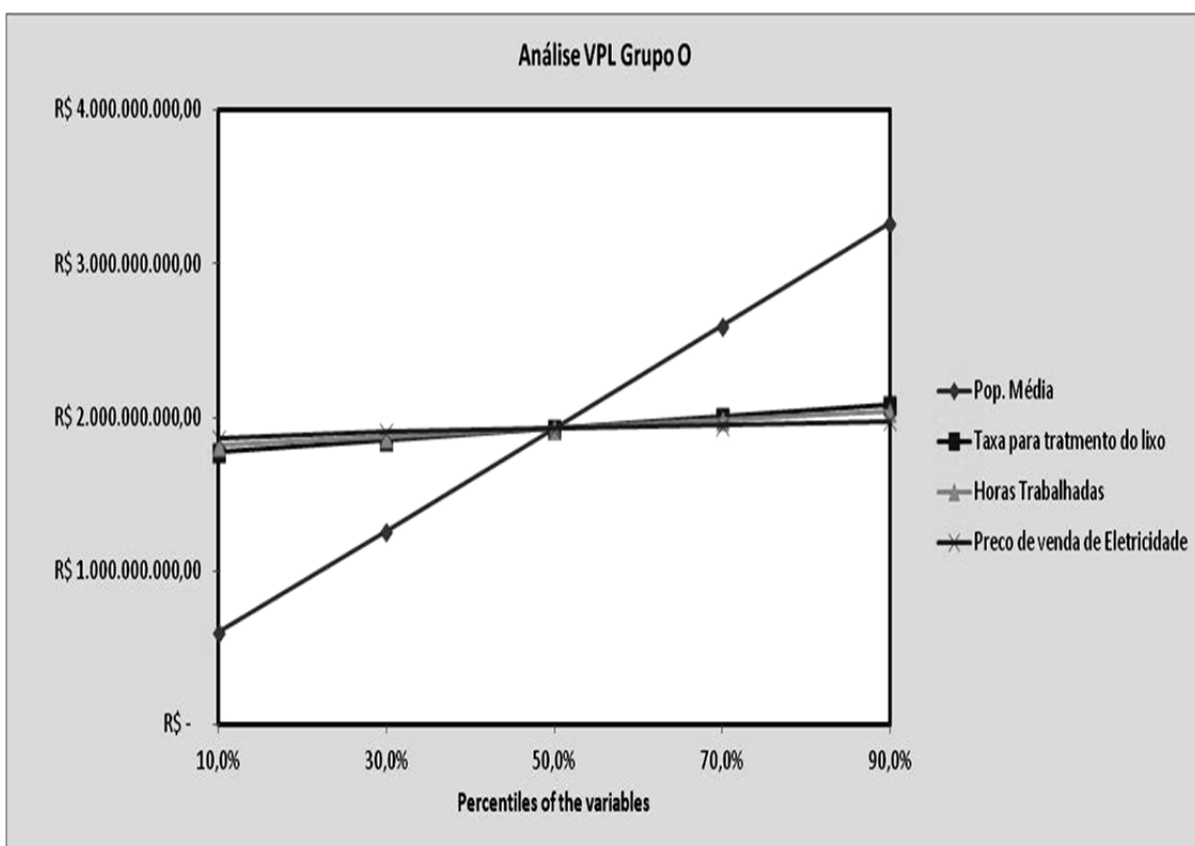
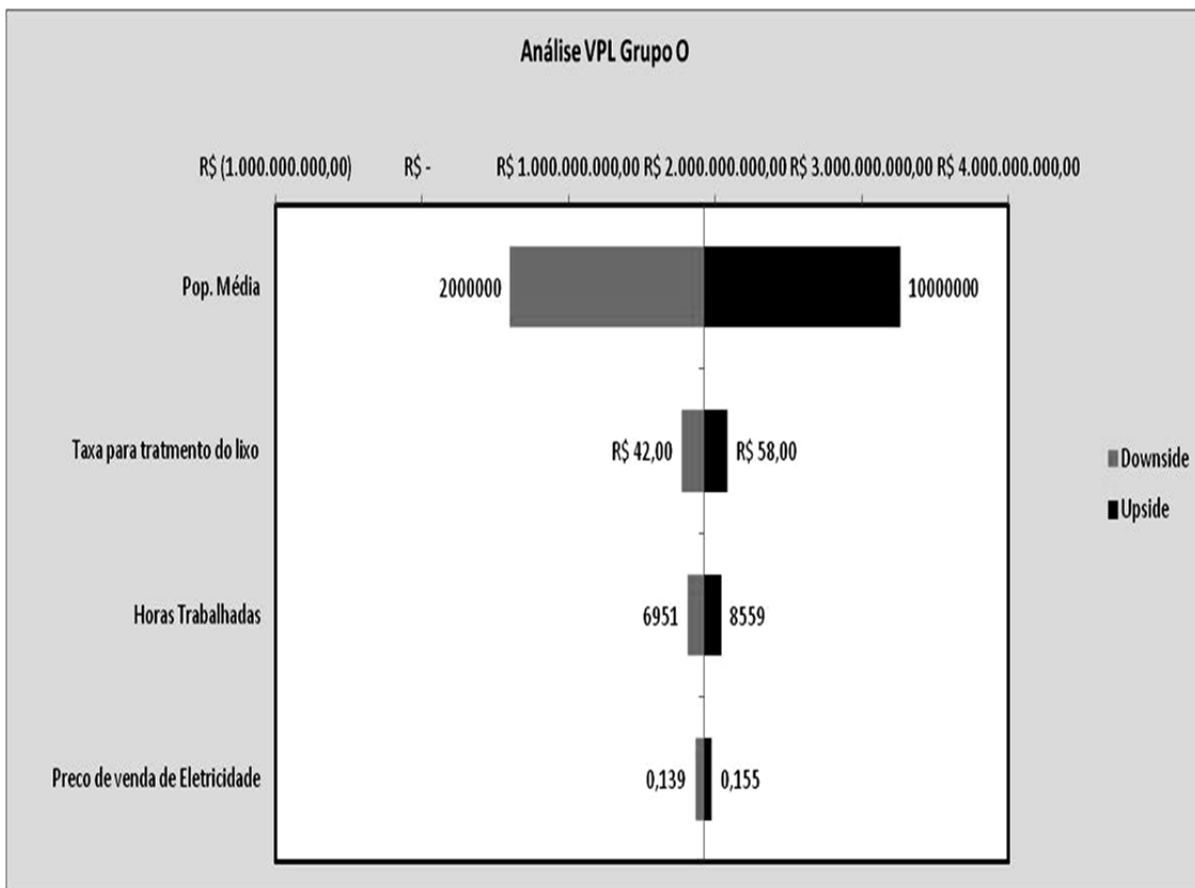
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 3.452.533.365,68

O intervalo inteiro de R\$ 234.747.941,43 a R\$ 4.127.600.458,77

O caso base é R\$ 897.446.210,98

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 9.686.754,45





Previsão: TIR

Resumo:

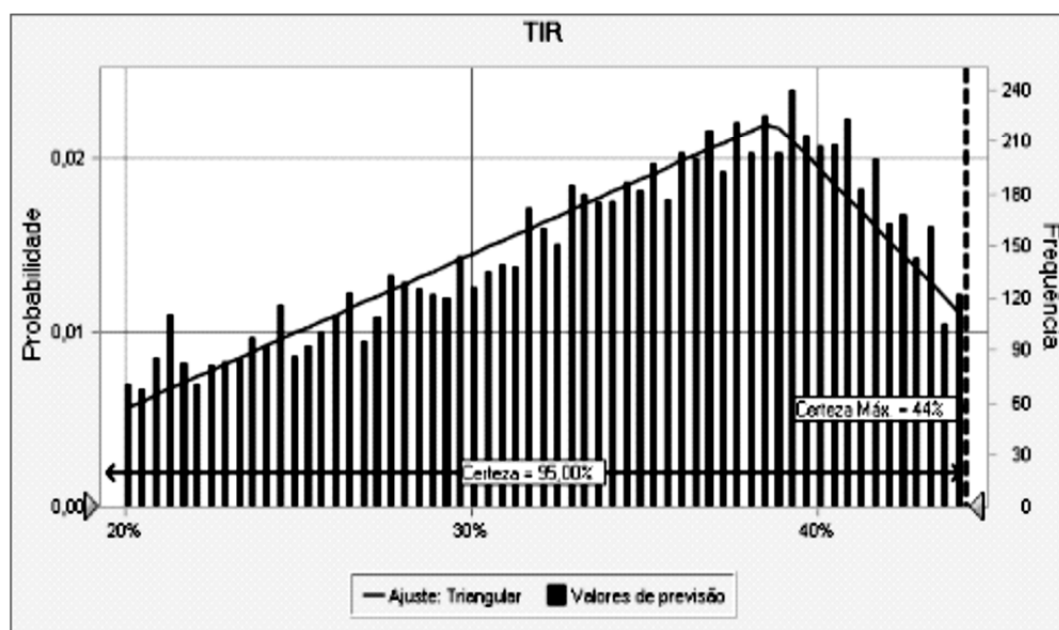
O nível de certeza é 95,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 44%

O intervalo inteiro de 14% a 49%

O caso base é 28%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



APÊNDICE C – Análise da VPL e TIR para o cenário 3 para todos os grupos populacionais avaliados

Análise do Grupo A

Planilha : [VPL_lixo_GRUPO_A_15%_20_anos.xlsx]GA

Previsão o: ANÁLISE VPL GRUPO A

Célula : I

Resumo:

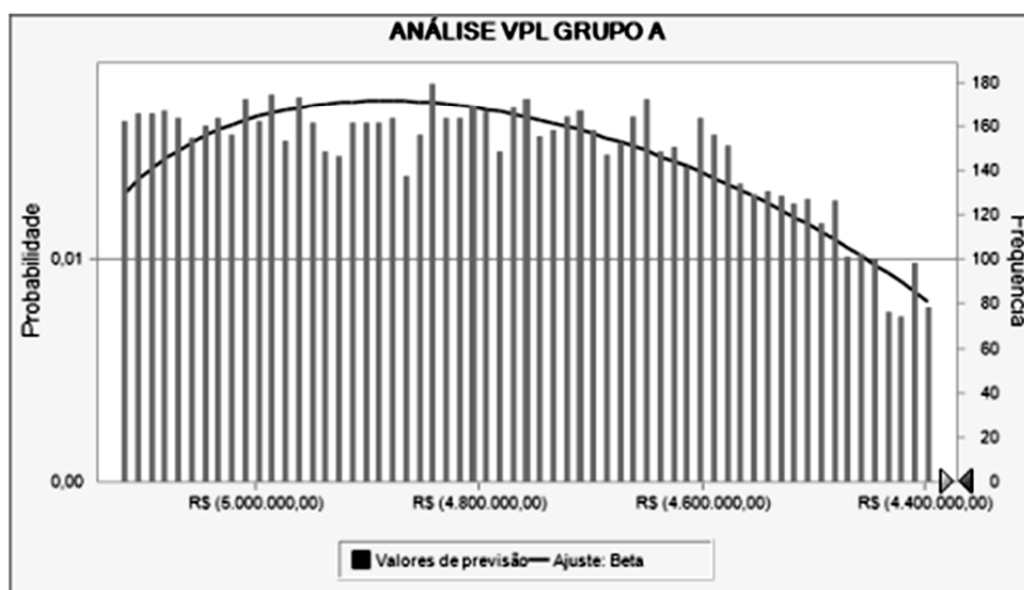
O nível de certeza é 0,00%

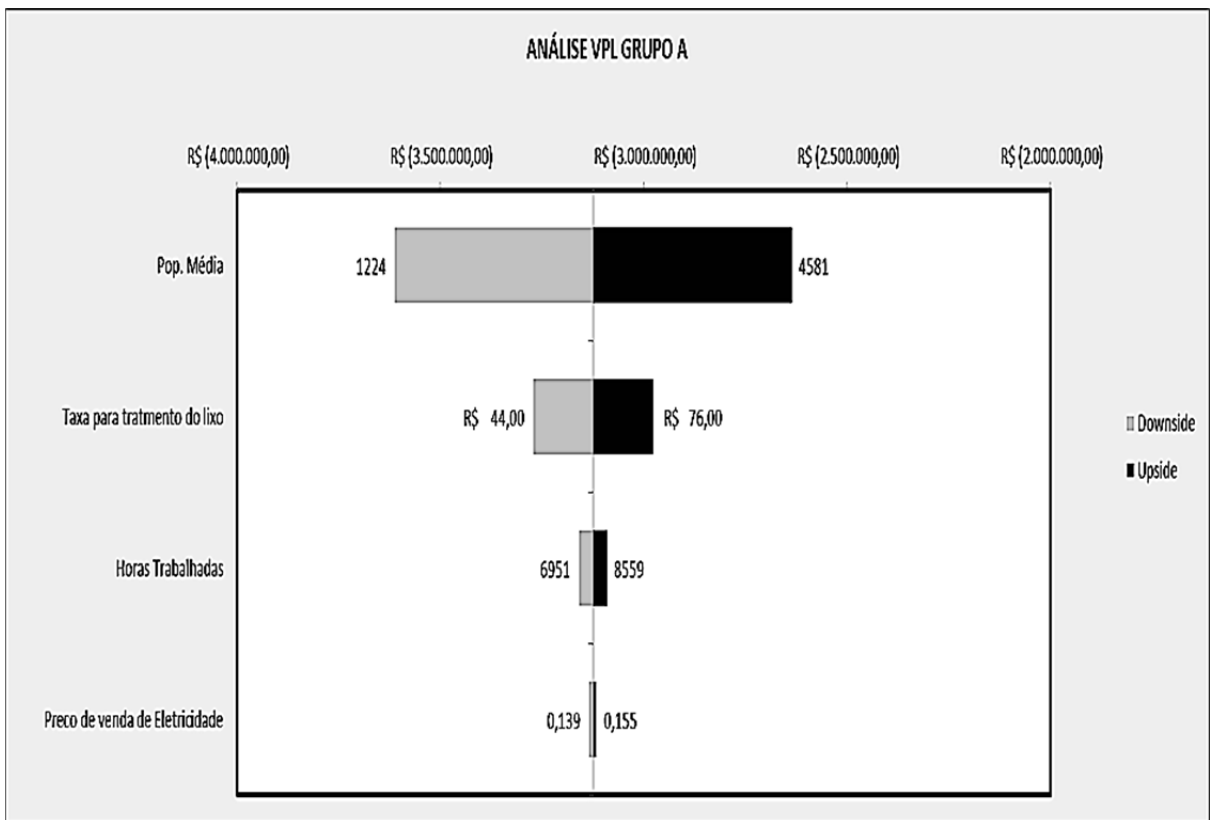
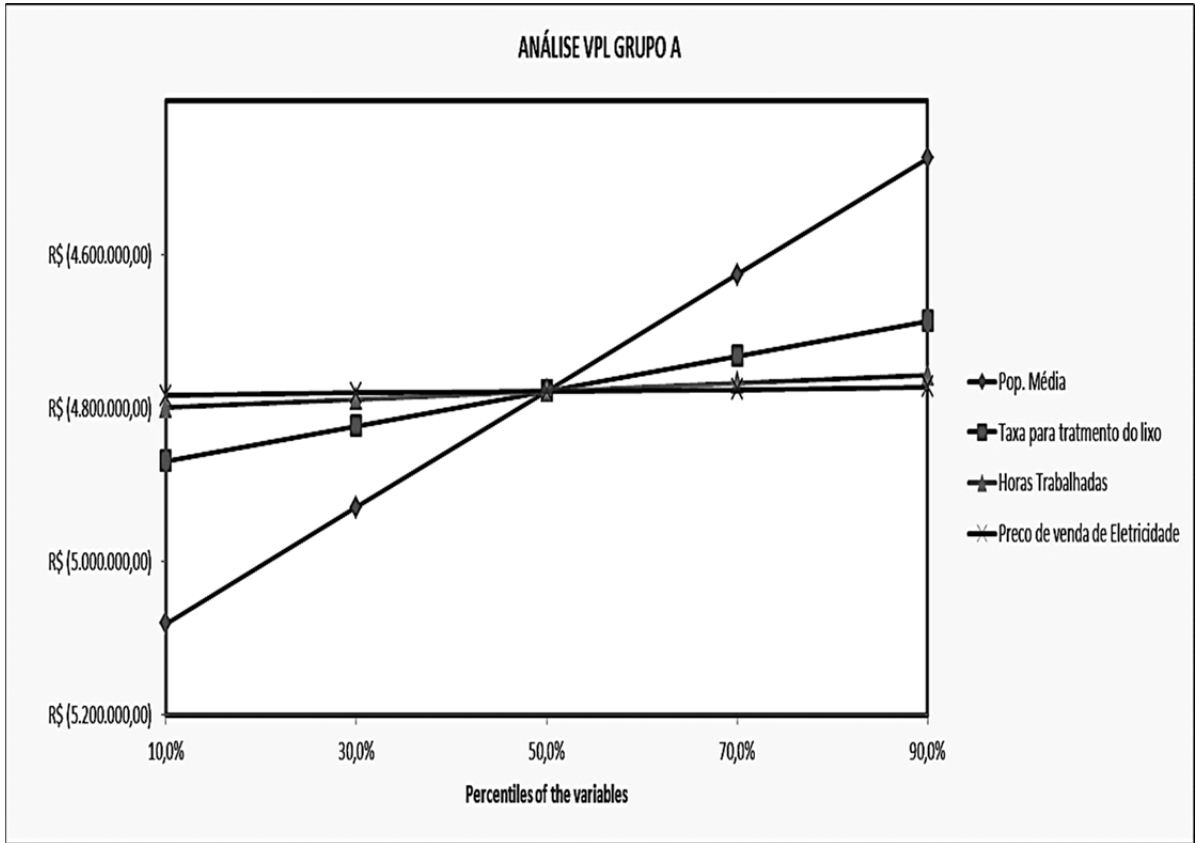
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a +Infinito

O intervalo inteiro de R\$ (5.187.368,33) a R\$ (4.171.852,43)

O caso base é R\$ (4.700.719,48)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 2.312,44





Análise do Grupo B

Planilha : [VPL_GRUPO_B_15%_20_Anos.xlsx]GB

Previsão: Análise VPL Grupo B

Célula : I

Resumo:

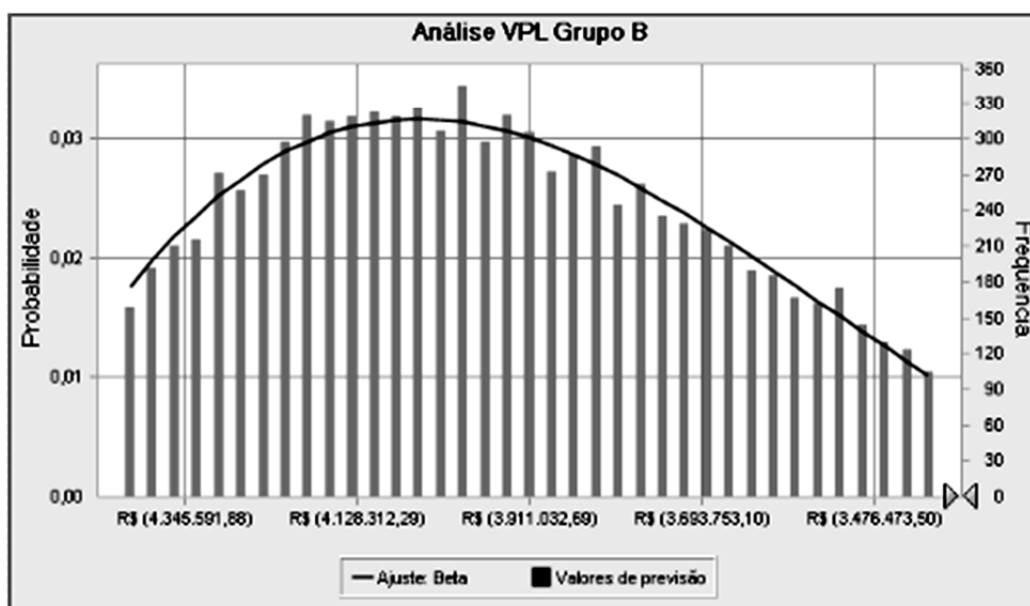
O nível de certeza é 0,00%

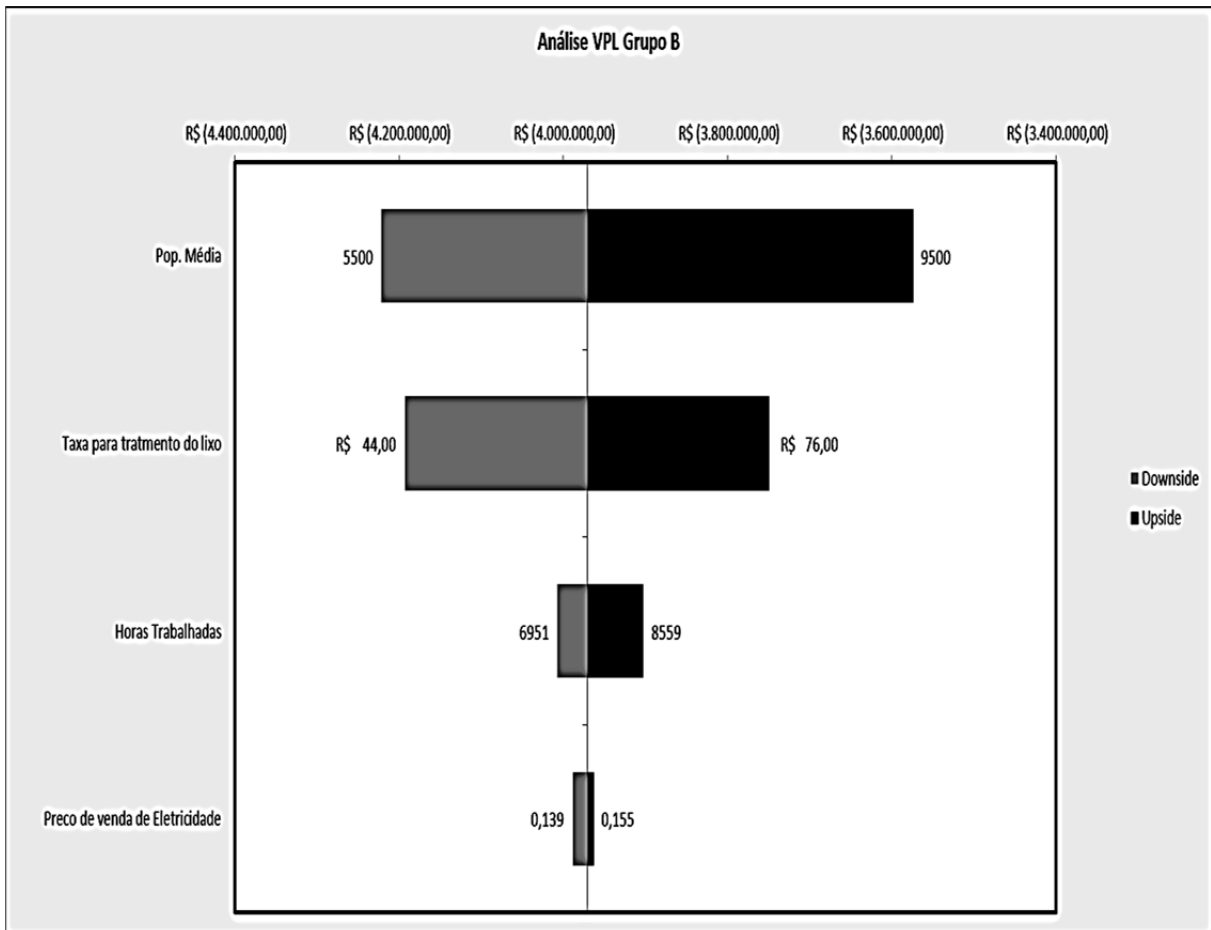
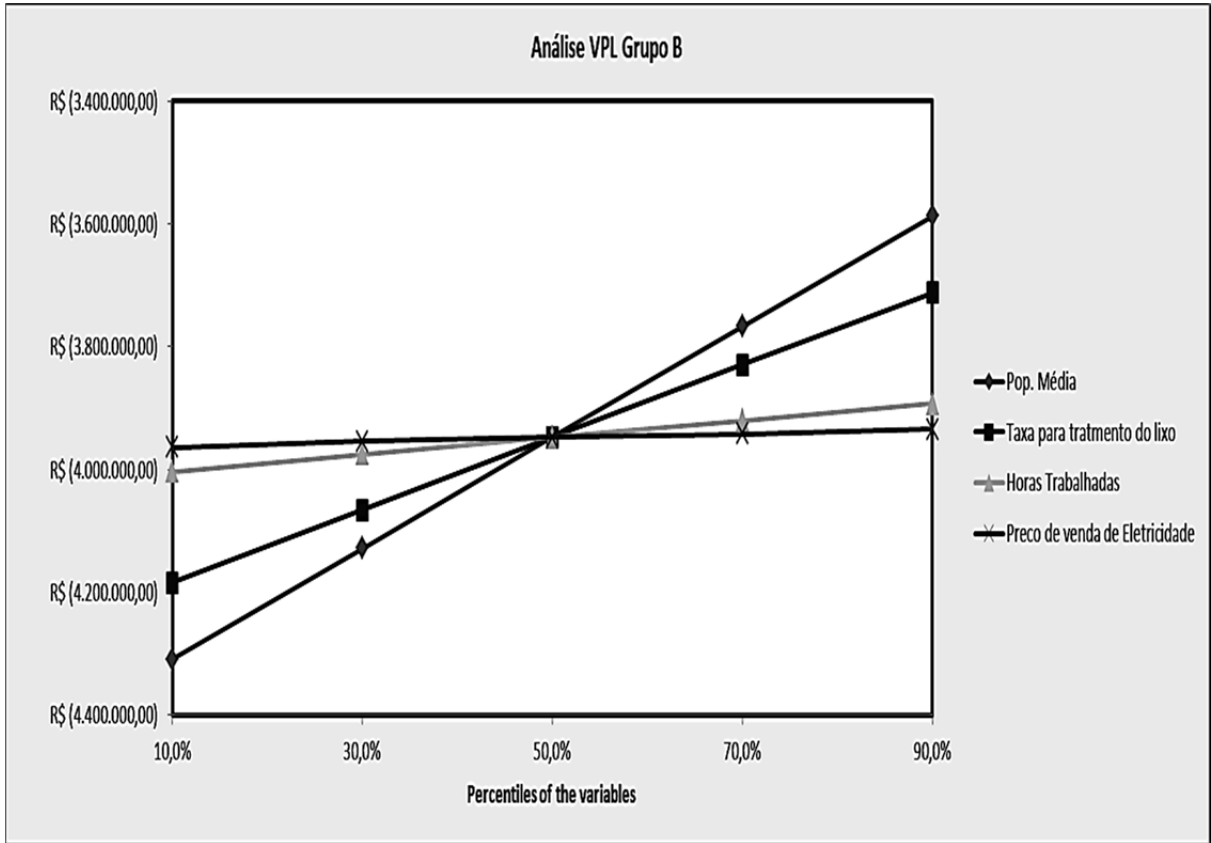
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 520.056,01

O intervalo inteiro de R\$ (4.621.487,78) a R\$ (3.045.517,59)

O caso base é R\$ (4.042.528,52)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 3.160,15





Análise do Grupo C

Planilha: [VPL_GRUPO_C_15%_20_Anos.xlsx]GC

Previsão: Análise VPL Grupo C

Célula: I

Resumo:

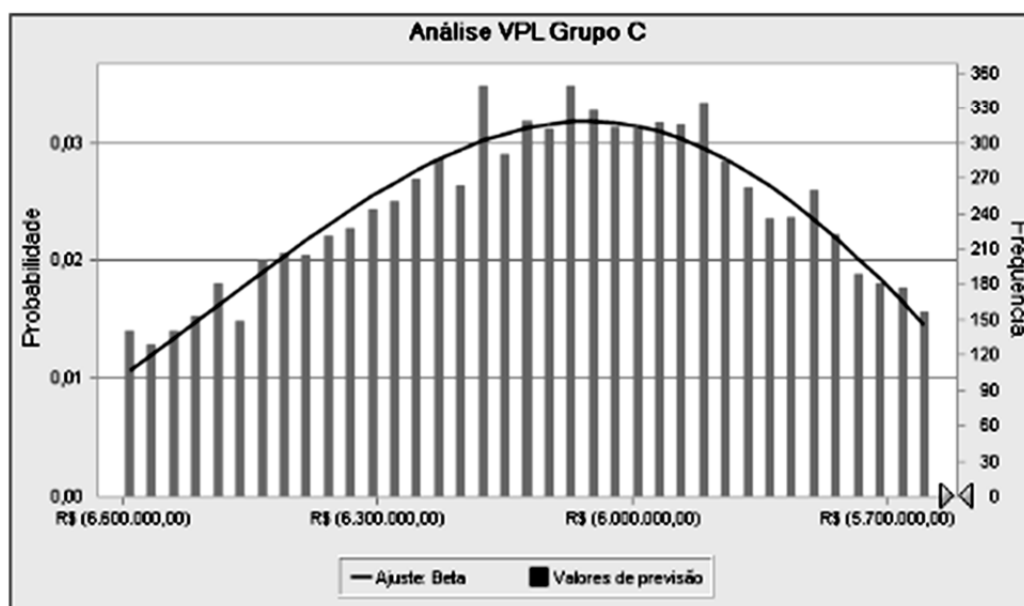
O nível de certeza é 0,00%

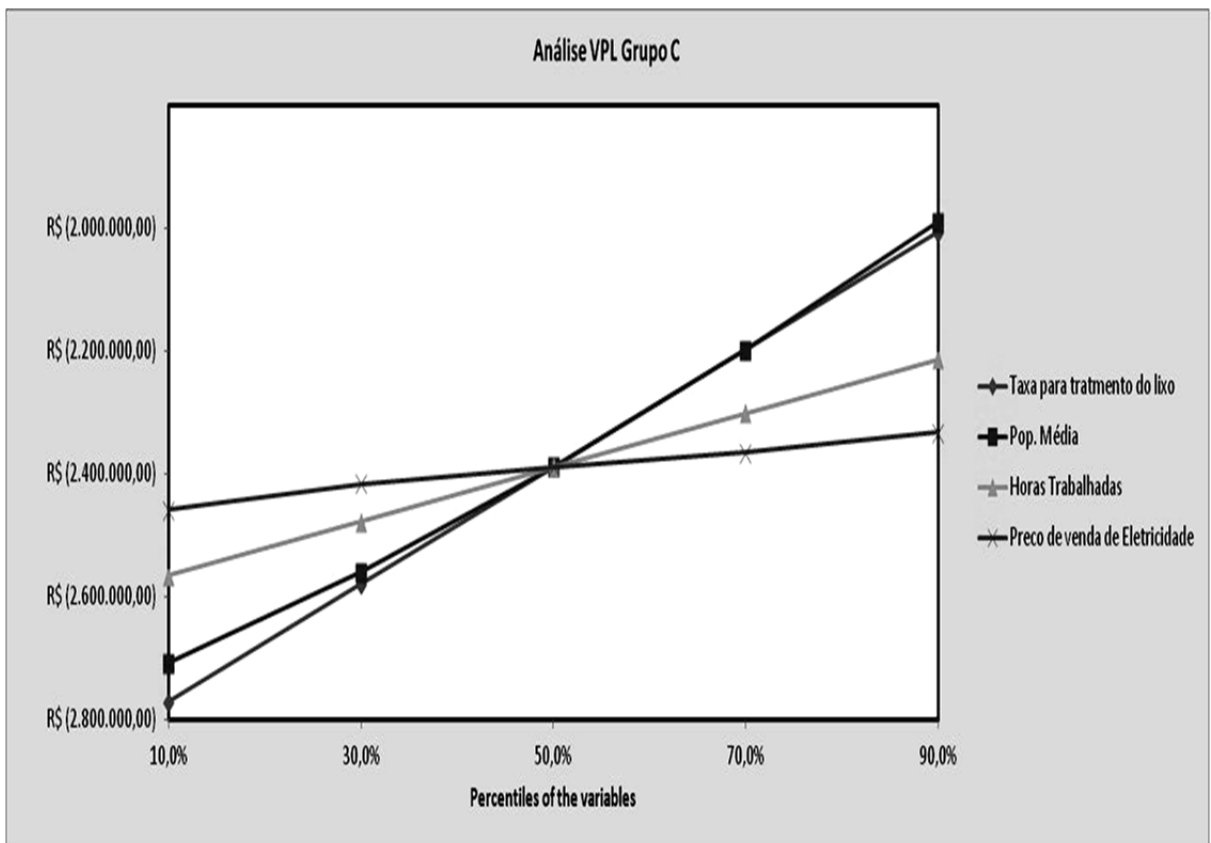
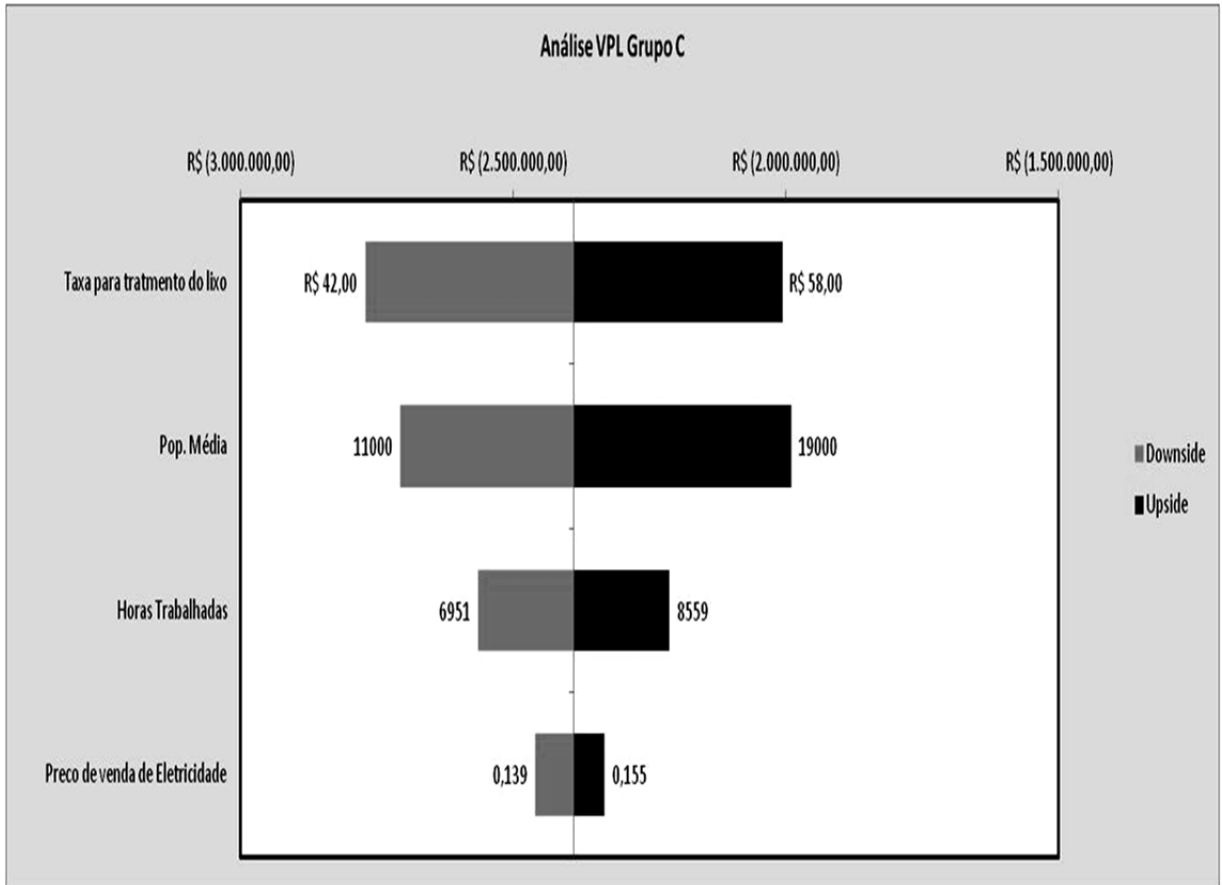
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 1.129.477,49

O intervalo inteiro de R\$ (6.924.746,60) a R\$ (5.371.656,73)

O caso base é R\$ (5.800.810,97)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 2.951,36





Análise do Grupo D

Planilha: [VPL_GRUPO_D_15%_20_anos.xlsx]GD

Previsão: Análise VPL Grupo D

Célula: I

Resumo:

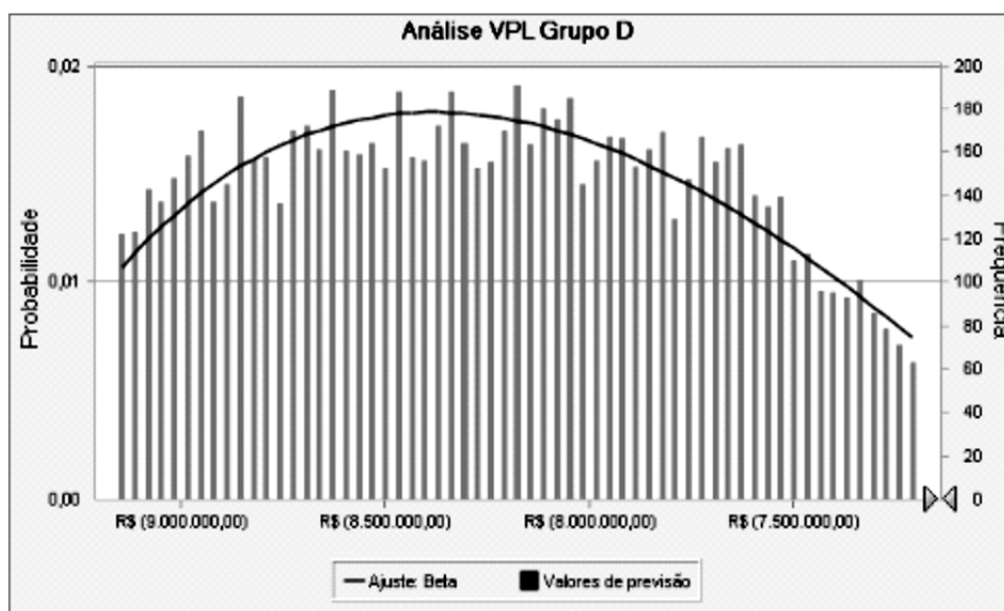
O nível de certeza é 0,00%

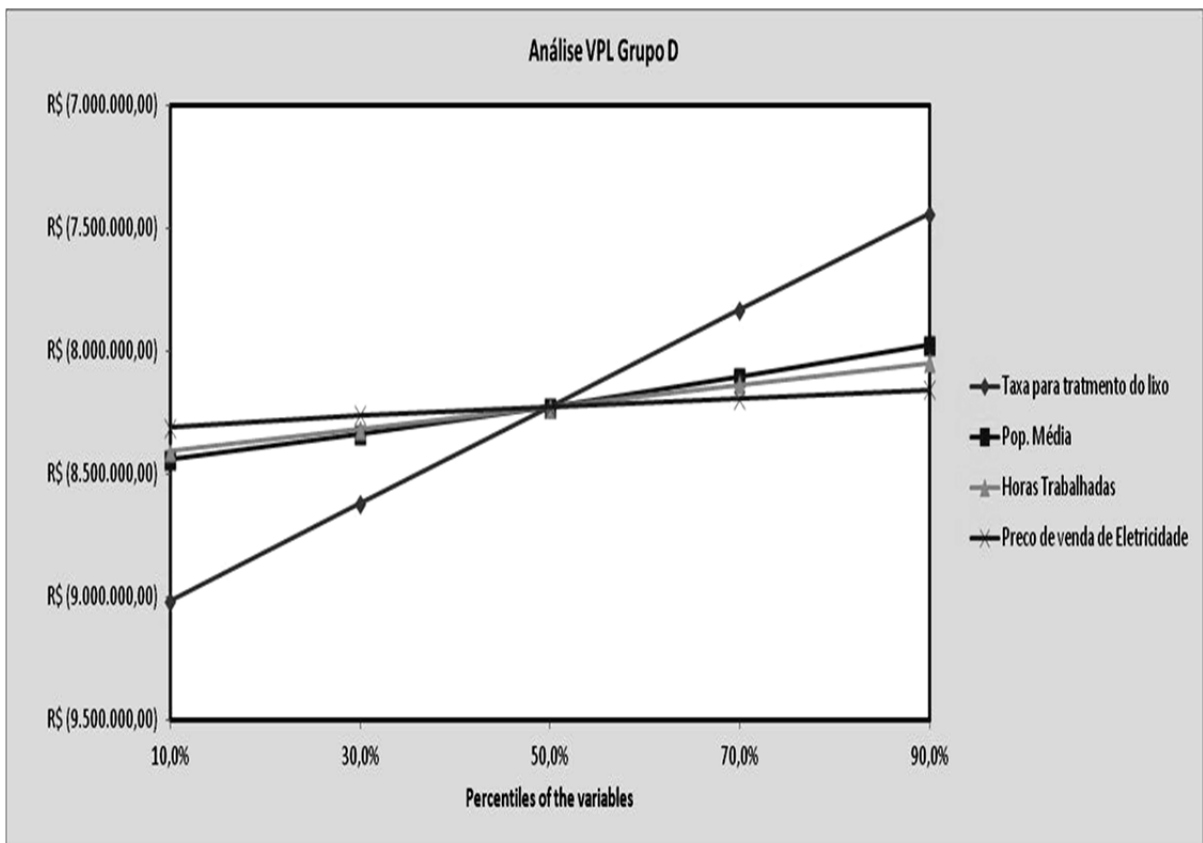
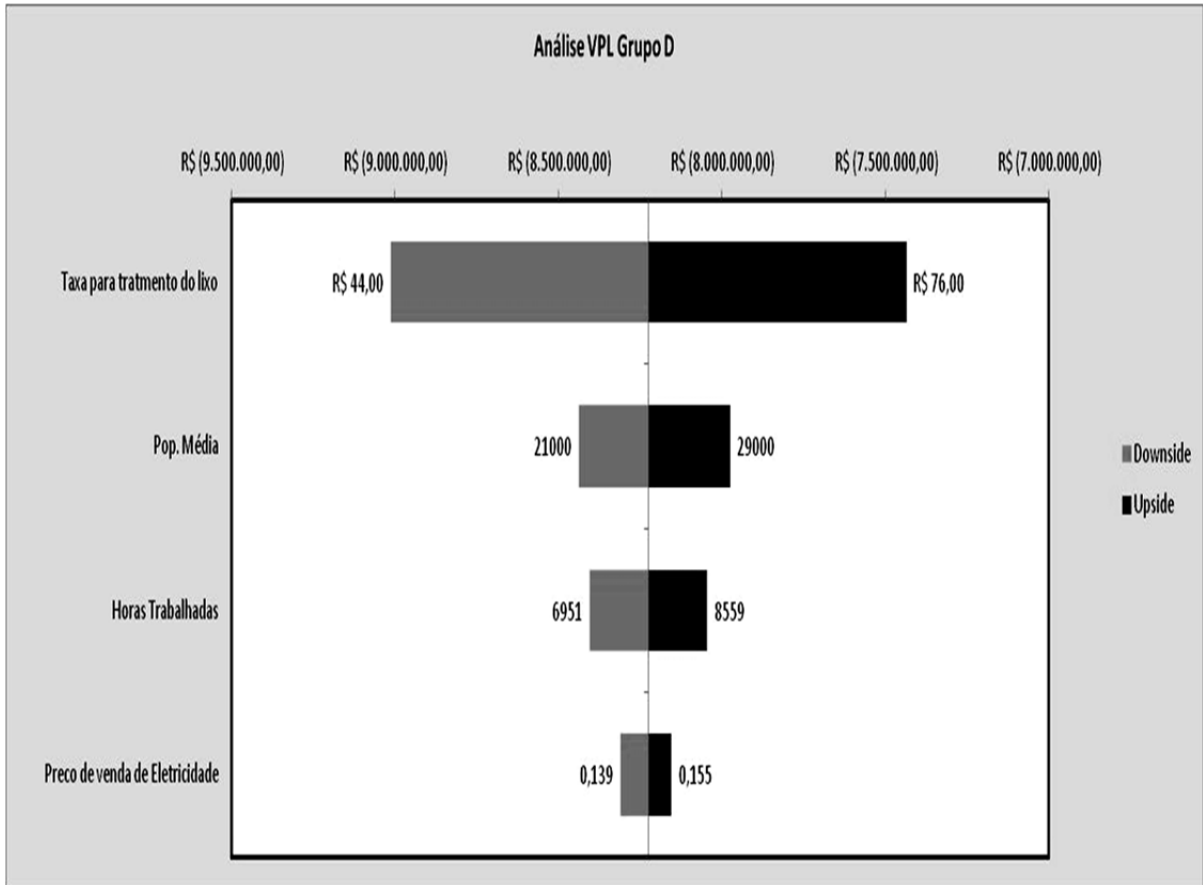
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 308.322,05

O intervalo inteiro de R\$ (9.466.340,90) a R\$ (6.486.270,15)

O caso base é R\$ (8.311.067,60)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 6.151,60





Análise do Grupo E

Planilha: [VPL_GRUPO_E_15%_20_anos.xlsx]GE

Previsão: Análise VPL Grupo E

Célula: I

Resumo:

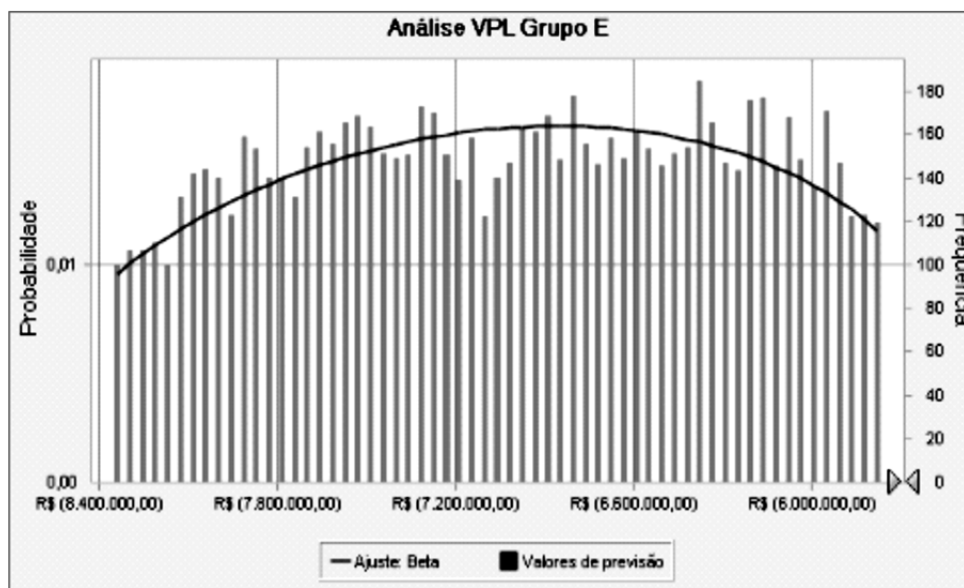
O nível de certeza é 0,00%

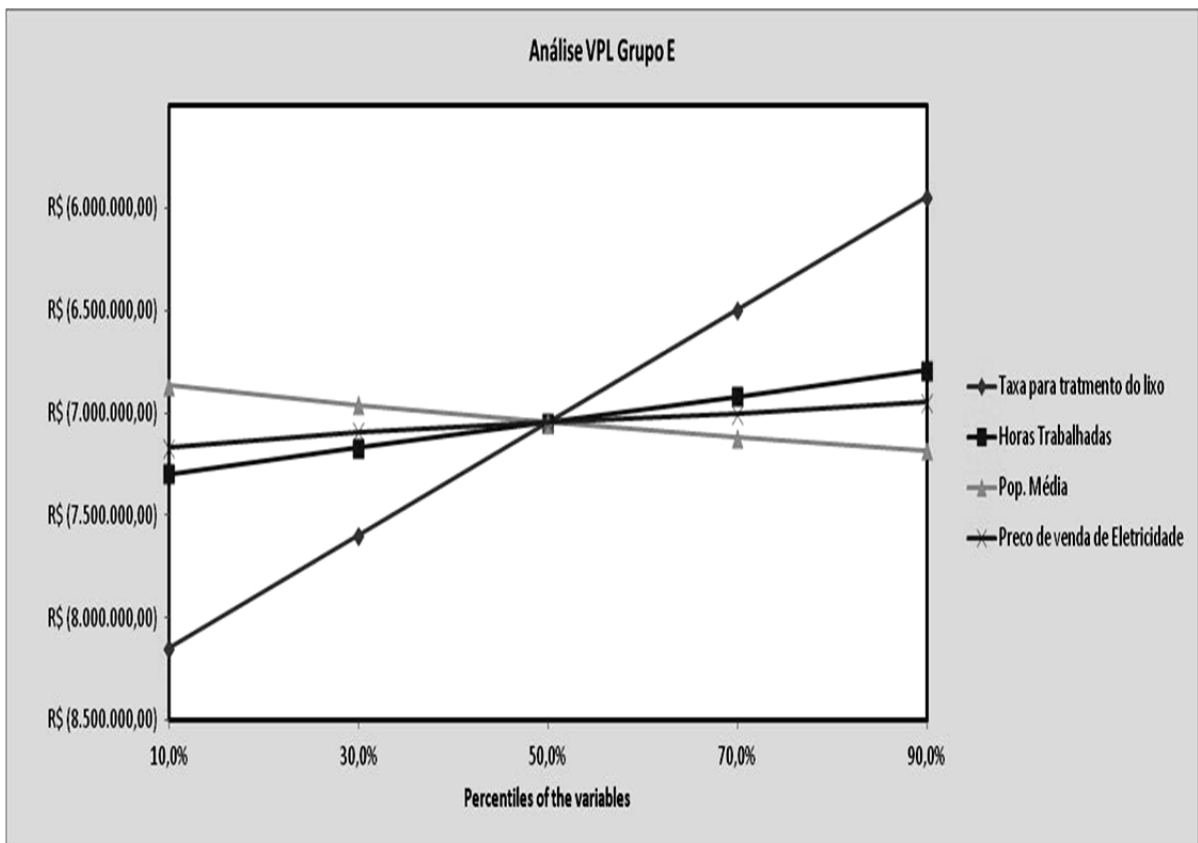
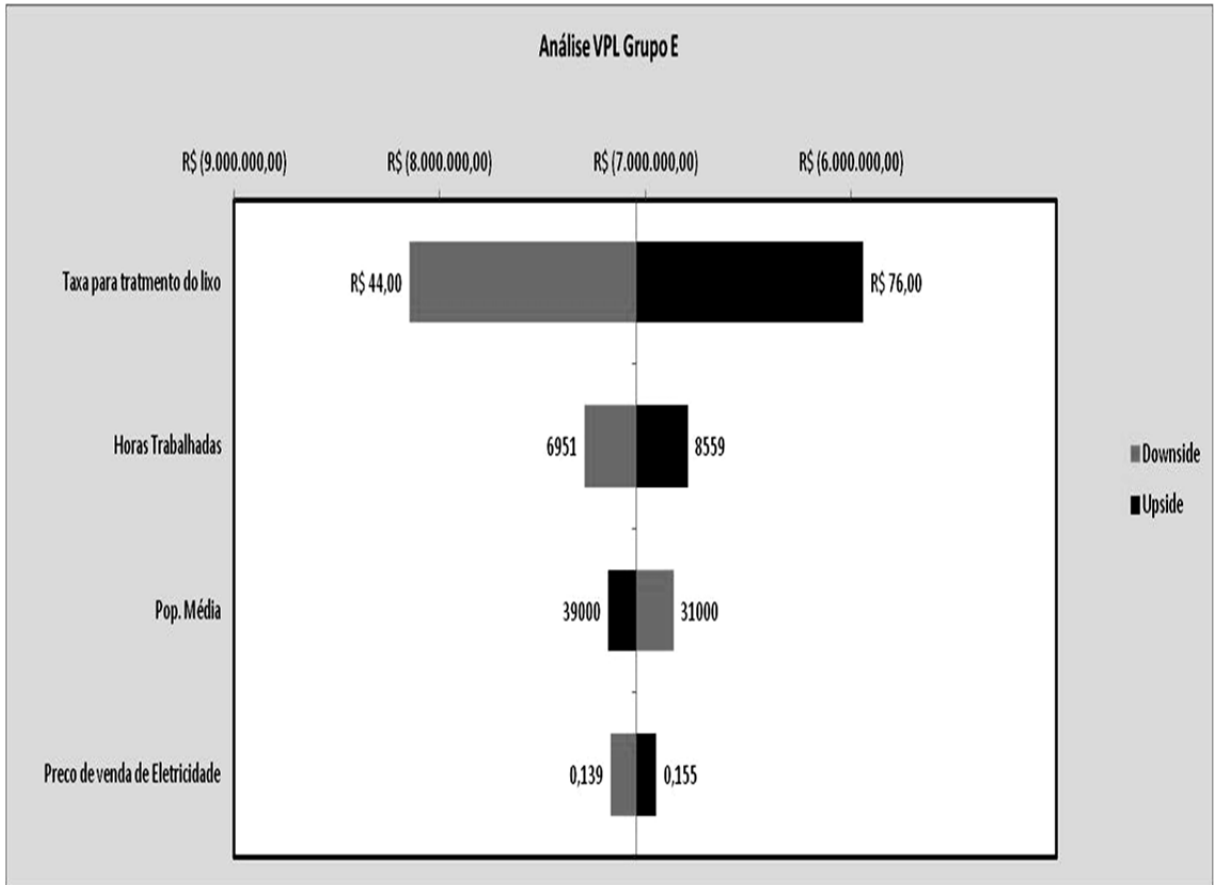
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 3.194.042,35

O intervalo inteiro de R\$ (9.040.998,46) a R\$ (5.224.374,24)

O caso base é R\$ (7.063.244,42)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 8.314,54





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

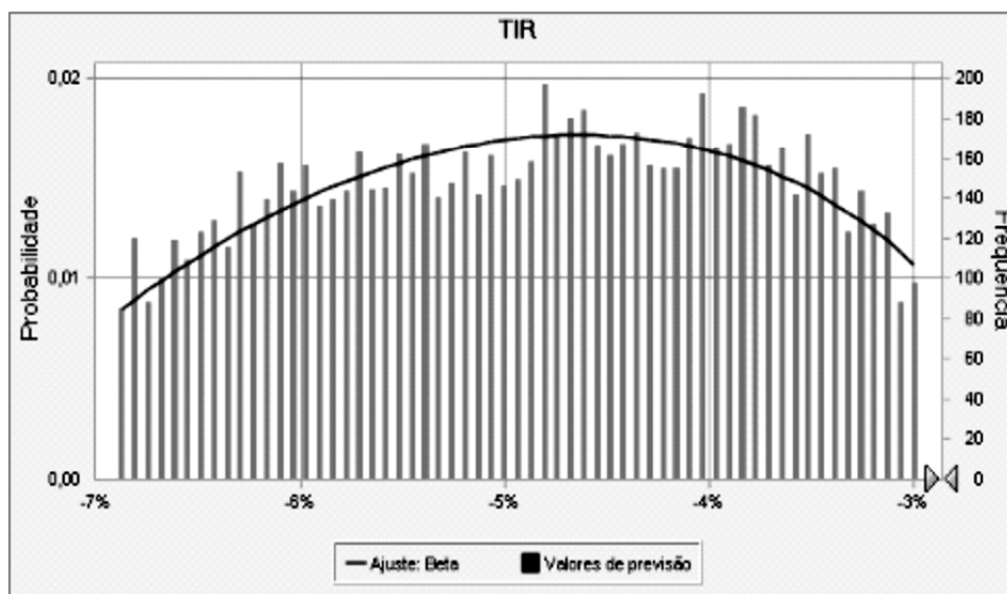
O nível de certeza é 0,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 2%

O intervalo inteiro de -8% a -2%

O caso base é -5%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo F

Planilha: [VPL_GRUPO_F_15%_20_anos.xlsx]GF

Previsão: Análise VPL Grupo F

Célula: I

Resumo:

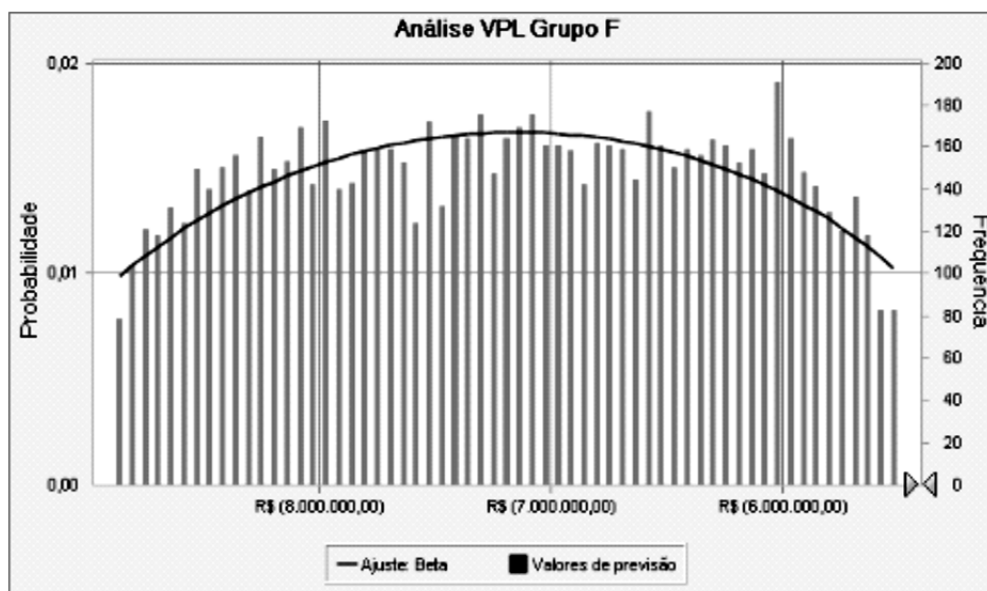
O nível de certeza é 0,00%

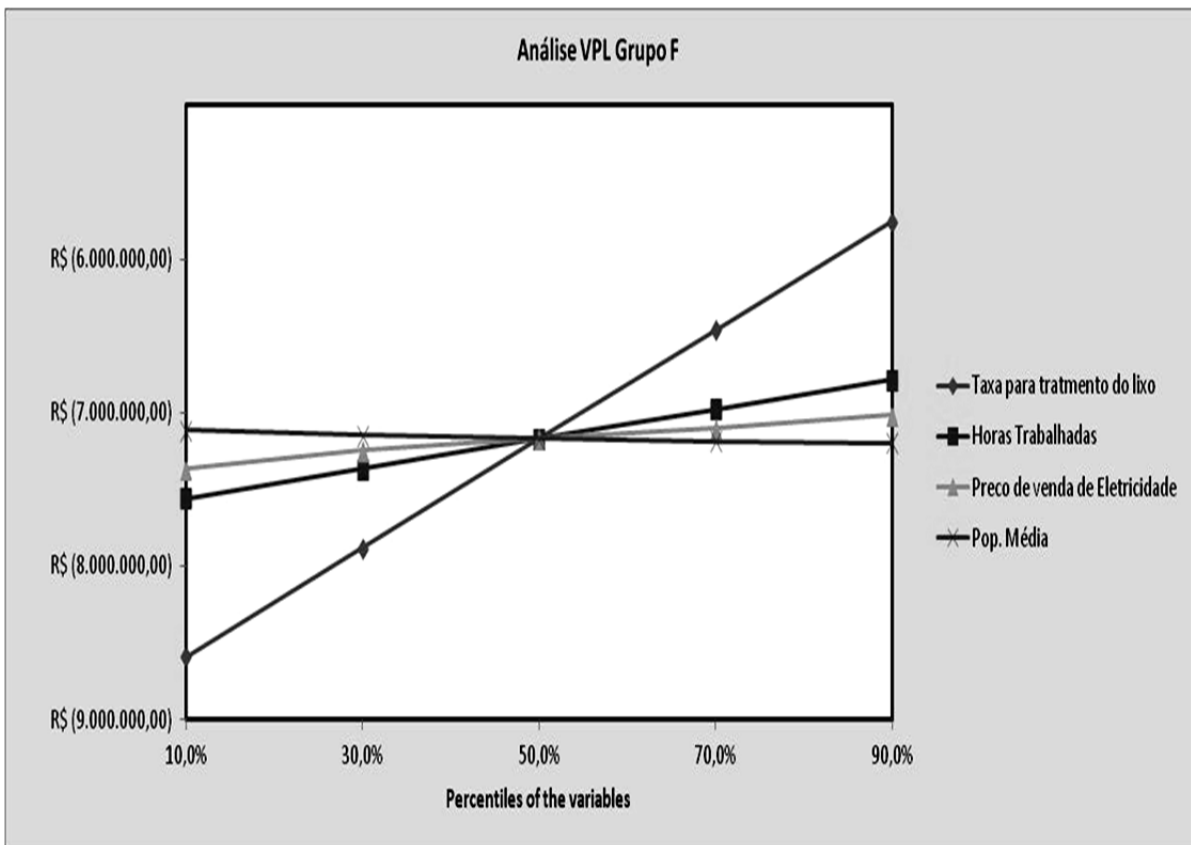
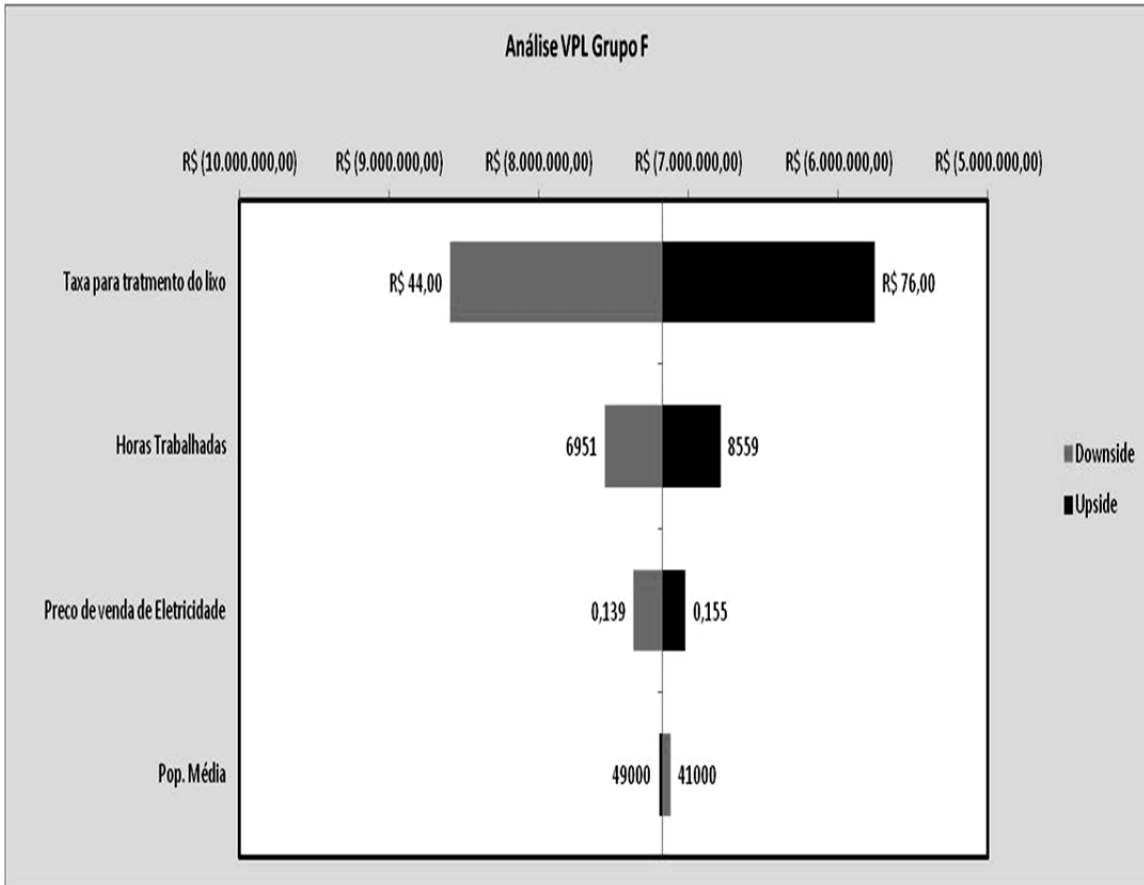
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 754.393,43

O intervalo inteiro de R\$ (9.956.680,99) a R\$ (4.643.183,65)

O caso base é R\$ (7.243.363,74)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 10.754,53





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

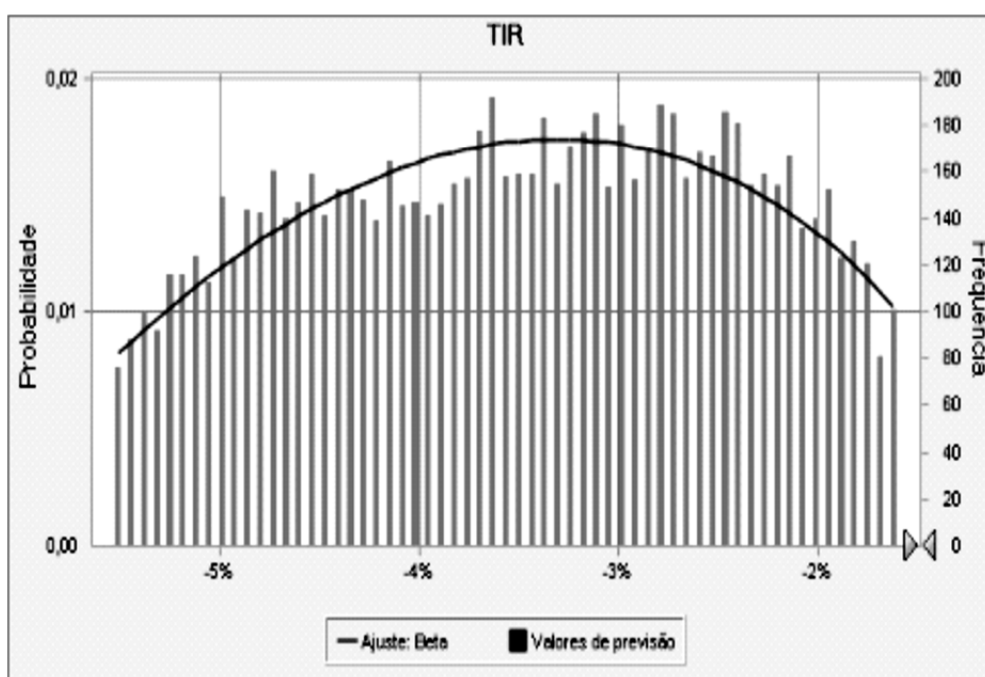
O nível de certeza é 0,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 3%

O intervalo inteiro de -7% a -1%

O caso base é -4%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo G

Planilha: [VPL_GRUPO_G_15%_20_anos.xlsx]GG

Previsão: Análise VPL Grupo G

Célula: I

Resumo:

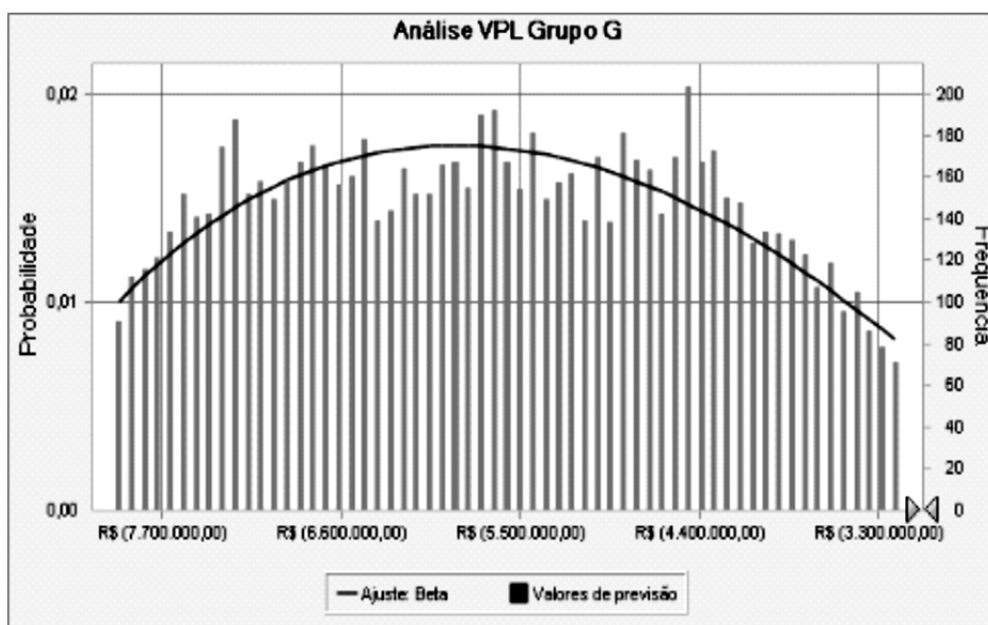
O nível de certeza é 0,00%

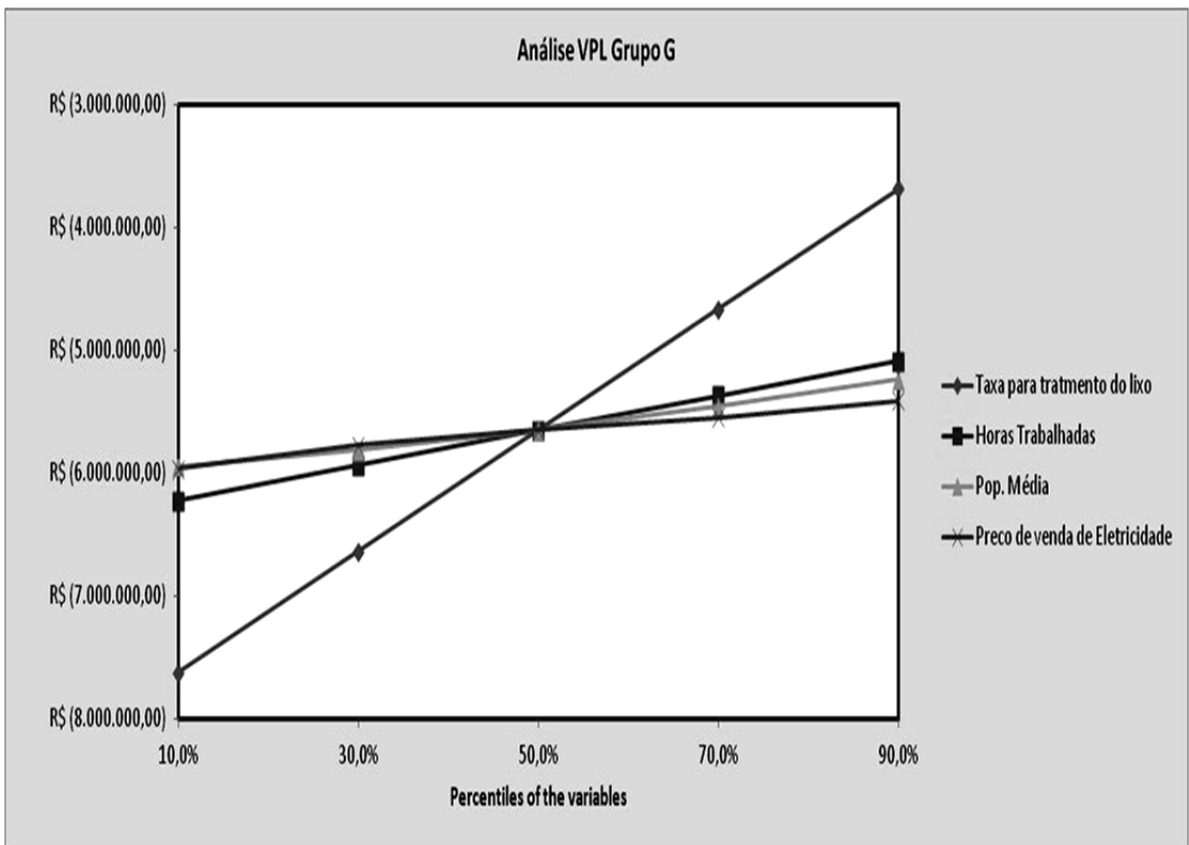
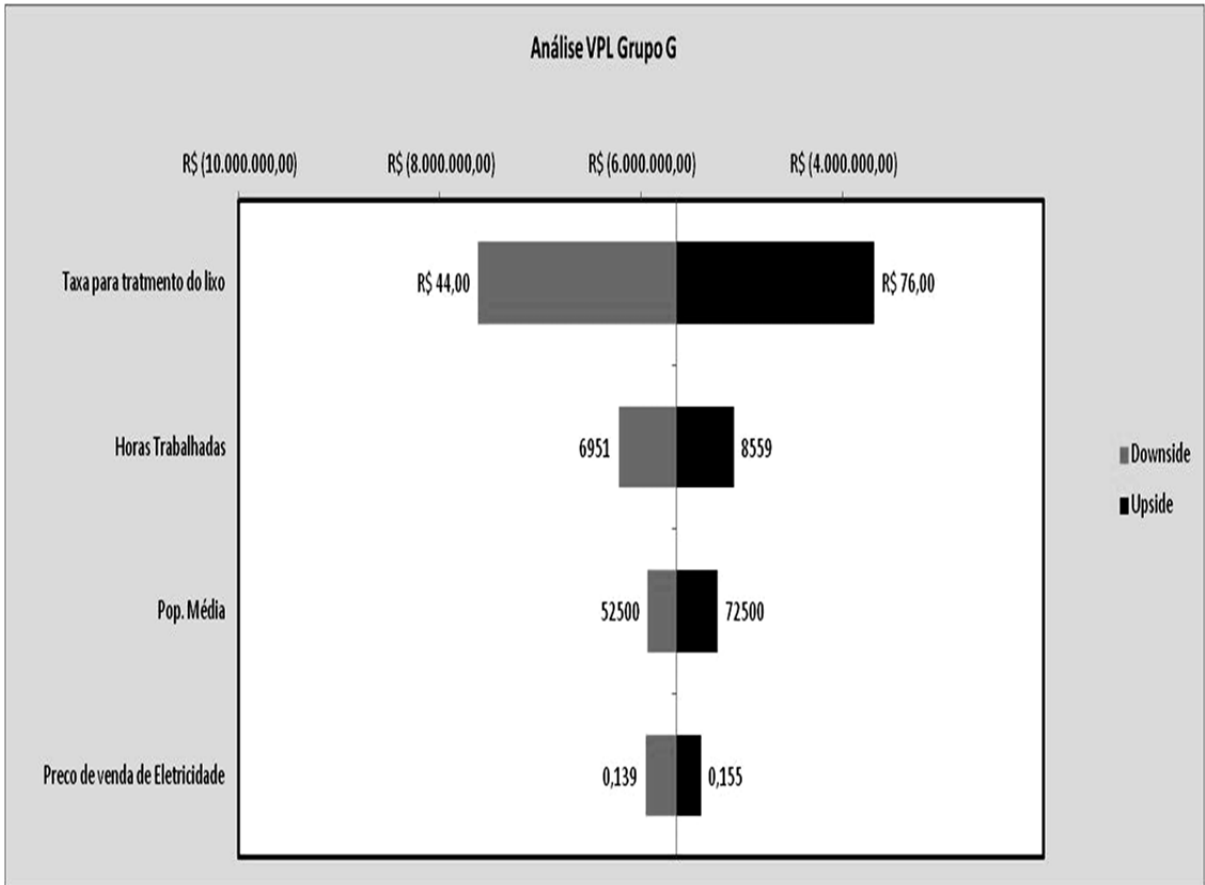
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 12.923.855,68

O intervalo inteiro de R\$ (9.199.946,35) a R\$ (1.357.186,19)

O caso base é R\$ (5.819.898,81)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 15.232,31





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

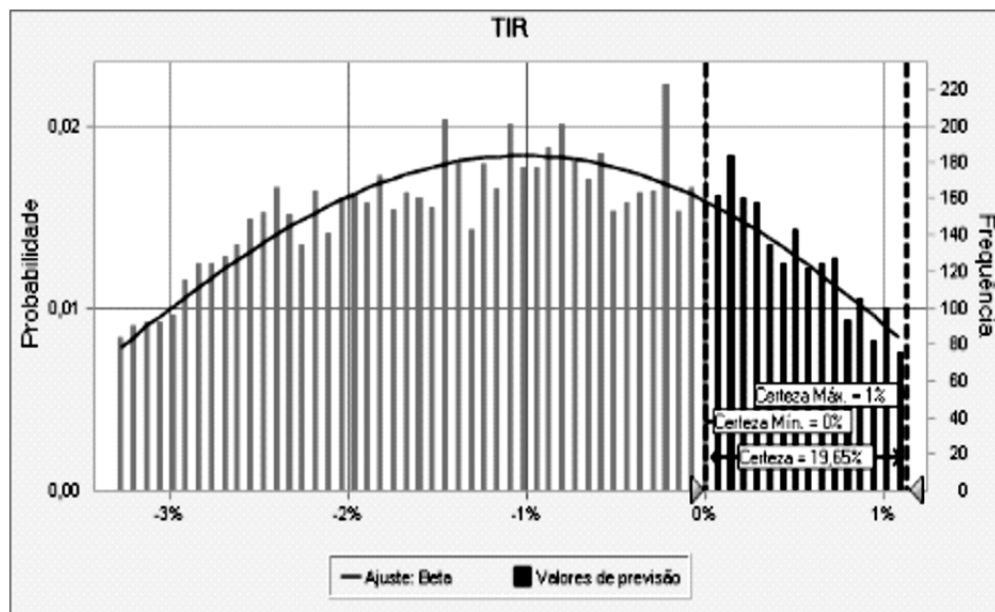
O nível de certeza é 19,65%

O intervalo de certeza é de 0% a 1%

O intervalo inteiro de -5% a 2%

O caso base é -1%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo H

Planilha: [VPL_GRUPO_H_15%_20_anos.xlsx]GH

Previsão: Análise VPL Grupo H

Célula: I

Resumo:

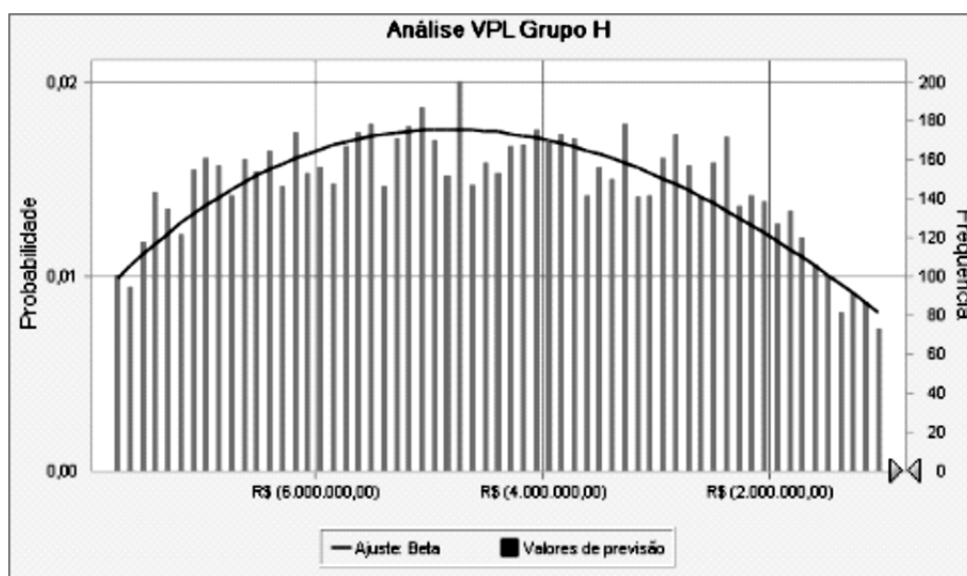
O nível de certeza é 1,05%

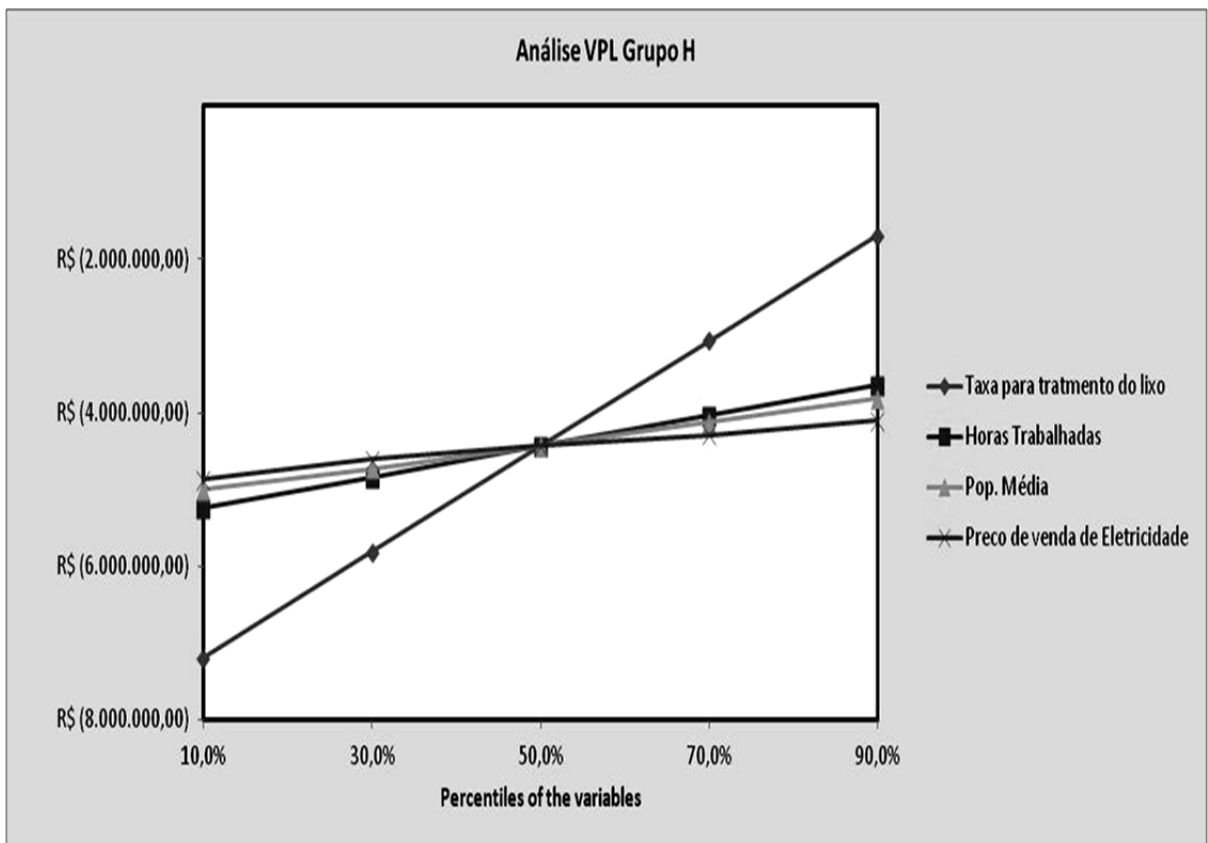
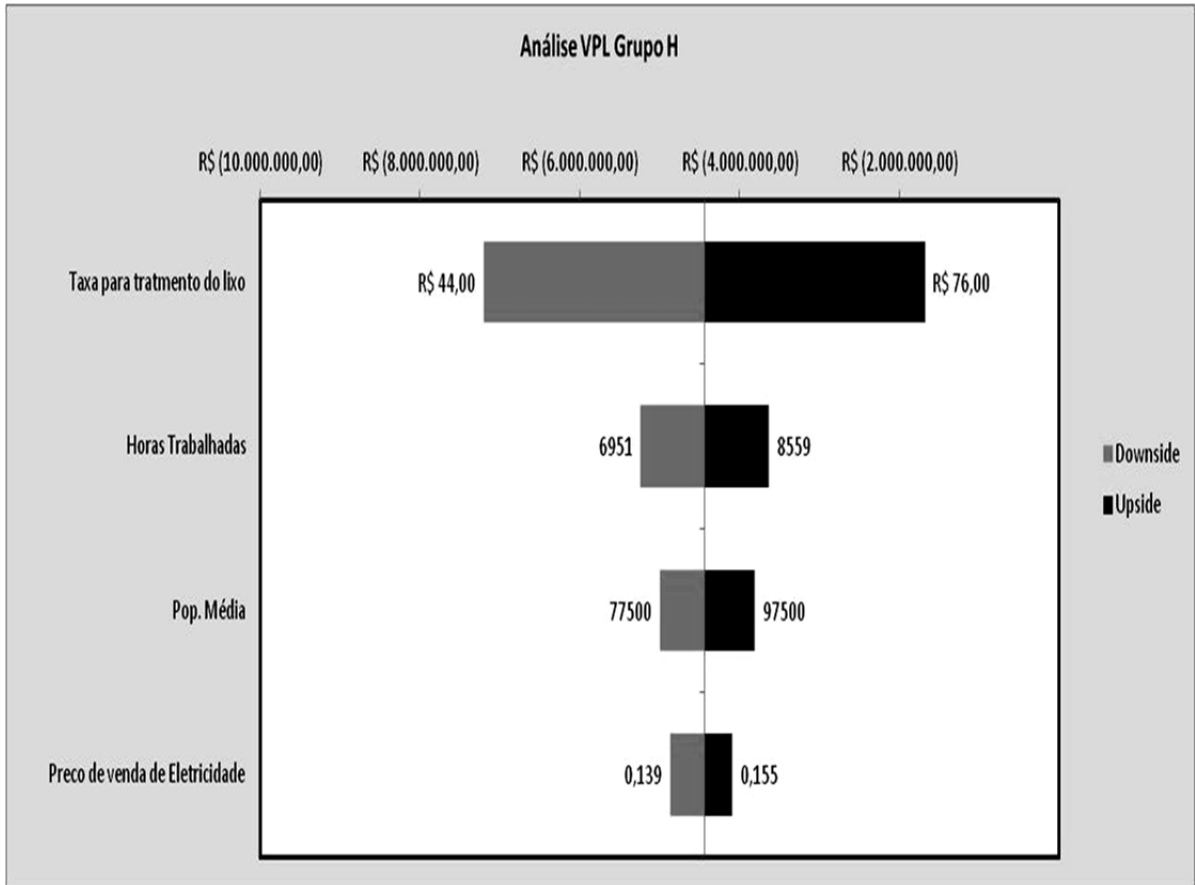
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 10.950.157,85

O intervalo inteiro de R\$ (9.490.647,39) a R\$ 1.246.572,69

O caso base é R\$ (4.719.680,22)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 21.340,34





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

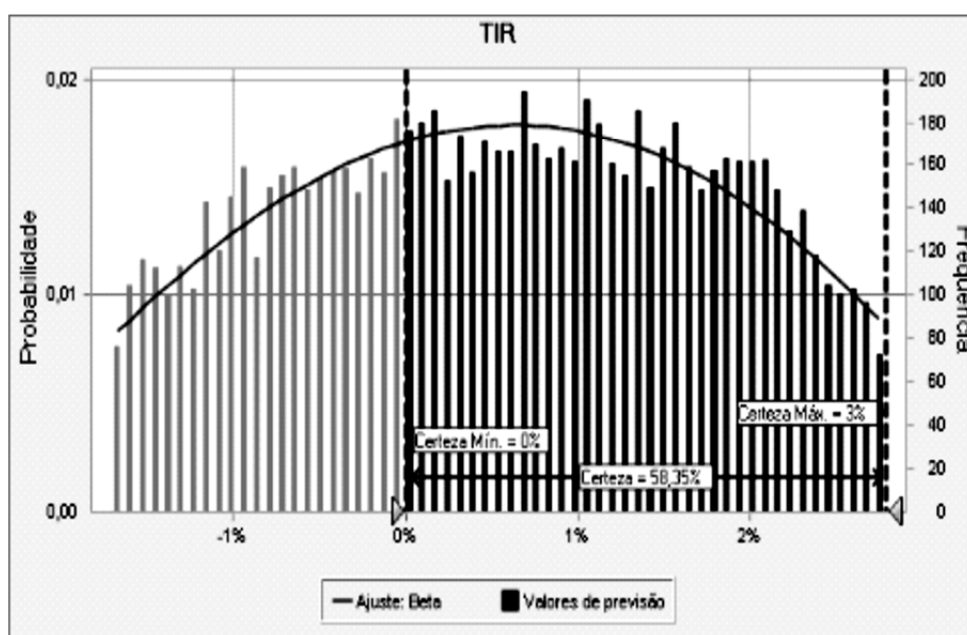
O nível de certeza é 58,35%

O intervalo de certeza é de 0% a 3%

O intervalo inteiro de -3% a 4%

O caso base é 0%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo I

Planilha: [VPL_GRUPO_I_15%_20_anos.xlsx]GI

Previsão: Análise VPL Grupo I

Célula: I

Resumo:

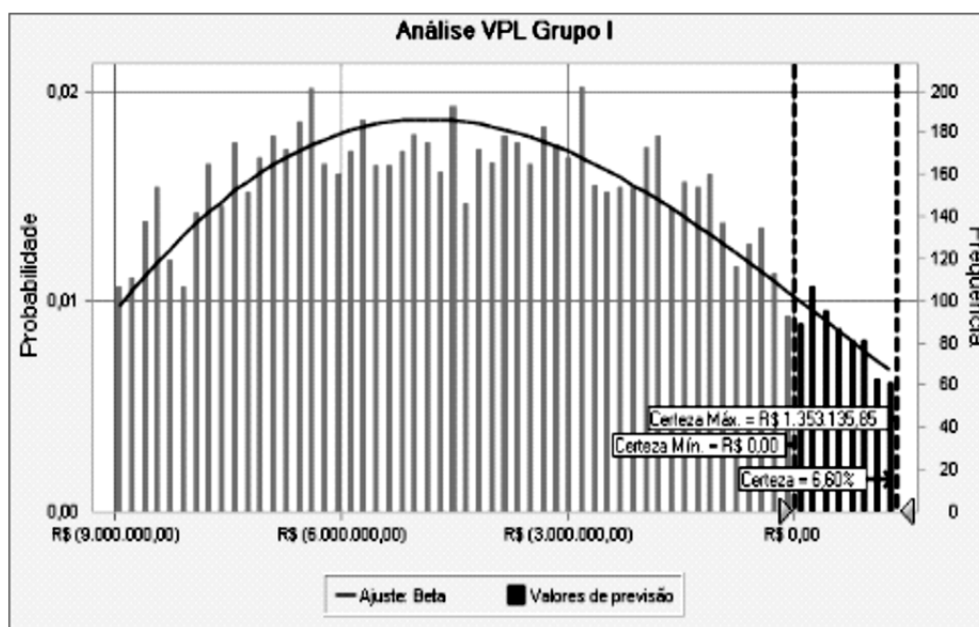
O nível de certeza é 6,60%

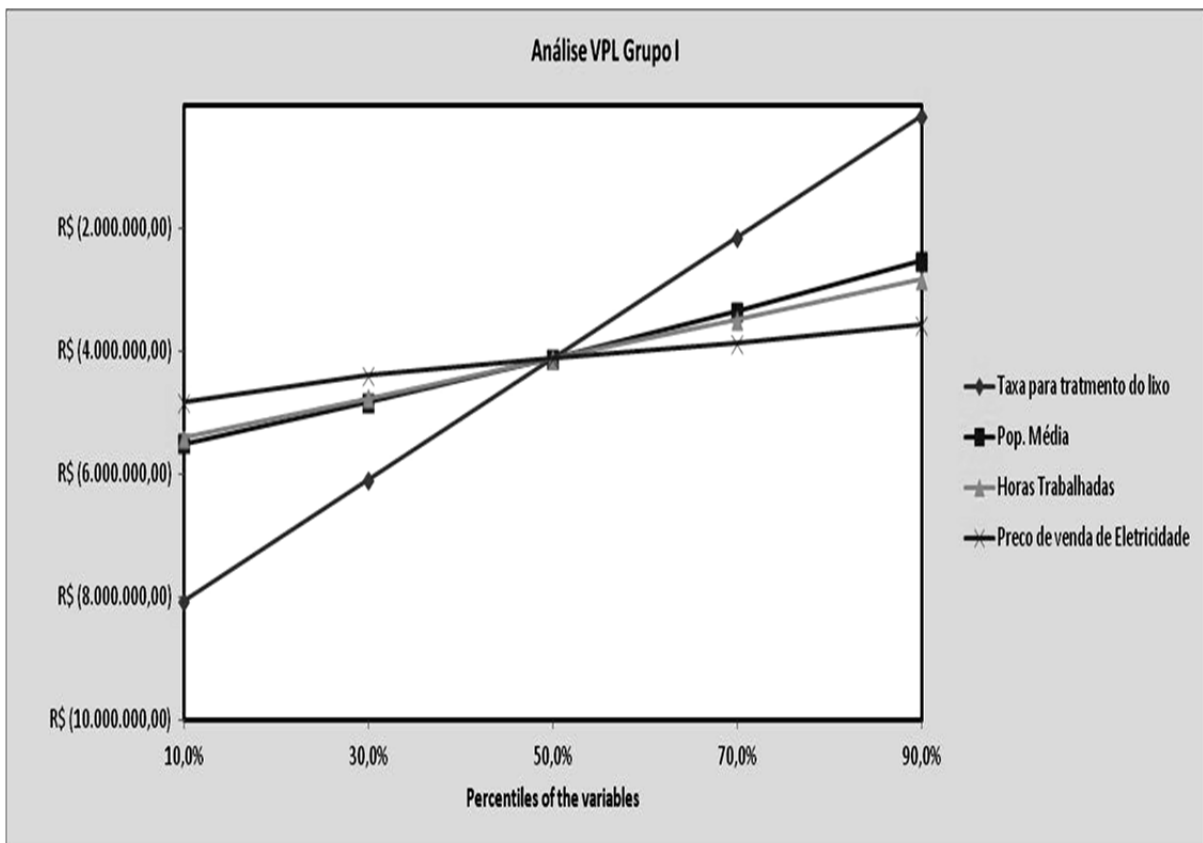
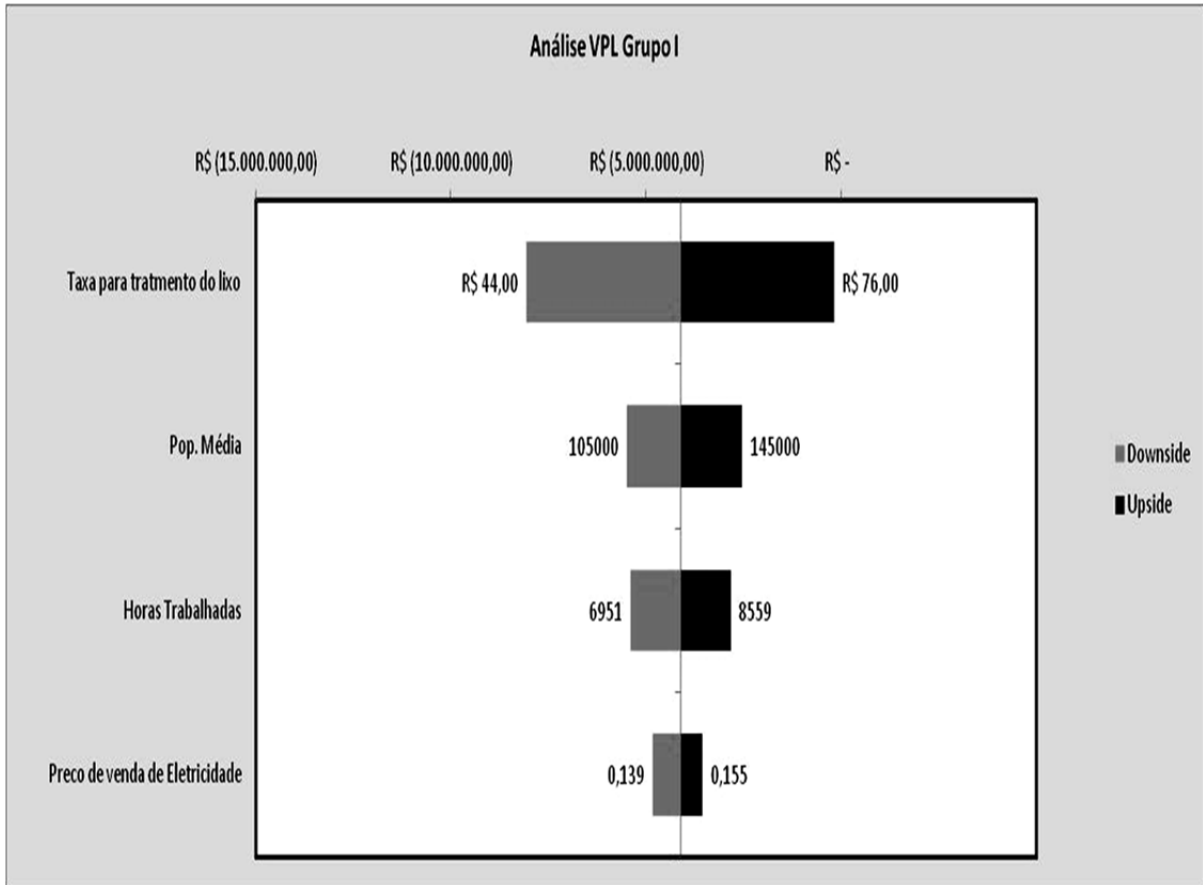
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 1.353.135,85

O intervalo inteiro de R\$ (11.424.576,19) a R\$ 5.837.513,74

O caso base é R\$ (4.893.397,37)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 32.337,17





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

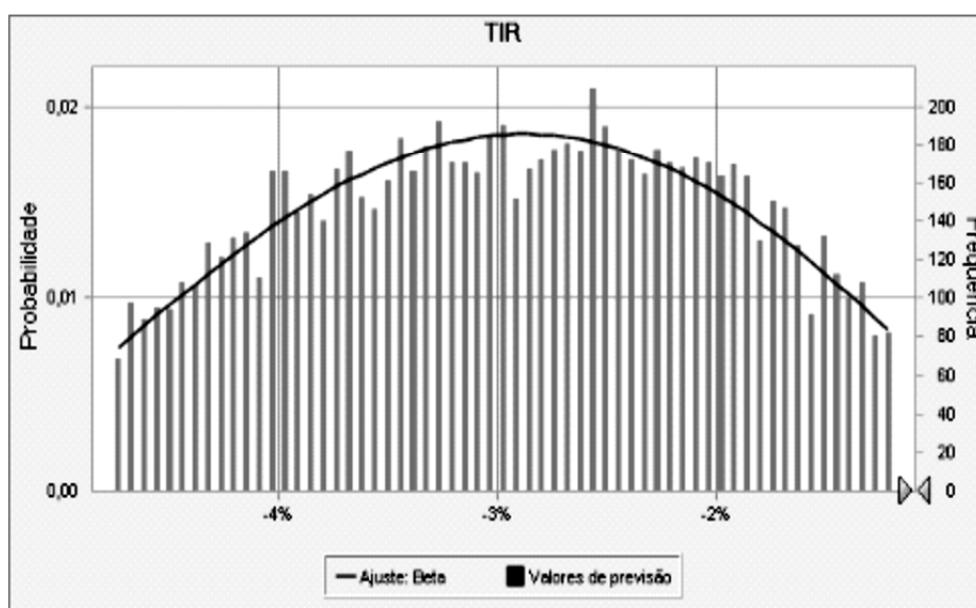
O nível de certeza é 0,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 3%

O intervalo inteiro de -6% a 0%

O caso base é -3%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo J

Planilha: [VPL_GRUPO_J_15%_20_anos.xlsx]GJ

Previsão: Análise VPL Grupo J

Célula: I

Resumo:

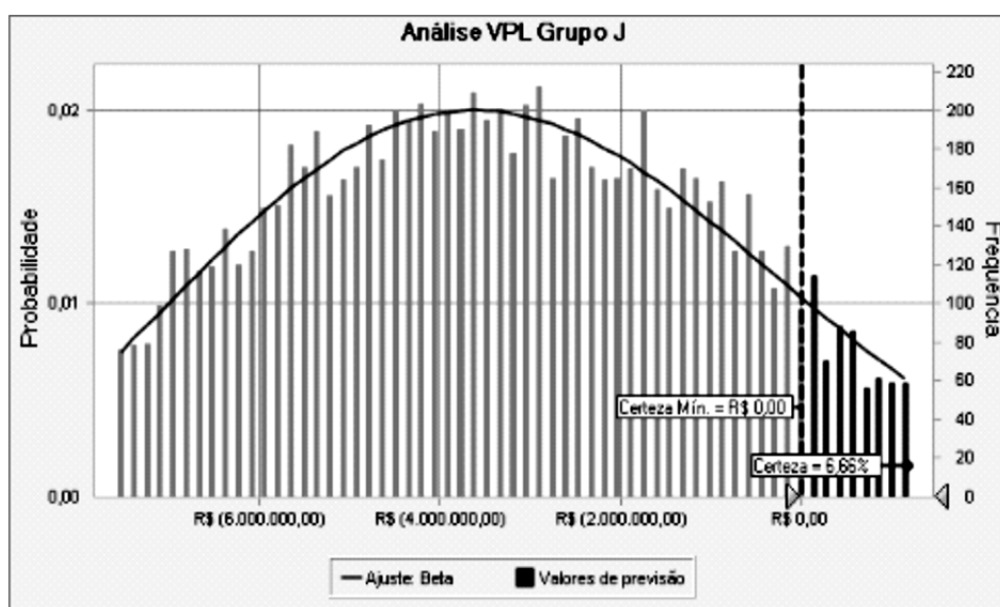
O nível de certeza é 6,66%

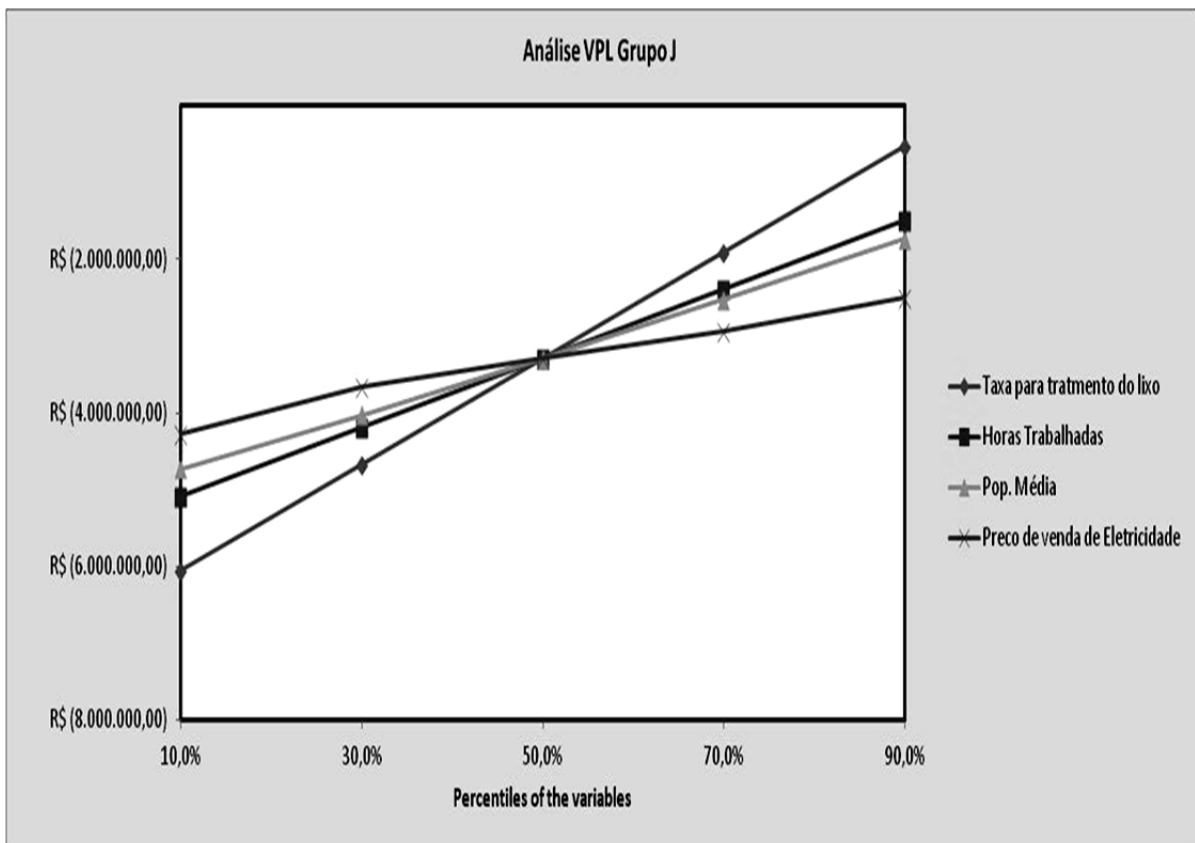
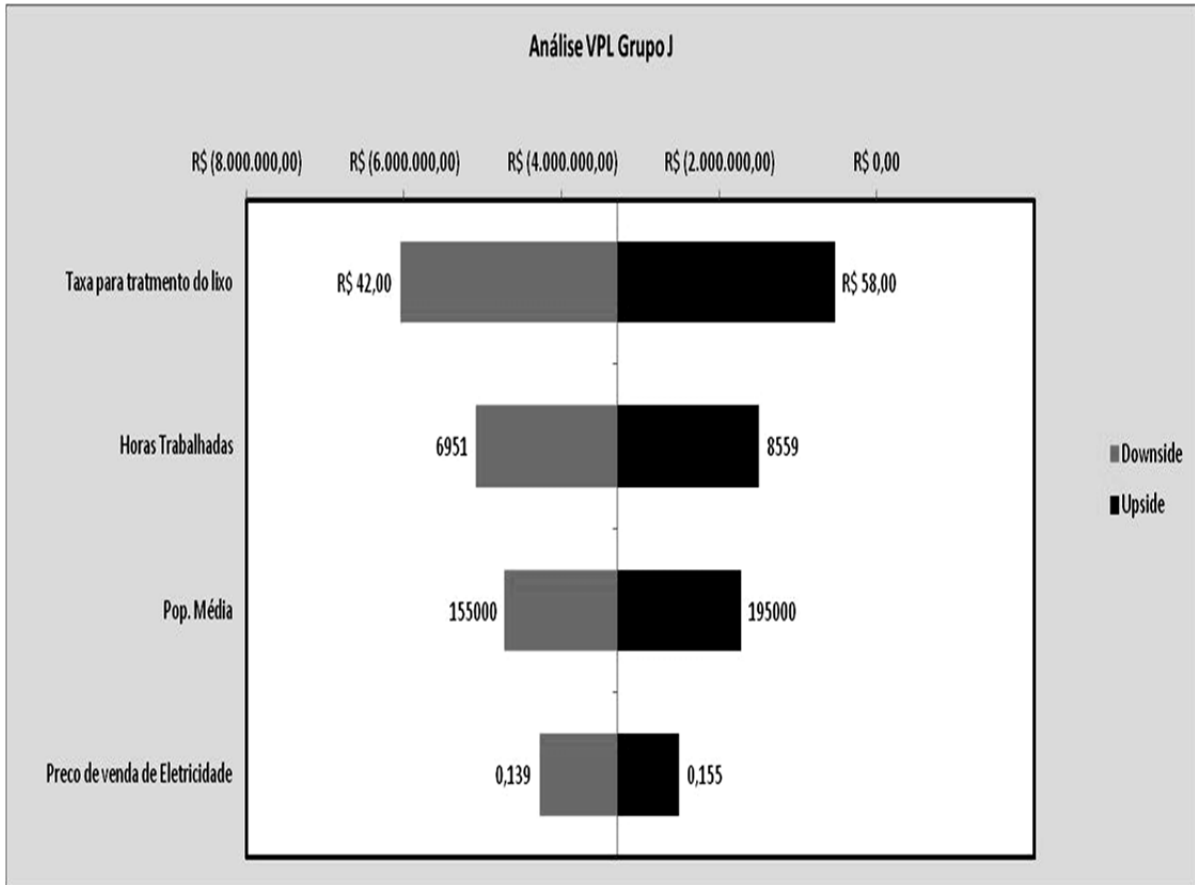
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 1.291.909,03

O intervalo inteiro de R\$ (10.482.143,28) a R\$ 5.327.282,73

O caso base é R\$ (357.408,20)

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 26.854,08





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

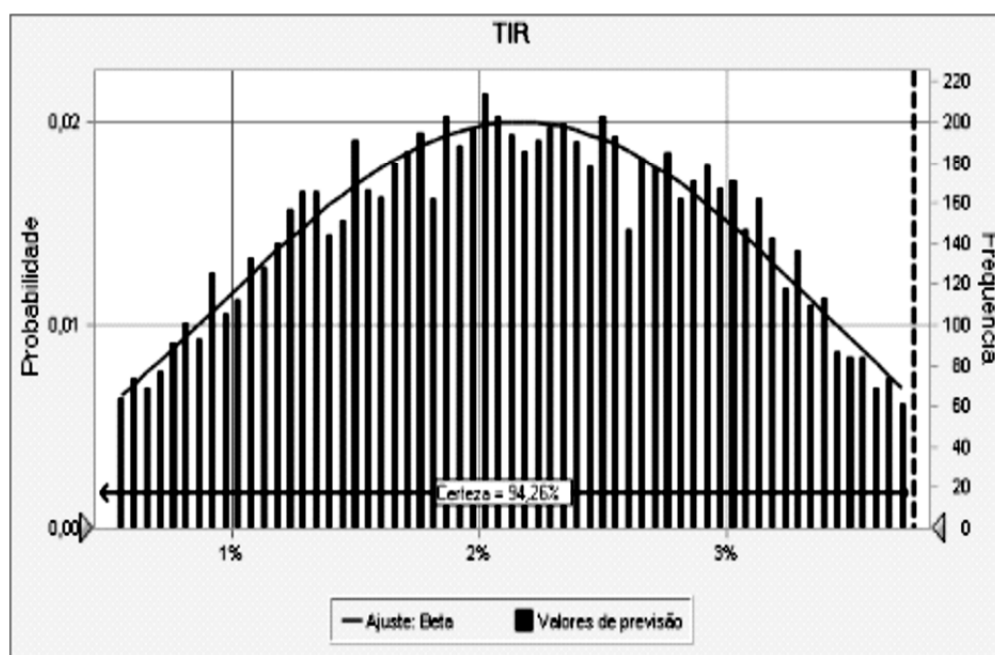
O nível de certeza é 94,26%

O intervalo de certeza é de 0% a 4%

O intervalo inteiro de -1% a 5%

O caso base é 3%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo K

Planilha: [VPL_GRUPO_K_15%_20_anos.xlsx]GK

Previsão: Análise VPL Grupo K

Célula: I

Resumo:

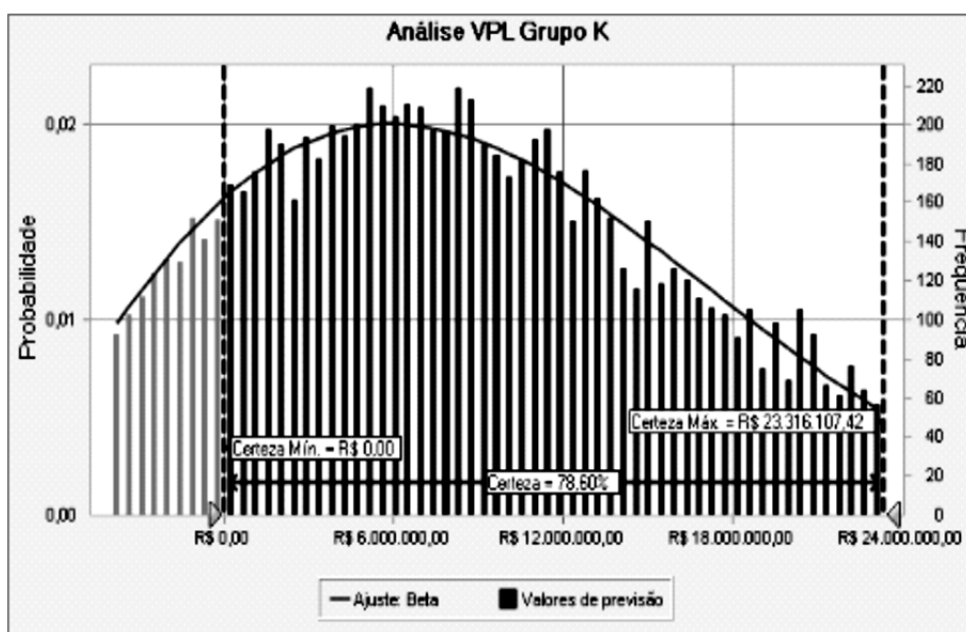
O nível de certeza é 78,60%

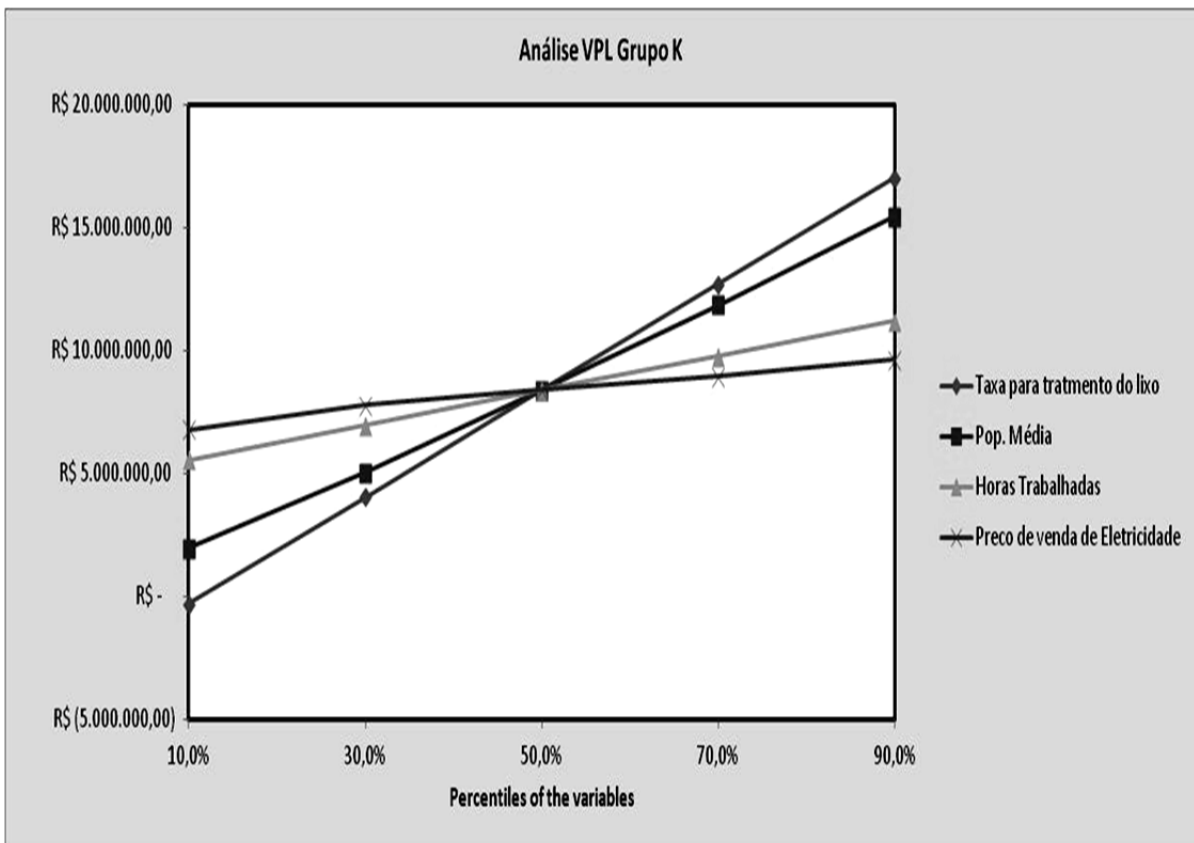
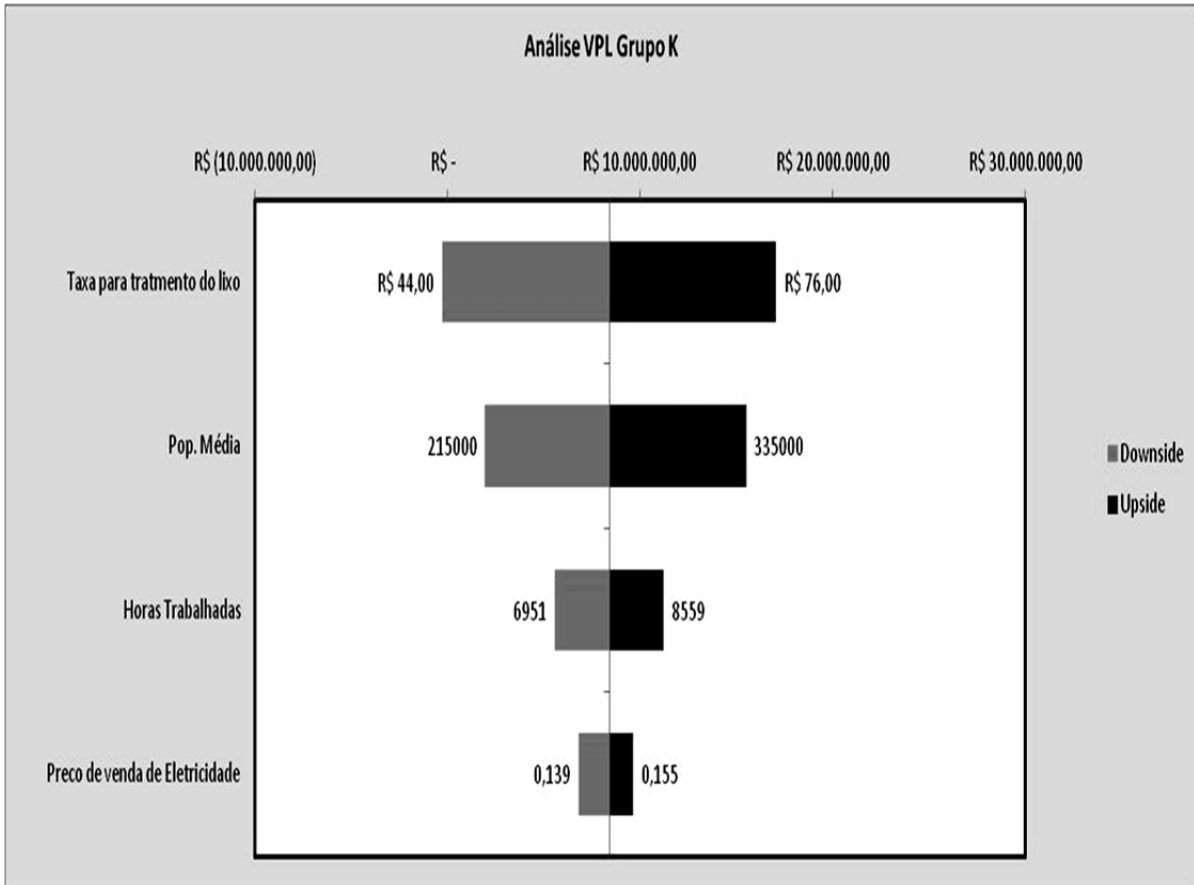
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 23.316.107,42

O intervalo inteiro de R\$ (10.643.031,49) a R\$ 35.086.216,76

O caso base é R\$ 6.192.788,96

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 83.083,53





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

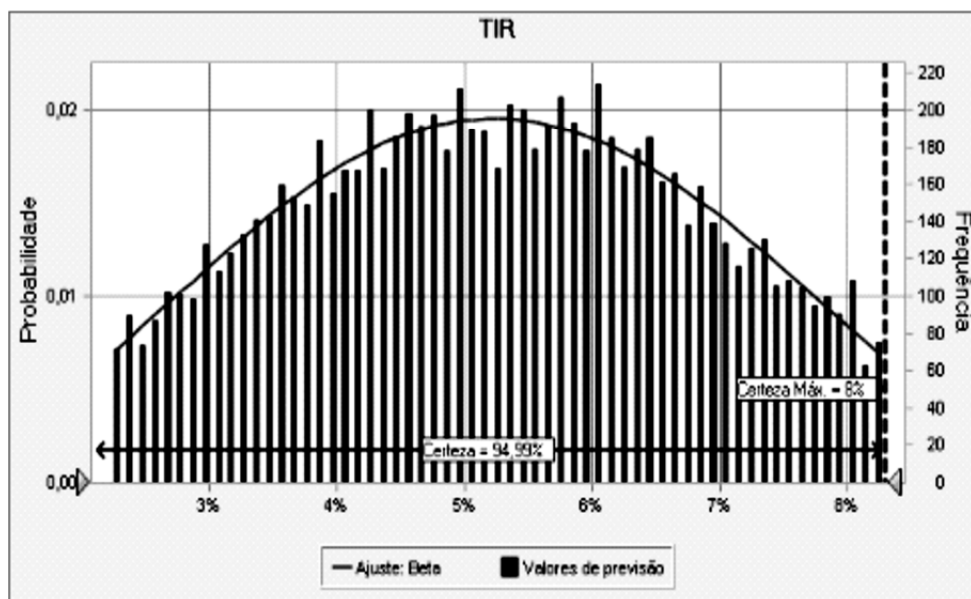
O nível de certeza é 94,99%

O intervalo de certeza é de 0% a 8%

O intervalo inteiro de 0% a 10%

O caso base é 5%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo L

Planilha: [VPL_GRUPO_L_15%_20_anos%.xlsx]GL

Previsão: Análise VPL Grupo L

Célula: I

Resumo:

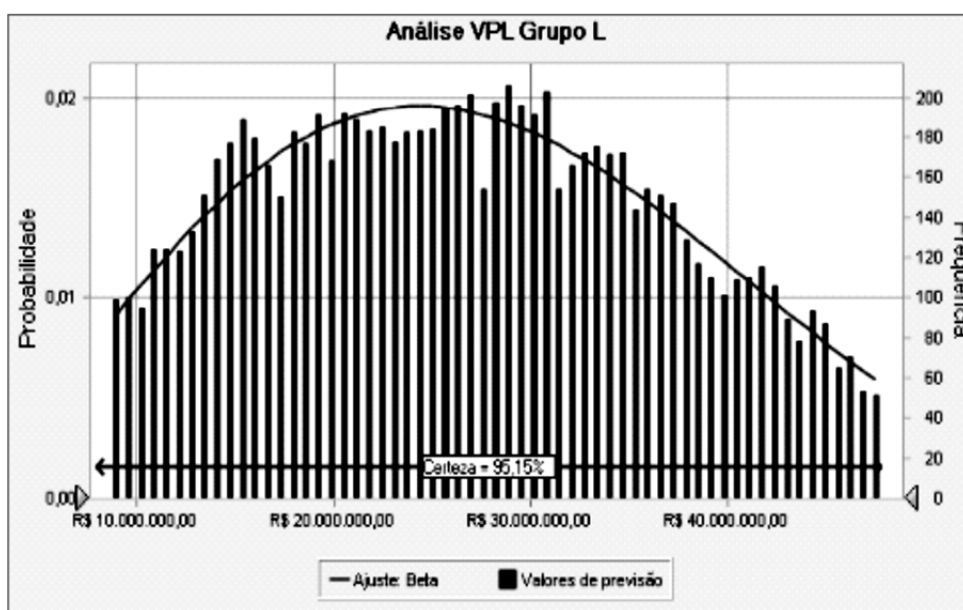
O nível de certeza é 95,15%

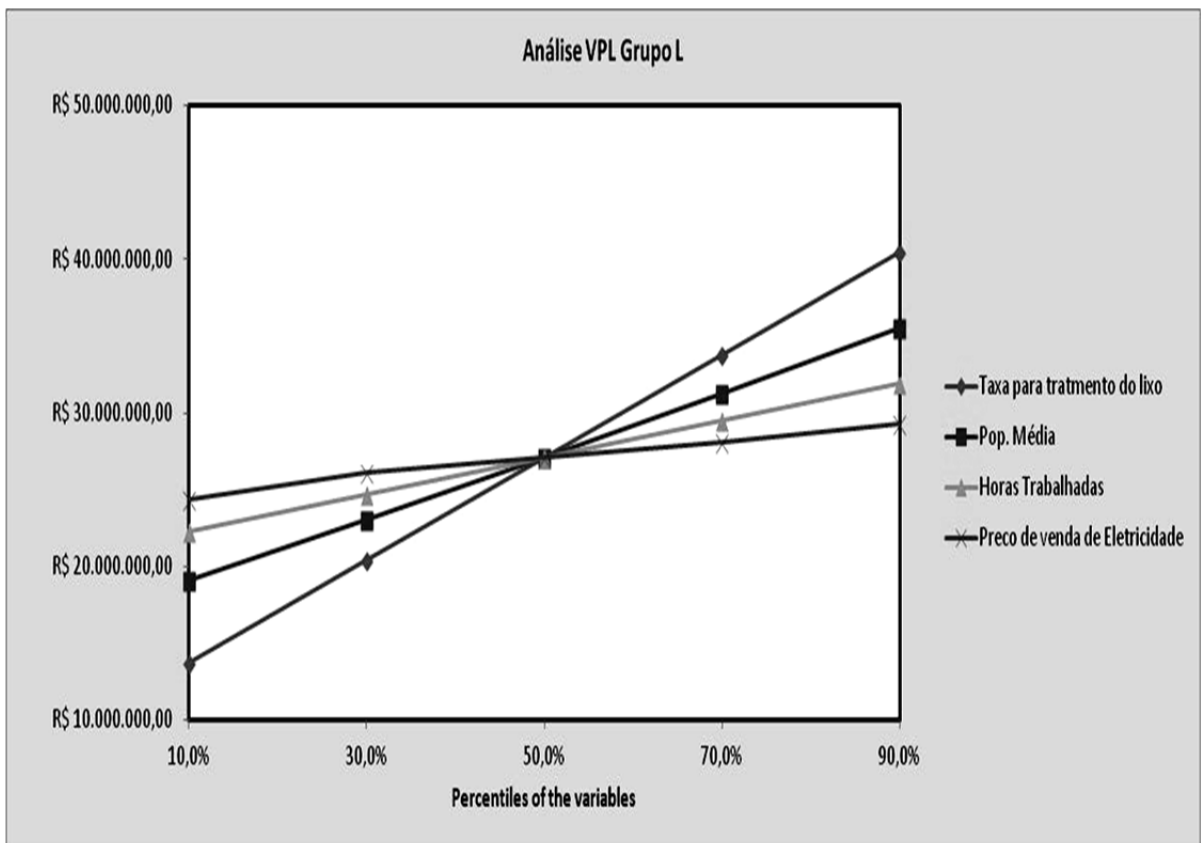
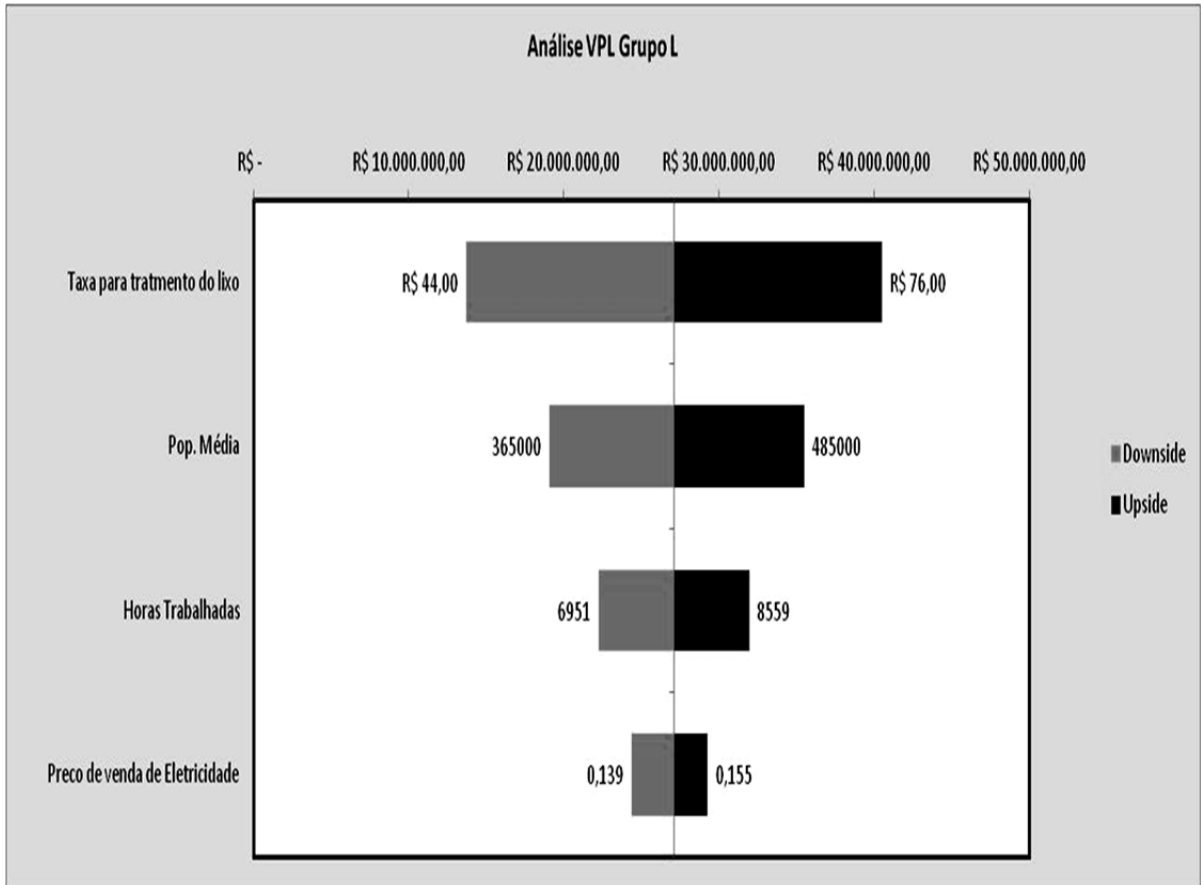
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 48.124.193,19

O intervalo inteiro de R\$ (2.157.934,08) a R\$ 65.239.894,84

O caso base é R\$ 24.422.323,95

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 119.878,74



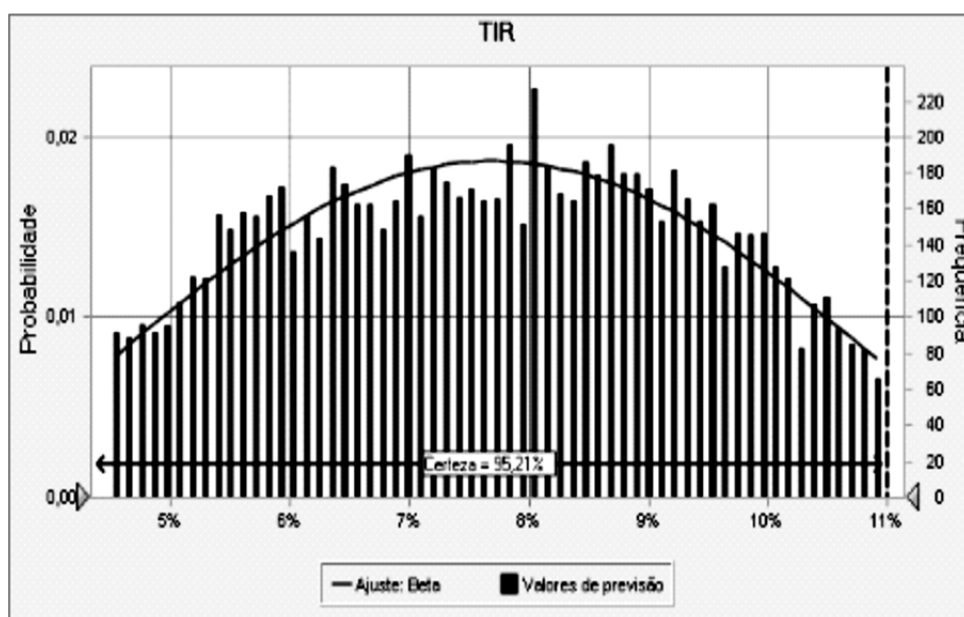


Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

- O nível de certeza é 95,21%
- O intervalo de certeza é de 0% a 11%
- O intervalo inteiro de 2% a 13%
- O caso base é 7%
- Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo M

Planilha: [VPL_GRUPO_M_15%_20_anos.xlsx]Gm

Previsão: Análise VPL Grupo M

Célula: I

Resumo:

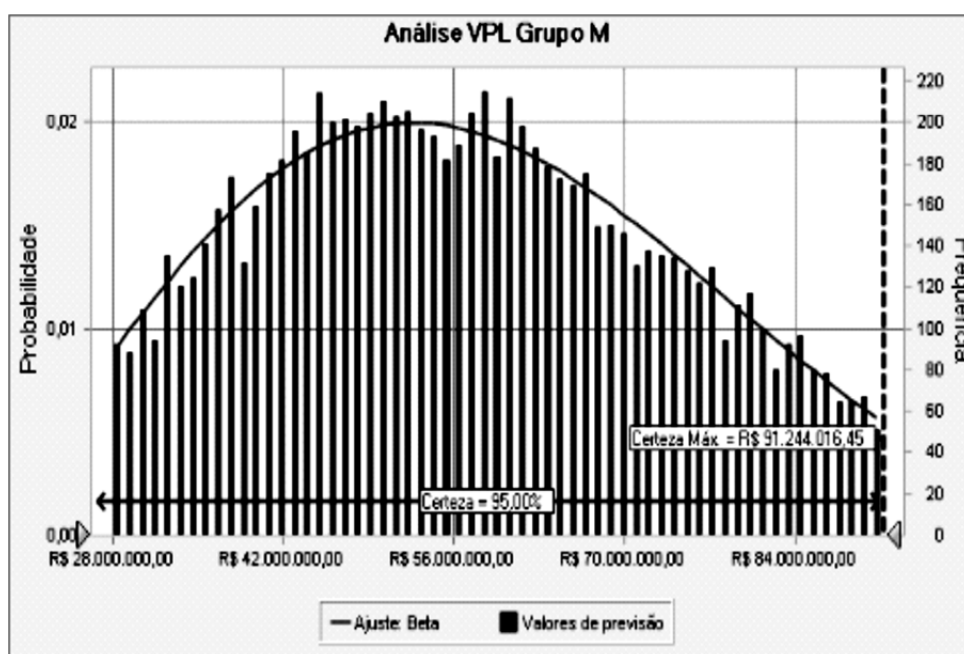
O nível de certeza é 95,00%

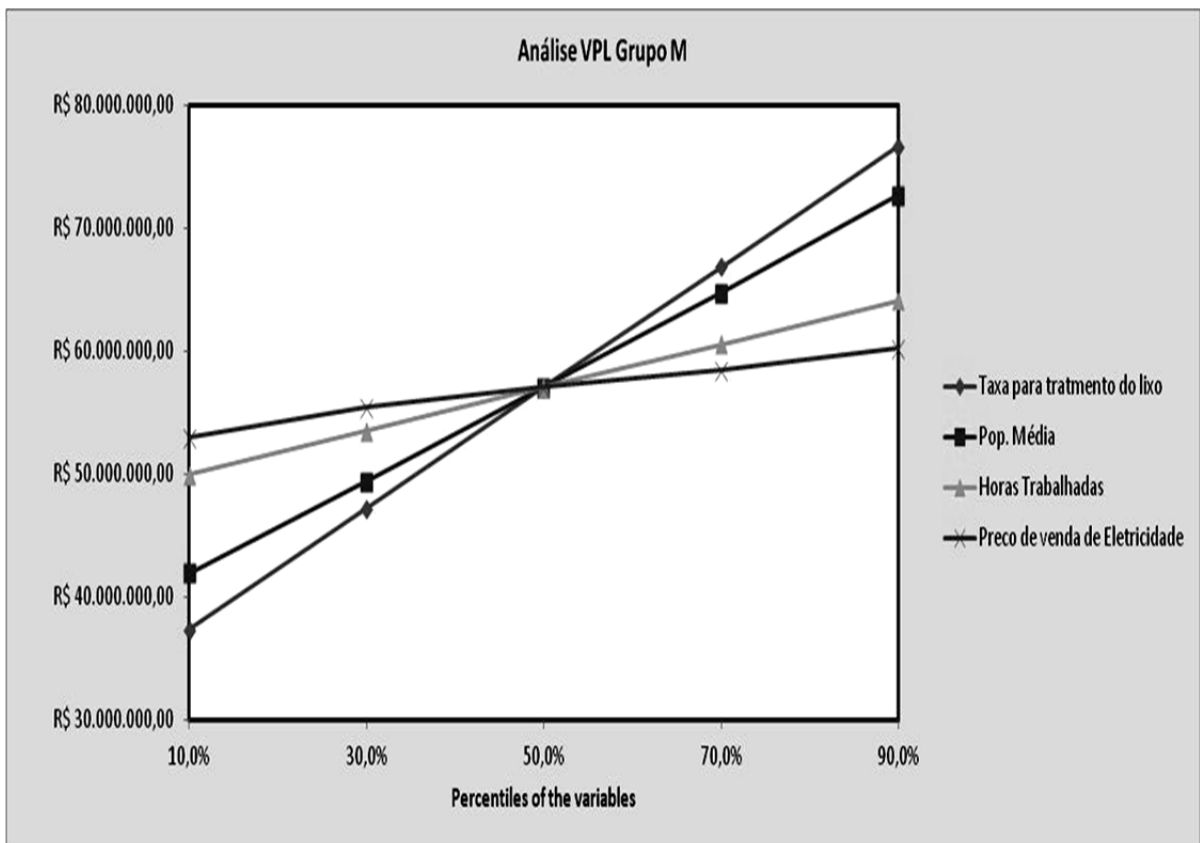
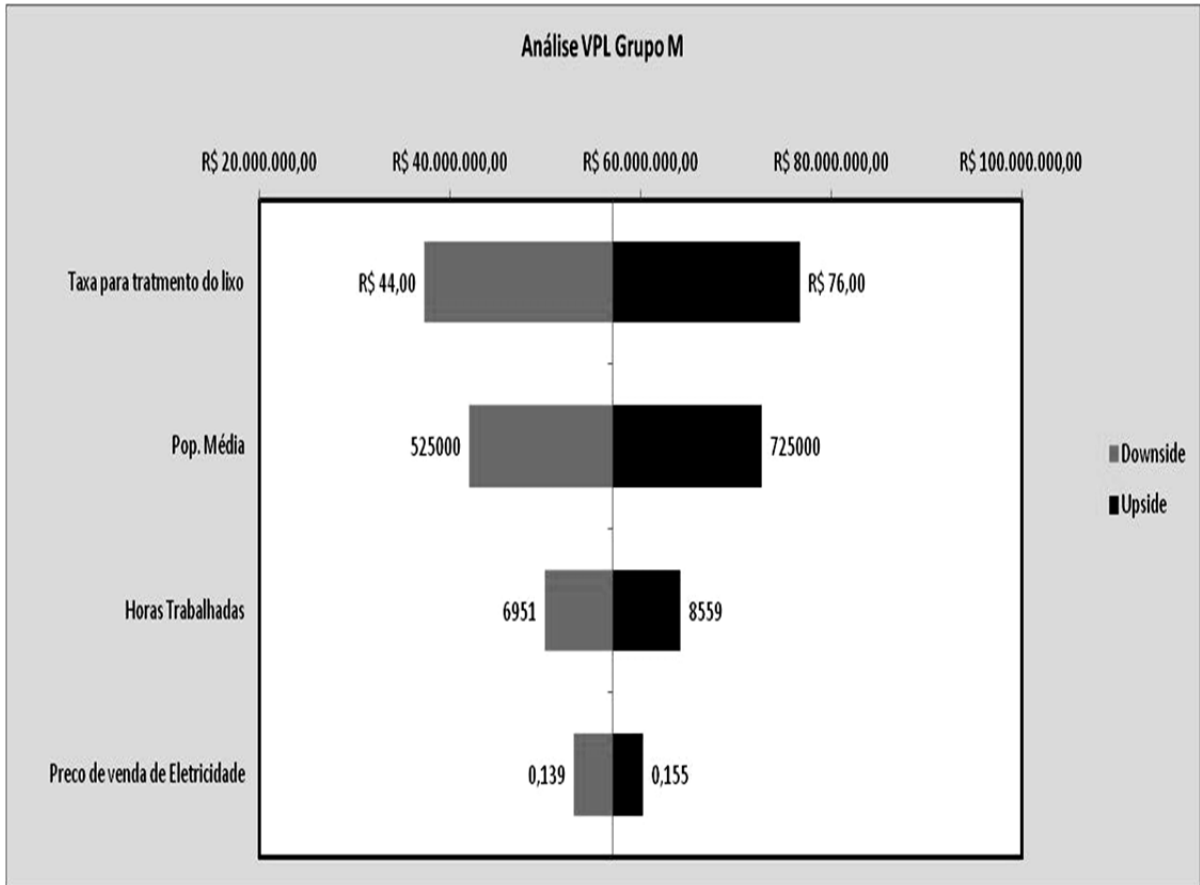
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 91.244.016,45

O intervalo inteiro de R\$ 11.248.355,04 a R\$ 114.766.327,47

O caso base é R\$ 51.498.533,41

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 191.634,18





Previsão: TIR

Célula: I

Resumo:

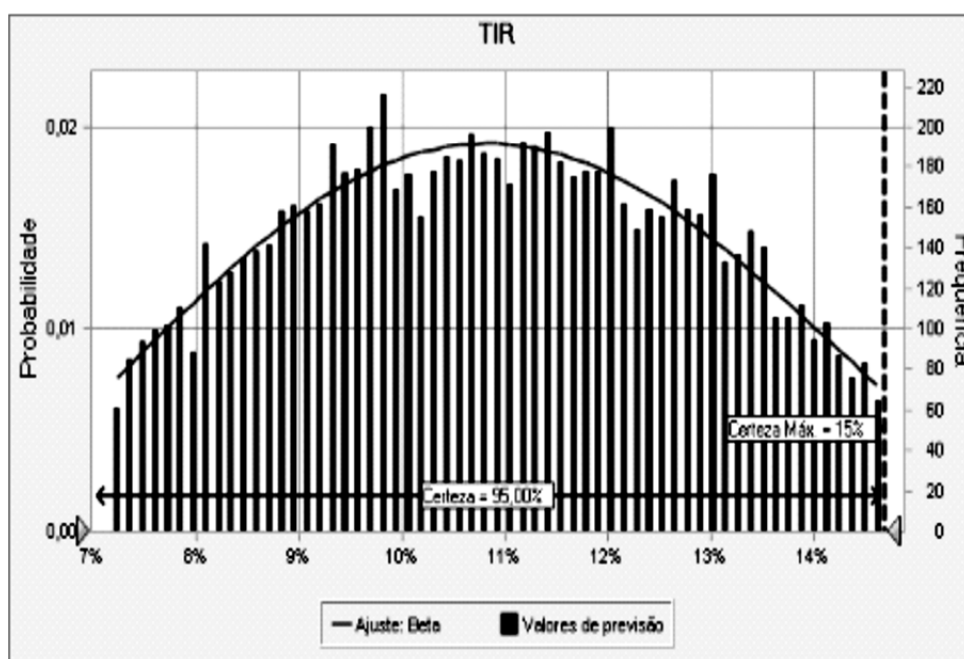
O nível de certeza é 95,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 15%

O intervalo inteiro de 5% a 17%

O caso base é 10%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%



Análise do Grupo N

Planilha: [VPL_GRUPO_N_15%_20_anos.xlsx]GN

Previsão: Análise VPL Grupo N

Célula: I

Resumo:

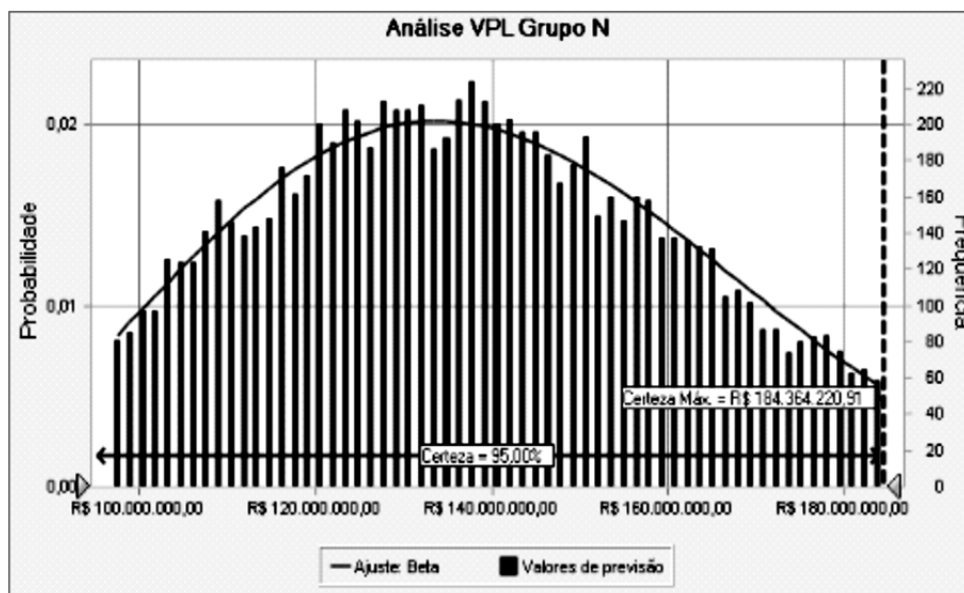
O nível de certeza é 95,00%

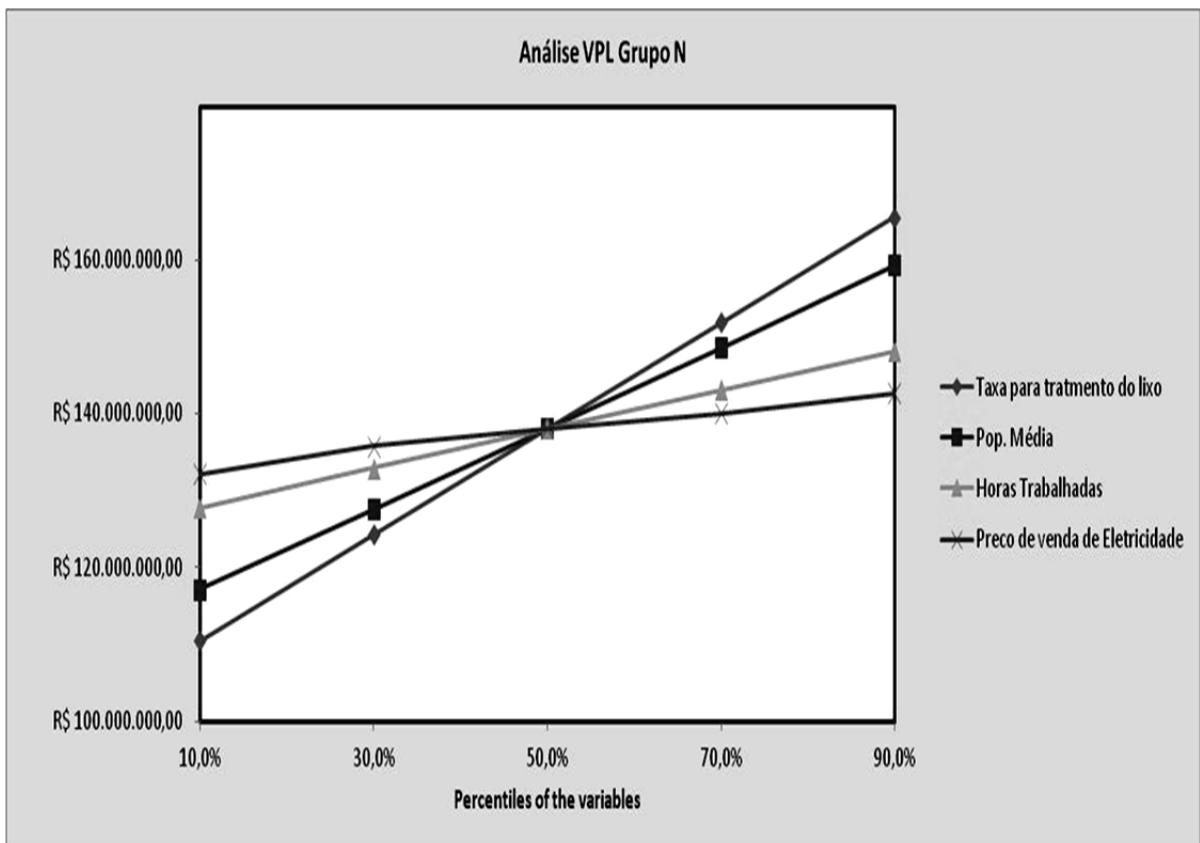
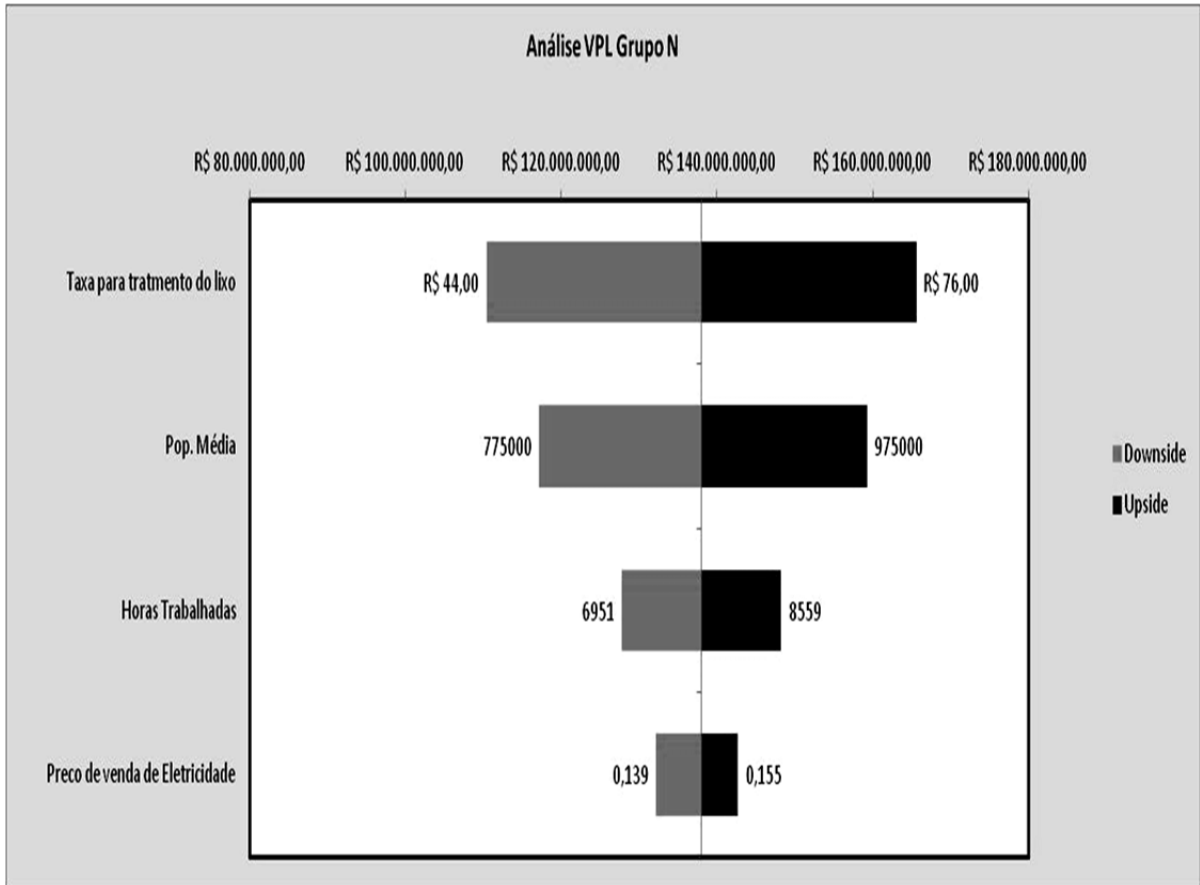
O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 184.364.220,91

O intervalo inteiro de R\$ 74.178.179,07 a R\$ 218.649.603,20

O caso base é R\$ 129.686.151,54

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 263.287,65





Previsão: Resultado Operacional até 10 anos

Célula: I

Resumo:

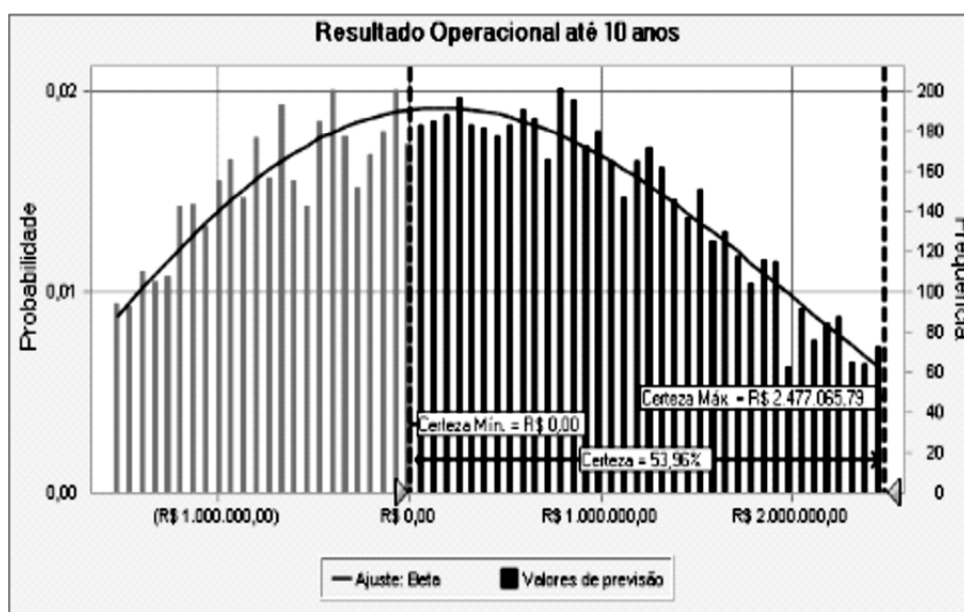
O nível de certeza é 53,96%

O intervalo de certeza é de R\$ 0,00 a R\$ 2.477.065,79

O intervalo inteiro de (R\$ 2.653.954,65) a R\$ 4.163.529,25

O caso base é R\$ 66.317,52

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 12.368,20



Análise do Grupo O

Planilha: [VPL_GRUPO_O_15%_20_anos.xlsx]GO

Previsão: Análise VPL Grupo O

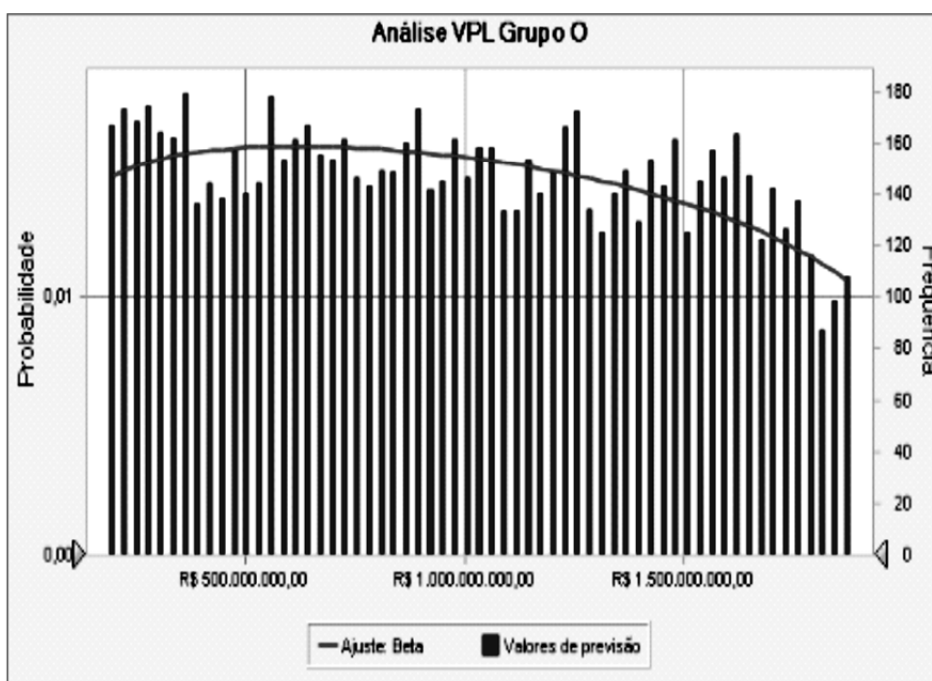
Célula: I

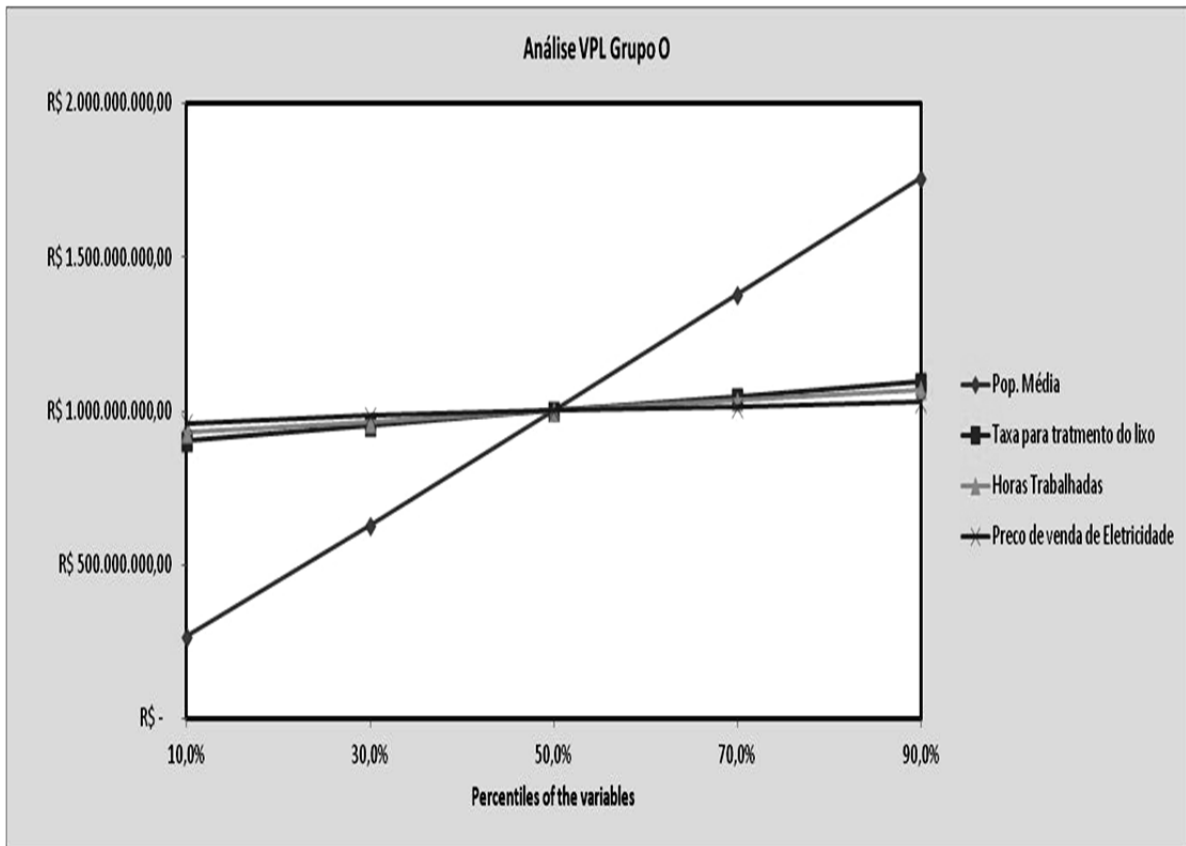
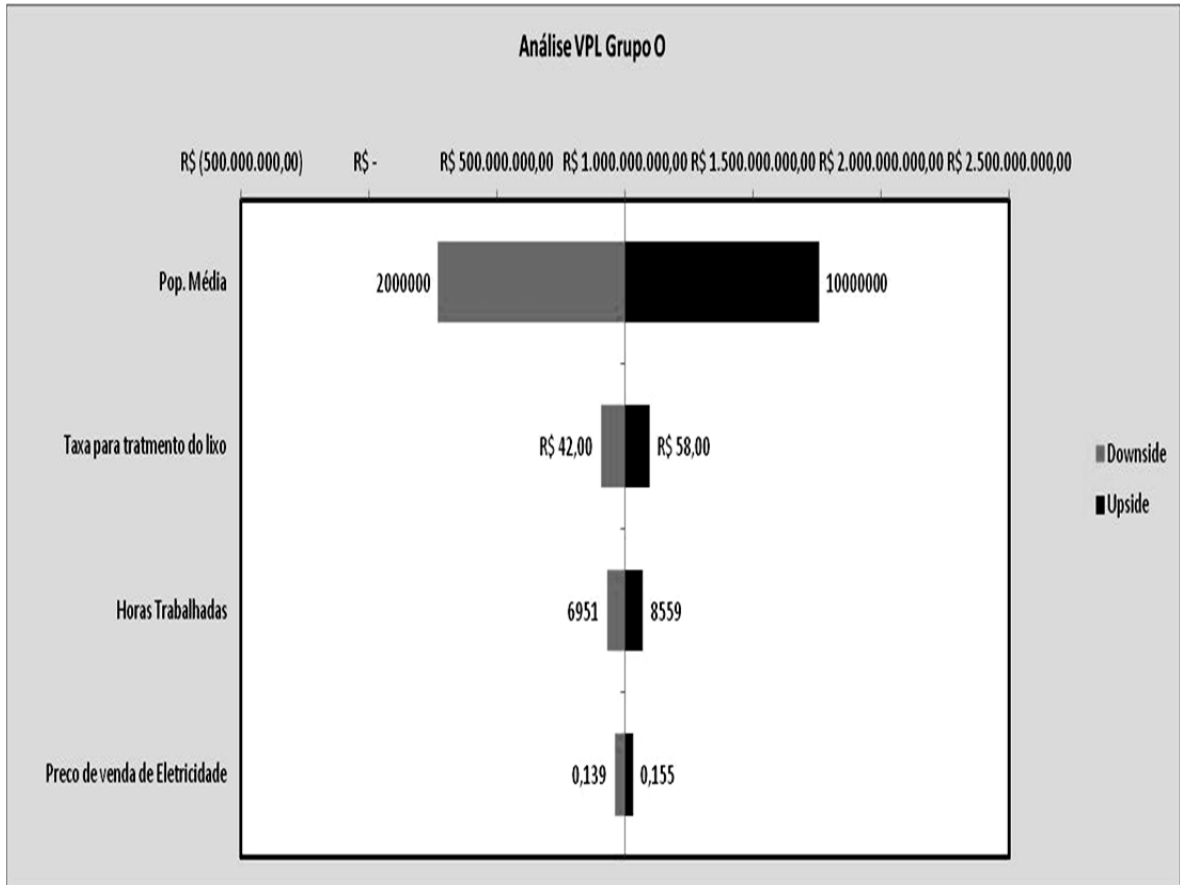
Resumo:

O intervalo inteiro de R\$ 77.530.678,96 a R\$ 2.296.530.931,21

O caso base é R\$ 435.930.673,01

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 5.464.878,41





Previsão: TIR

Resumo:

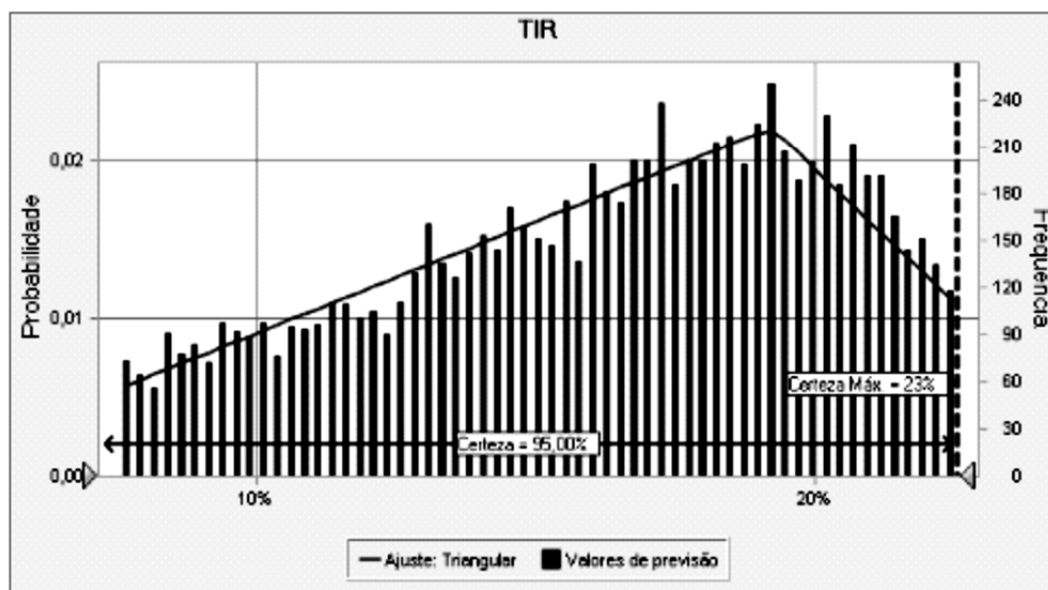
O nível de certeza é 95,00%

O intervalo de certeza é de 0% a 23%

O intervalo inteiro de 4% a 26%

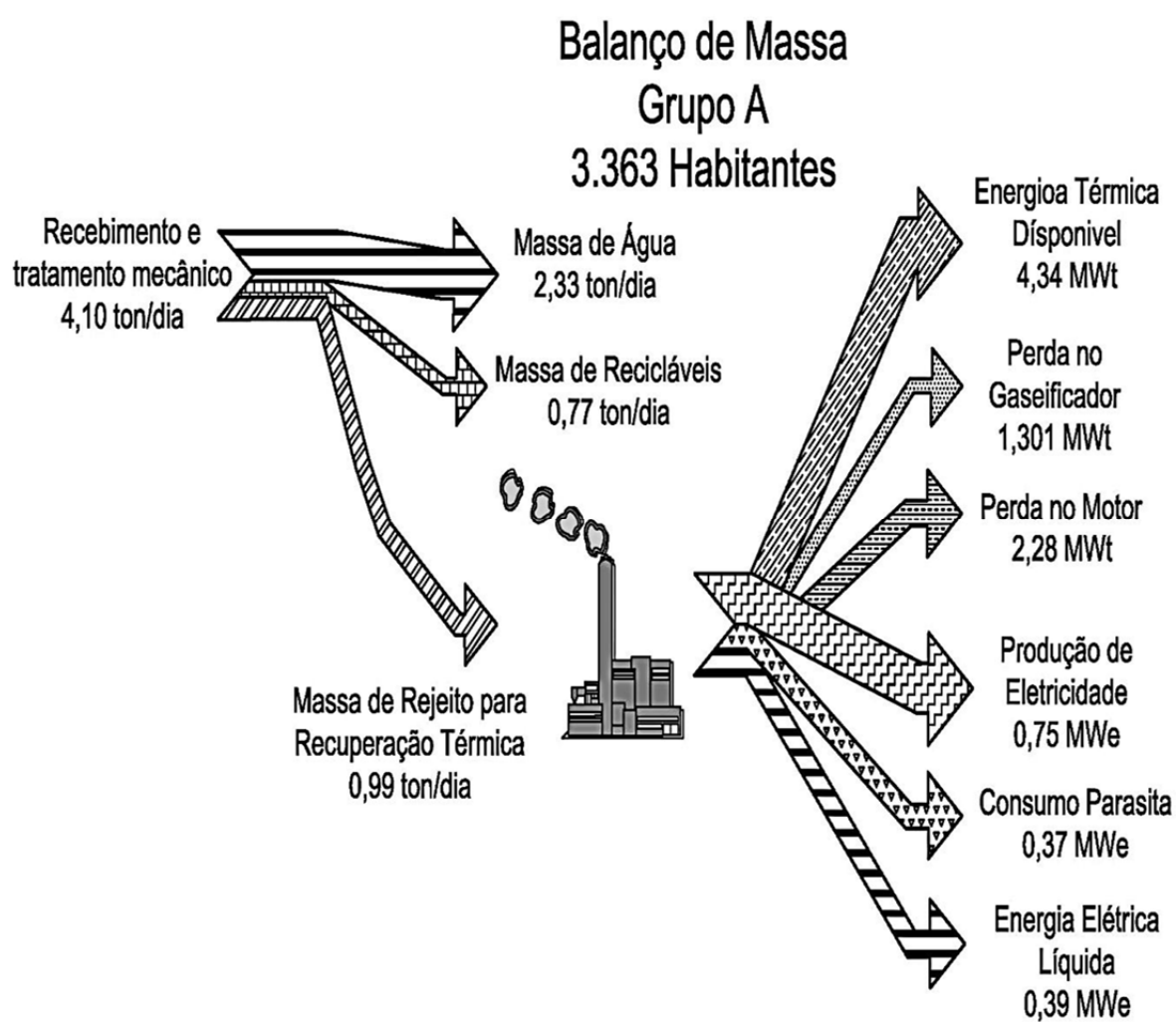
O caso base é 12%

Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0%

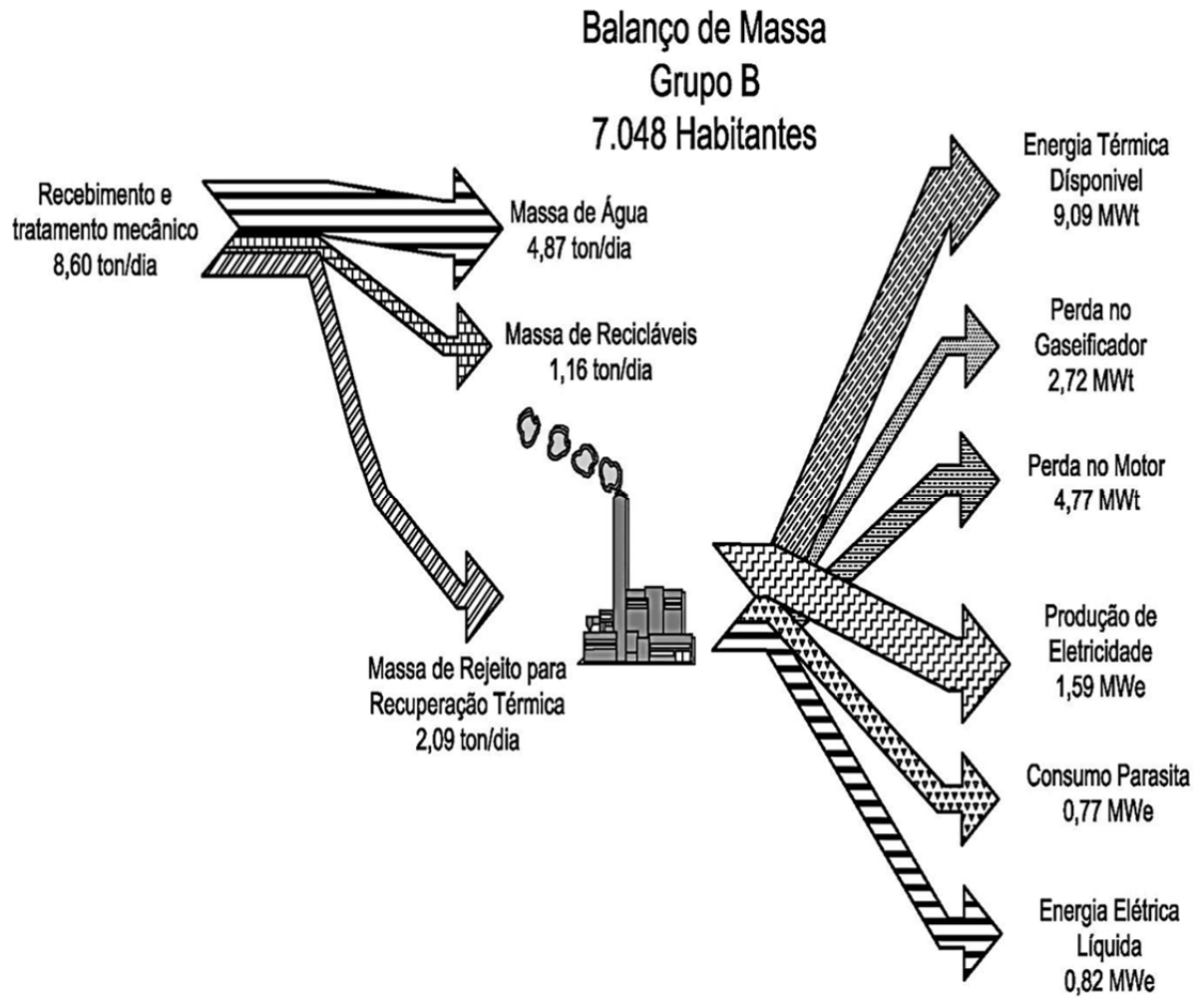


APÊNDICE D – Balanços de Massas dos Grupos Analisados

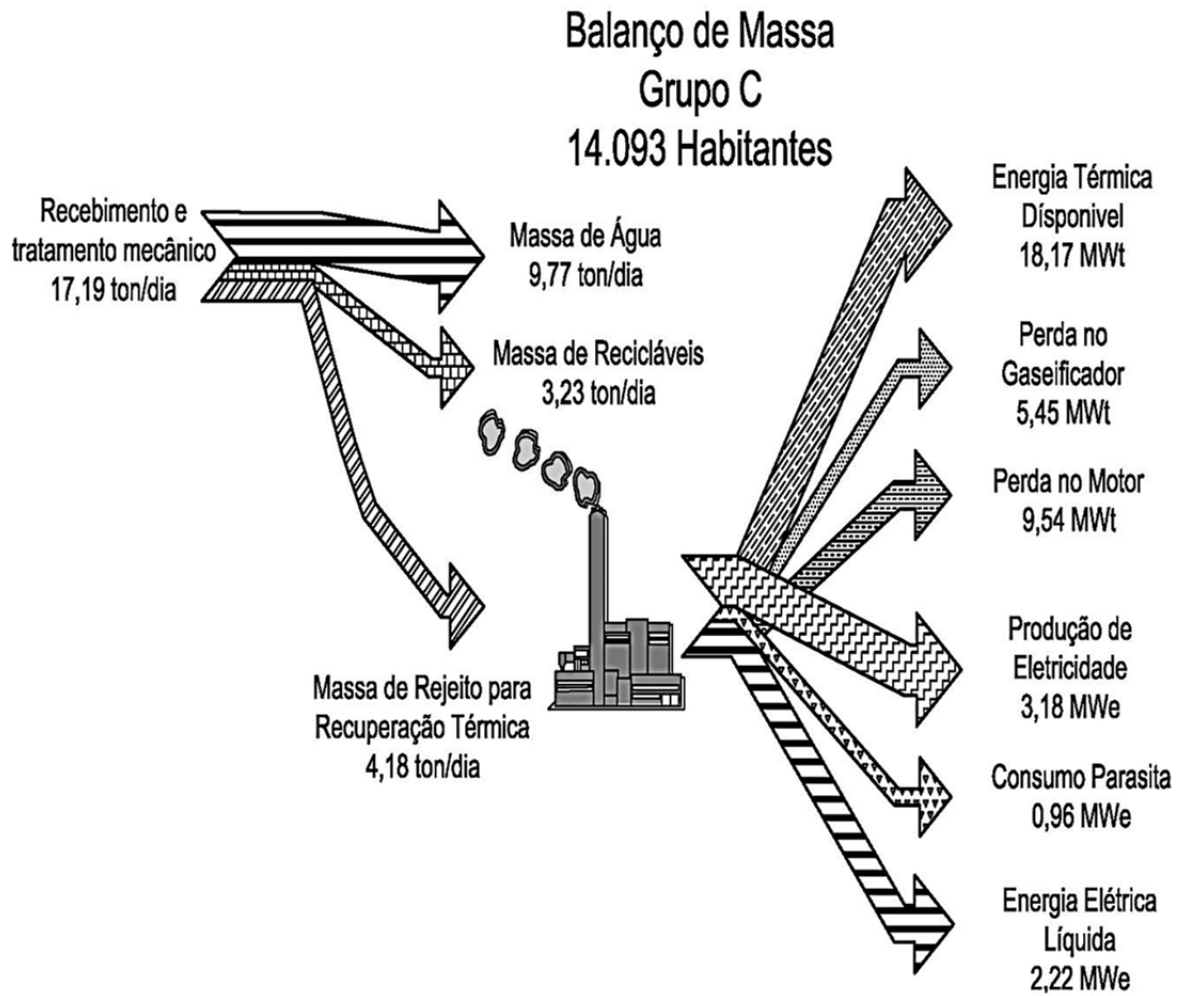
Balanço de Massa Grupo A



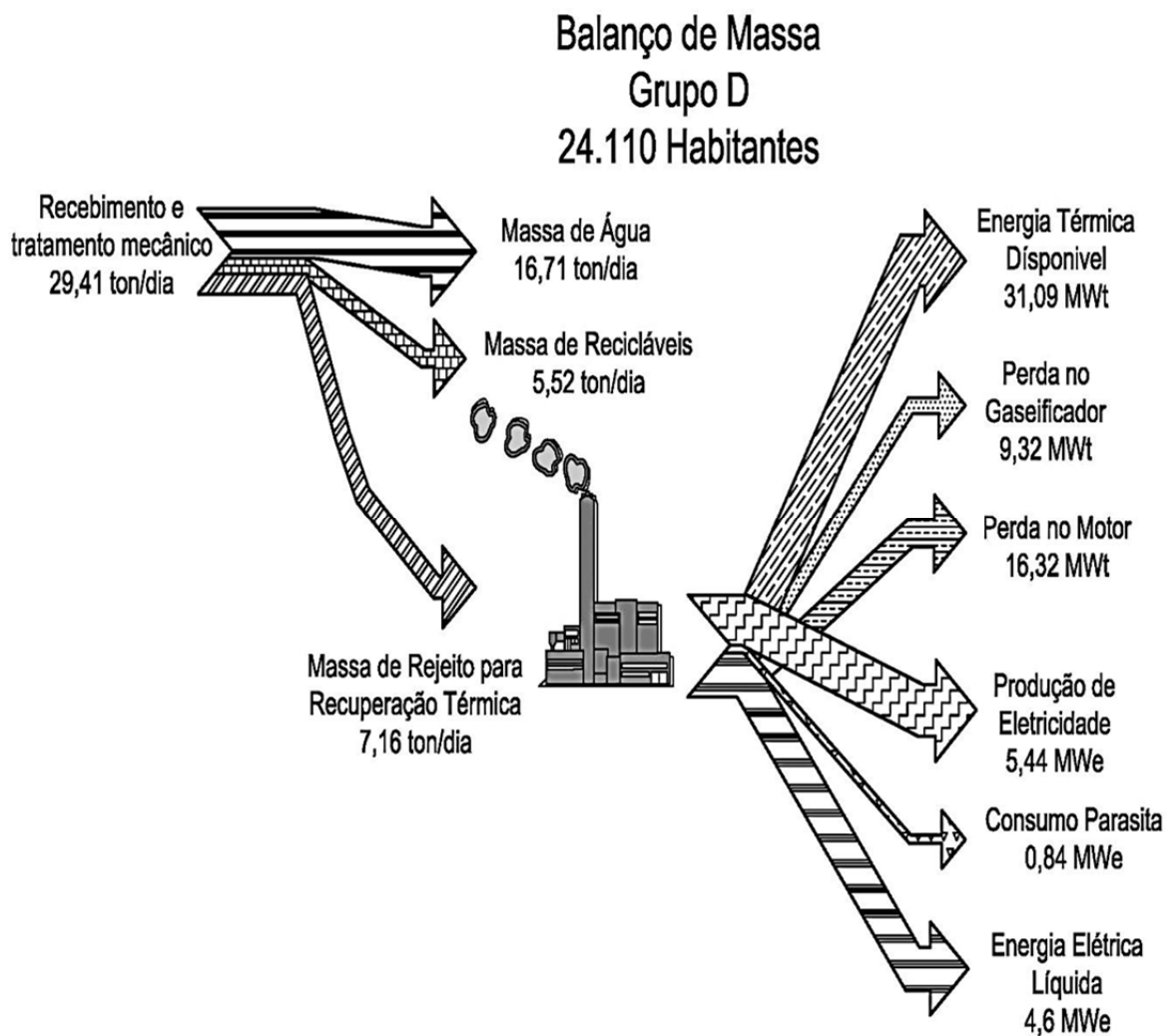
Balanço de Massa Grupo B



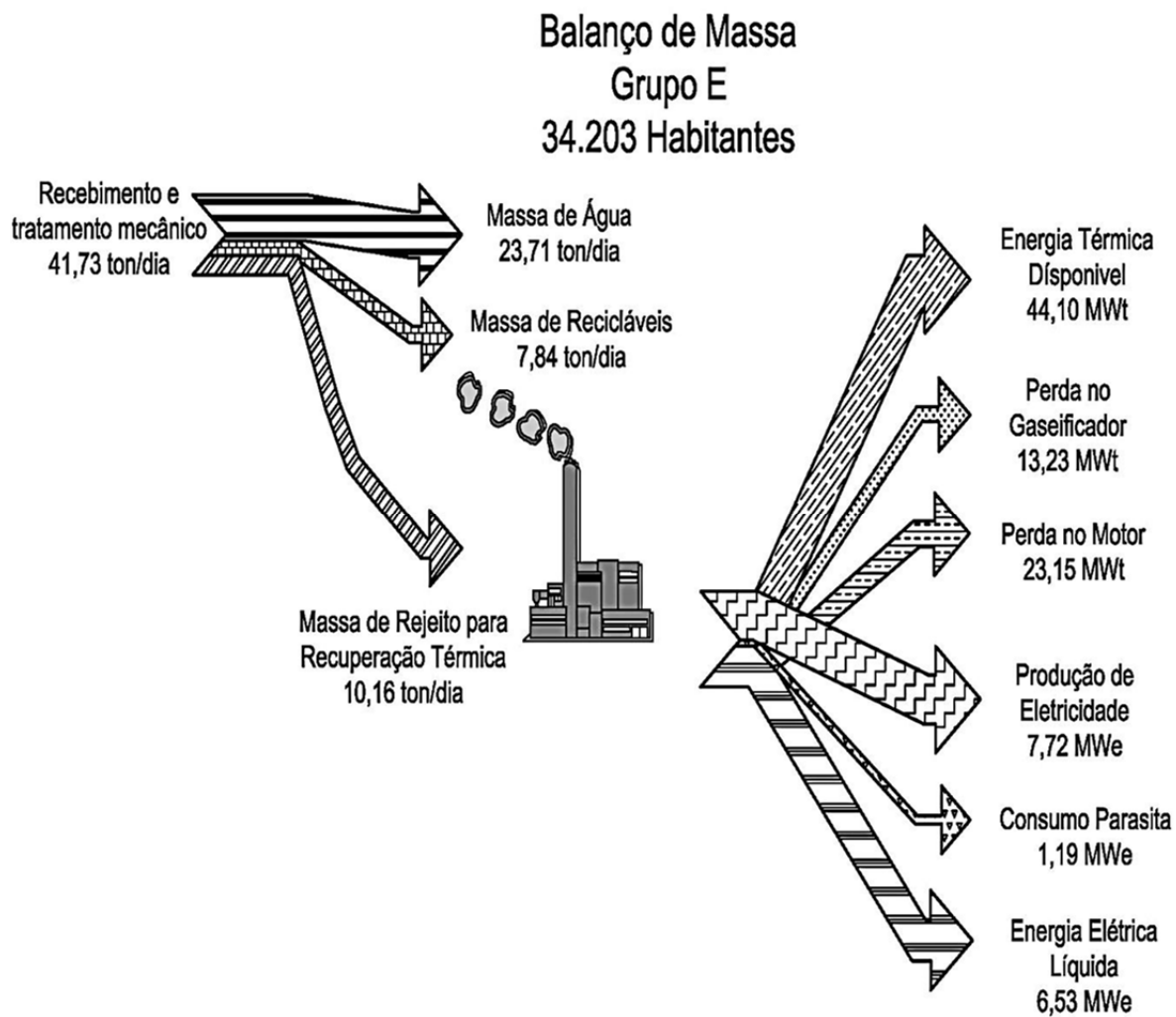
Balanço de Massa Grupo C



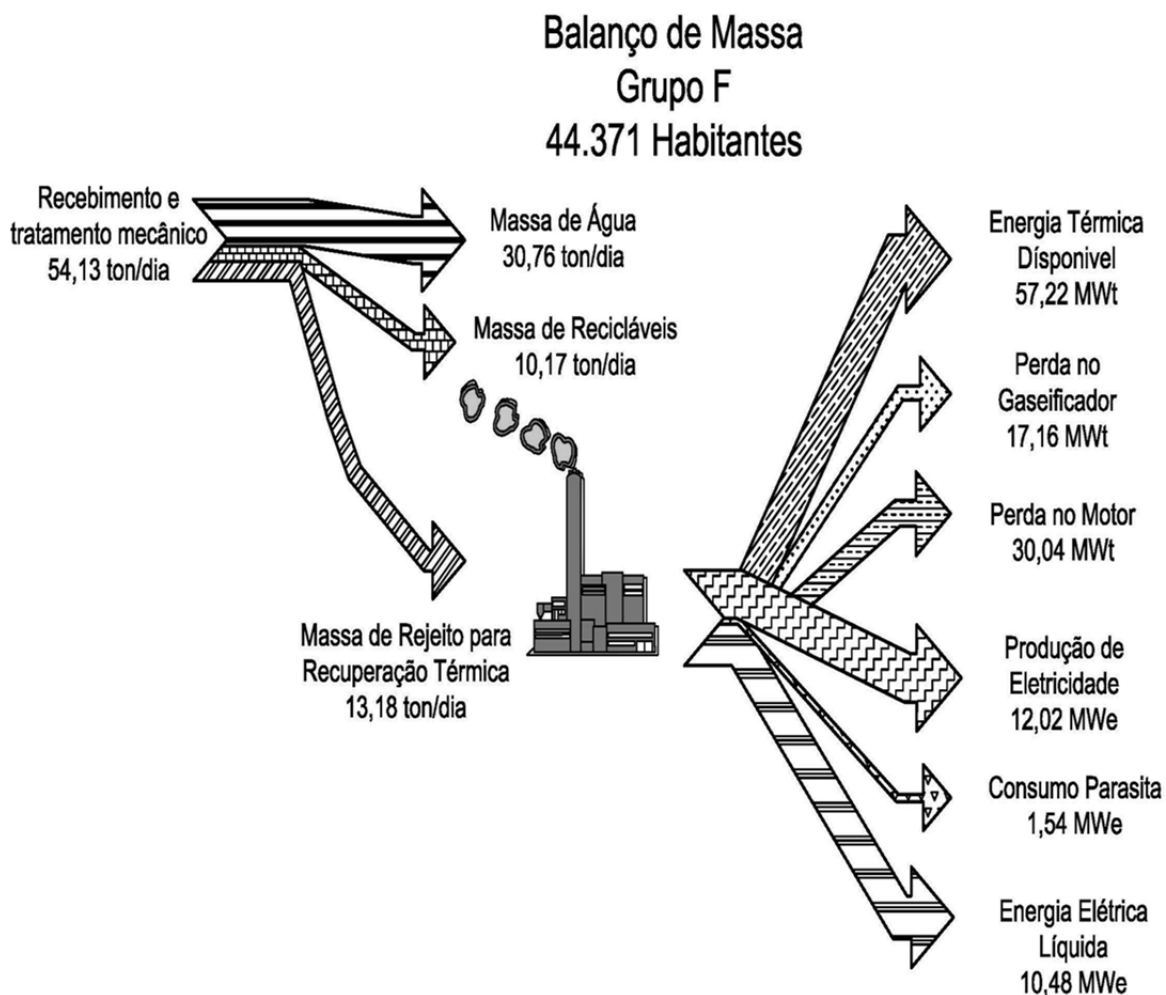
Balanço de Massa Grupo D



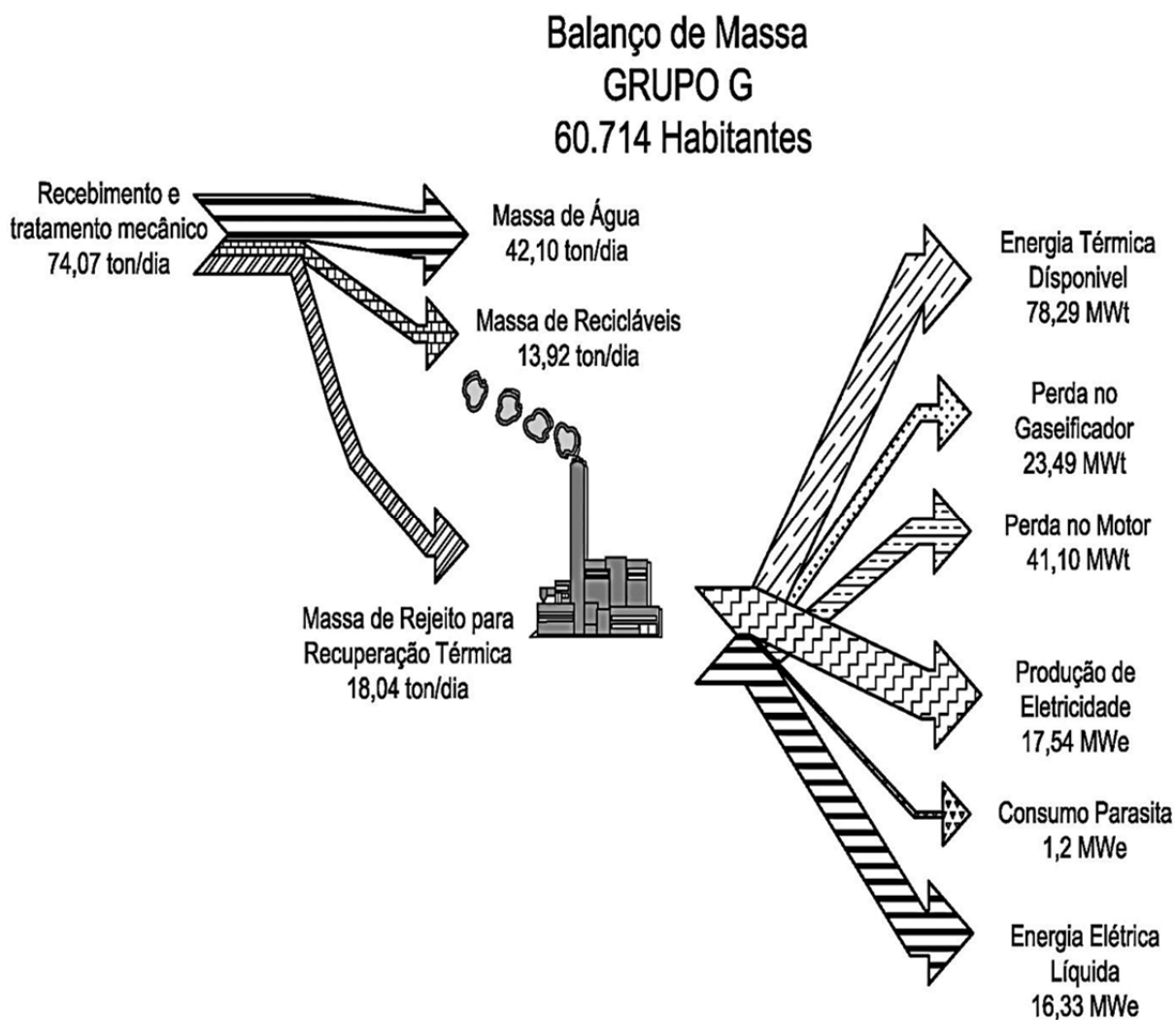
Balço de Massa Grupo E



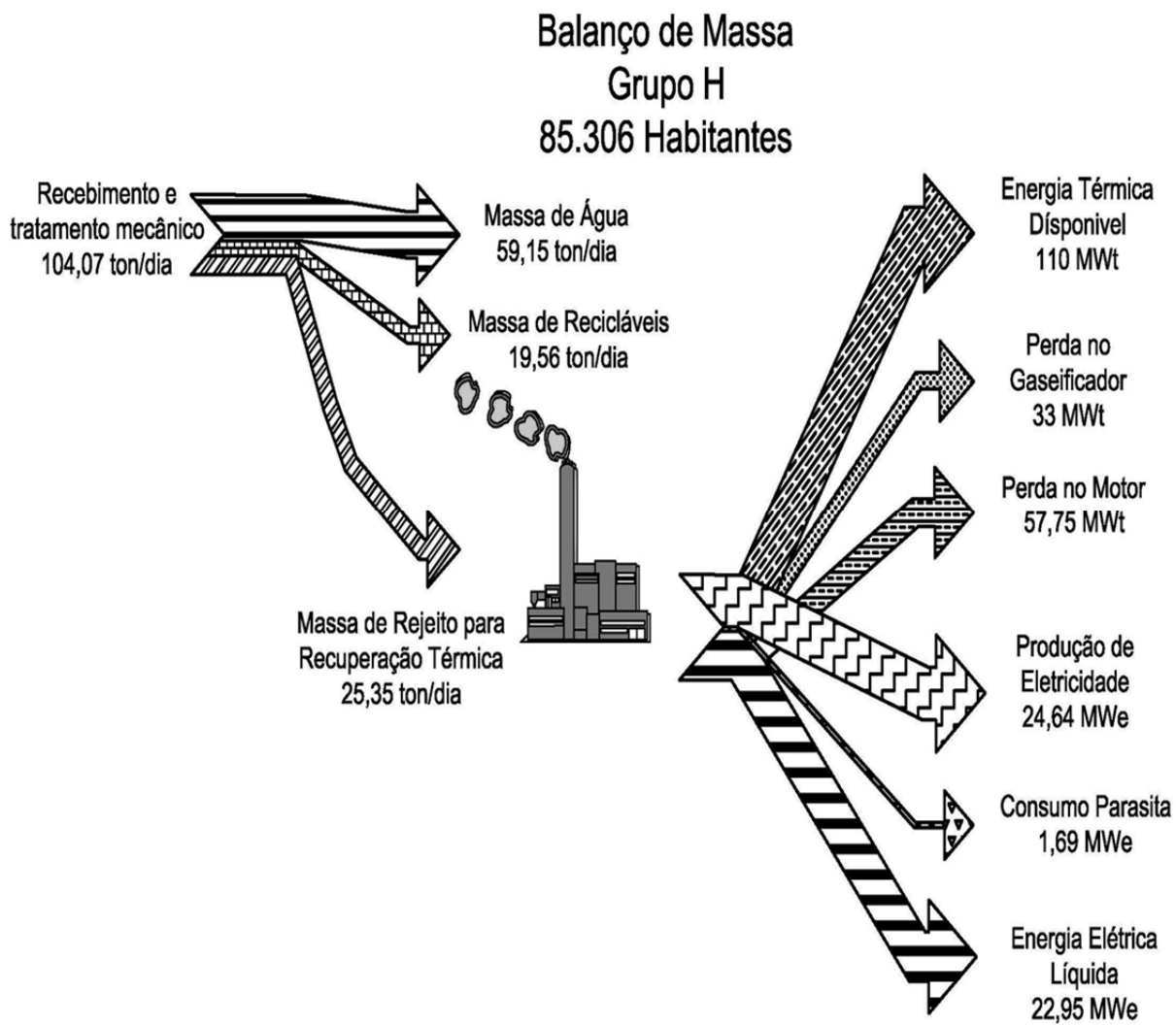
Balanço de Massa Grupo F



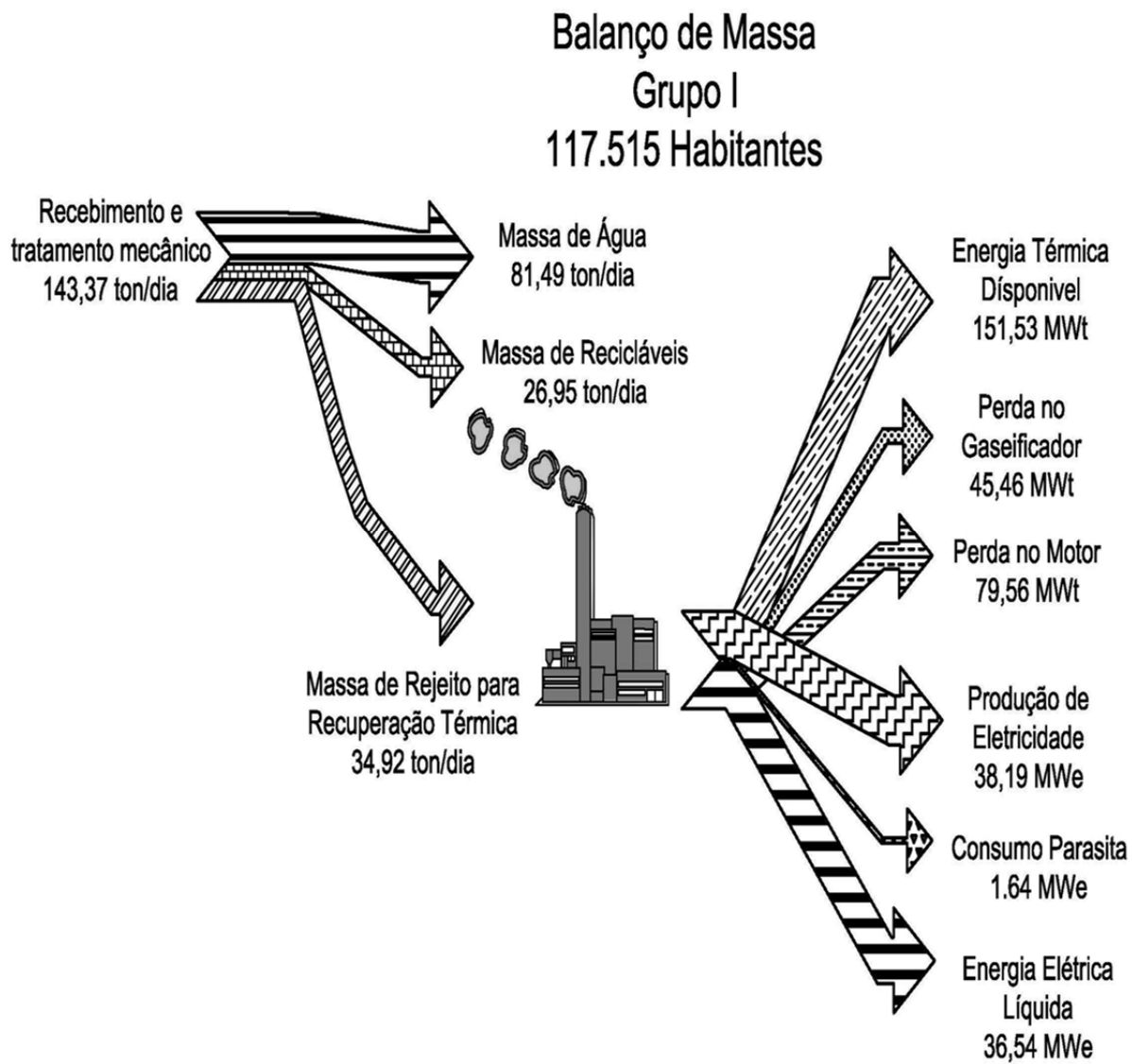
Balanço de Massa Grupo G



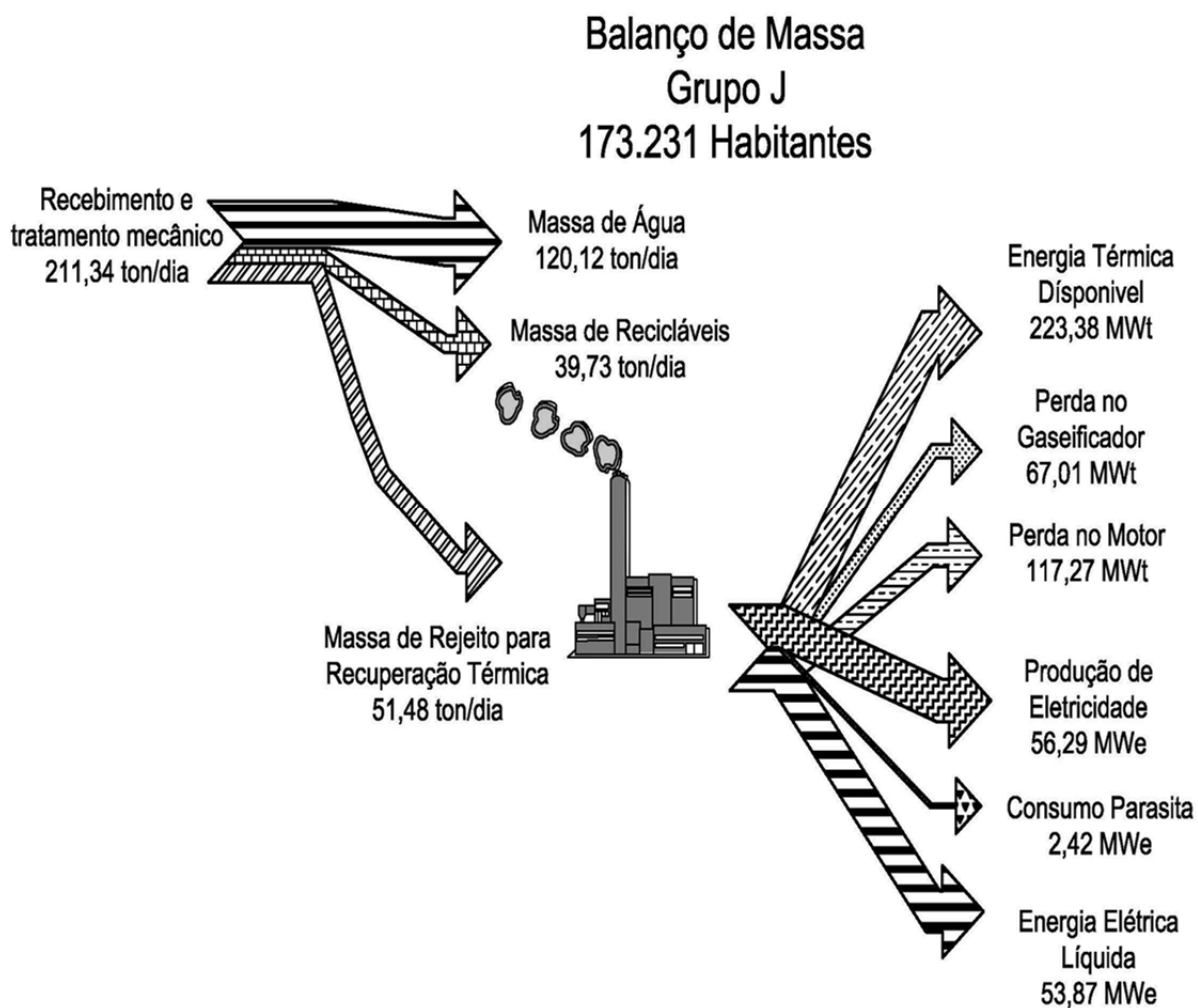
Balanço de Massa Grupo H



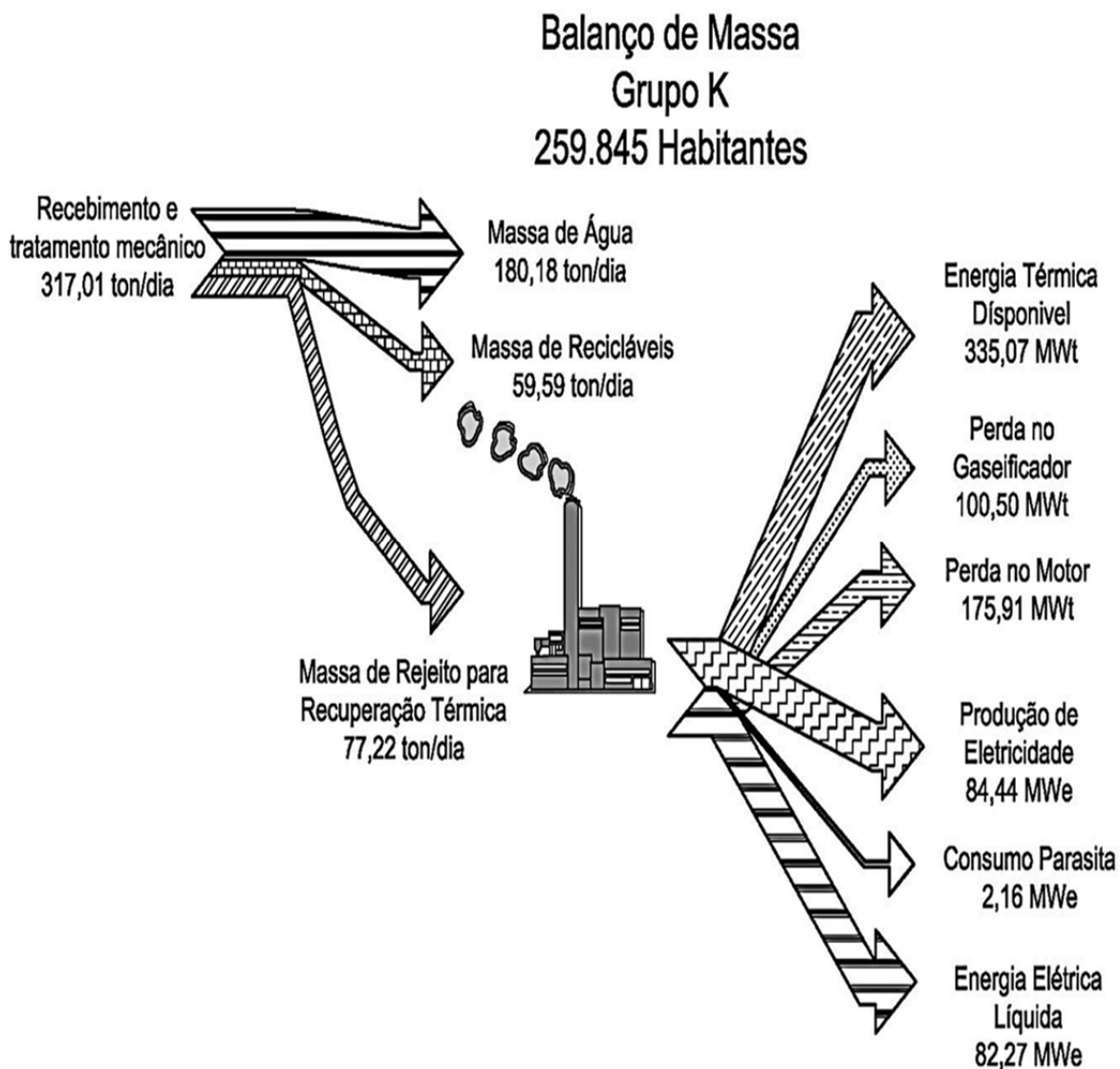
Balanço de Massa Grupo I



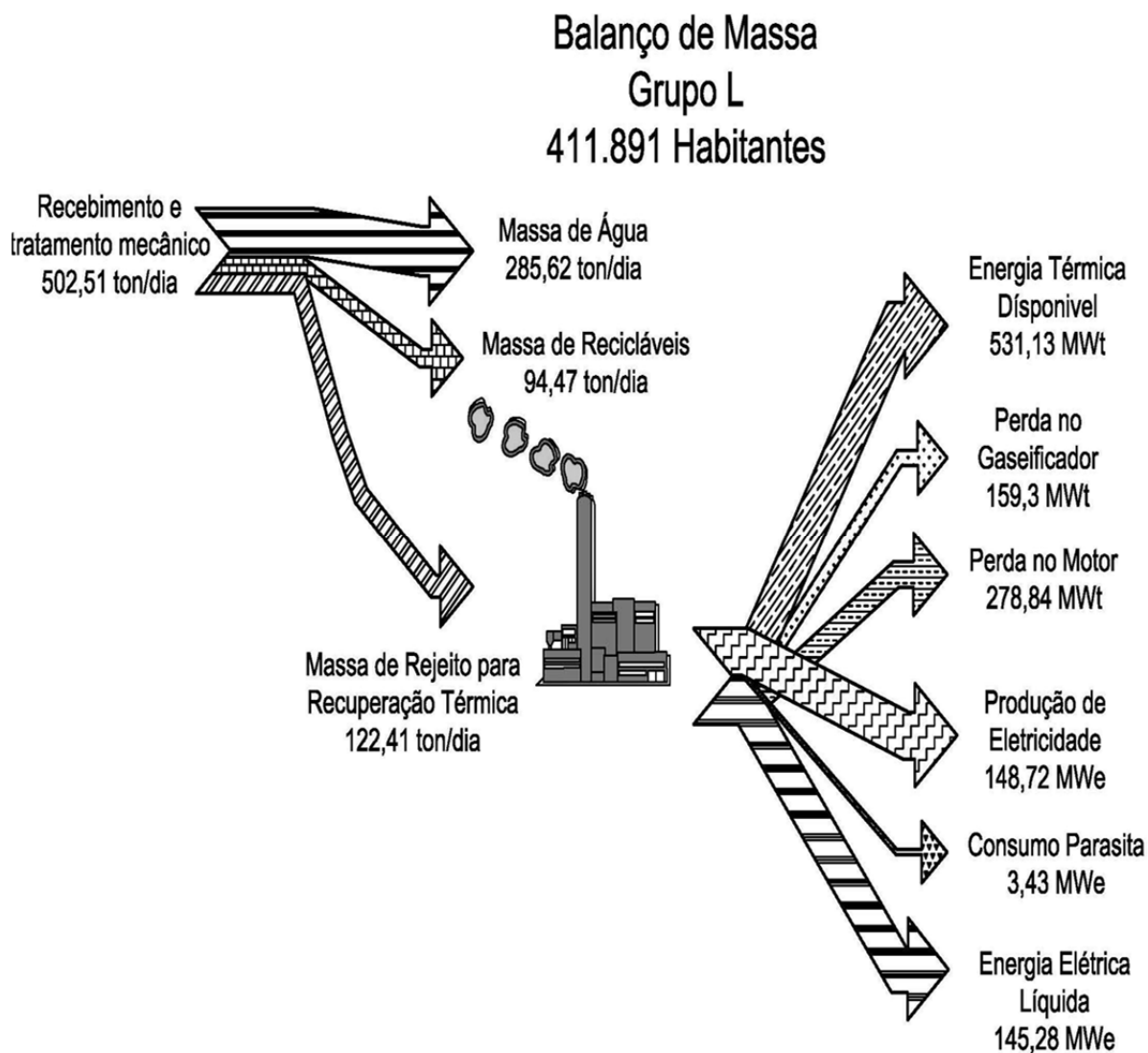
Balço de Massa Grupo J



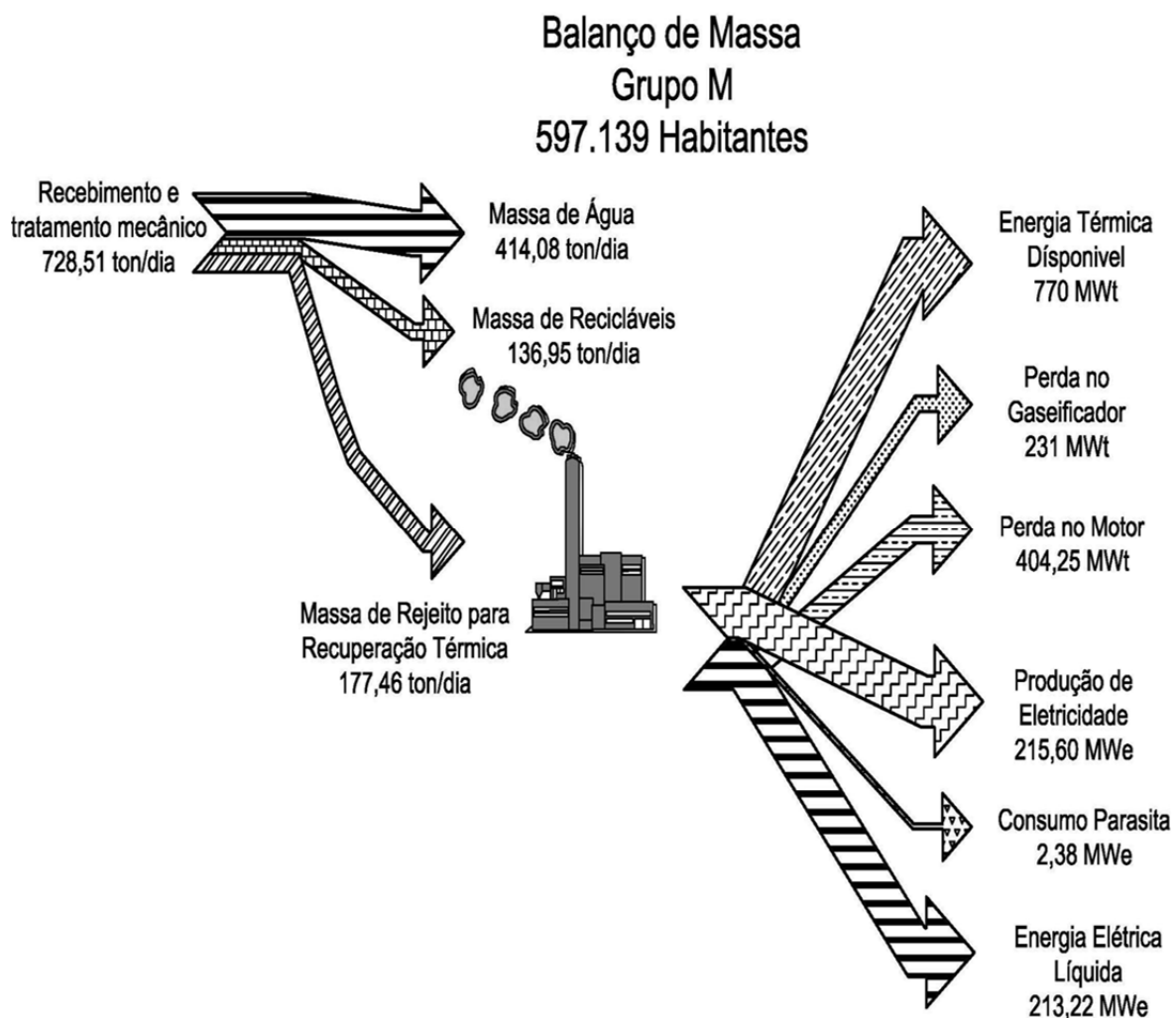
Balanço de Massa Grupo K



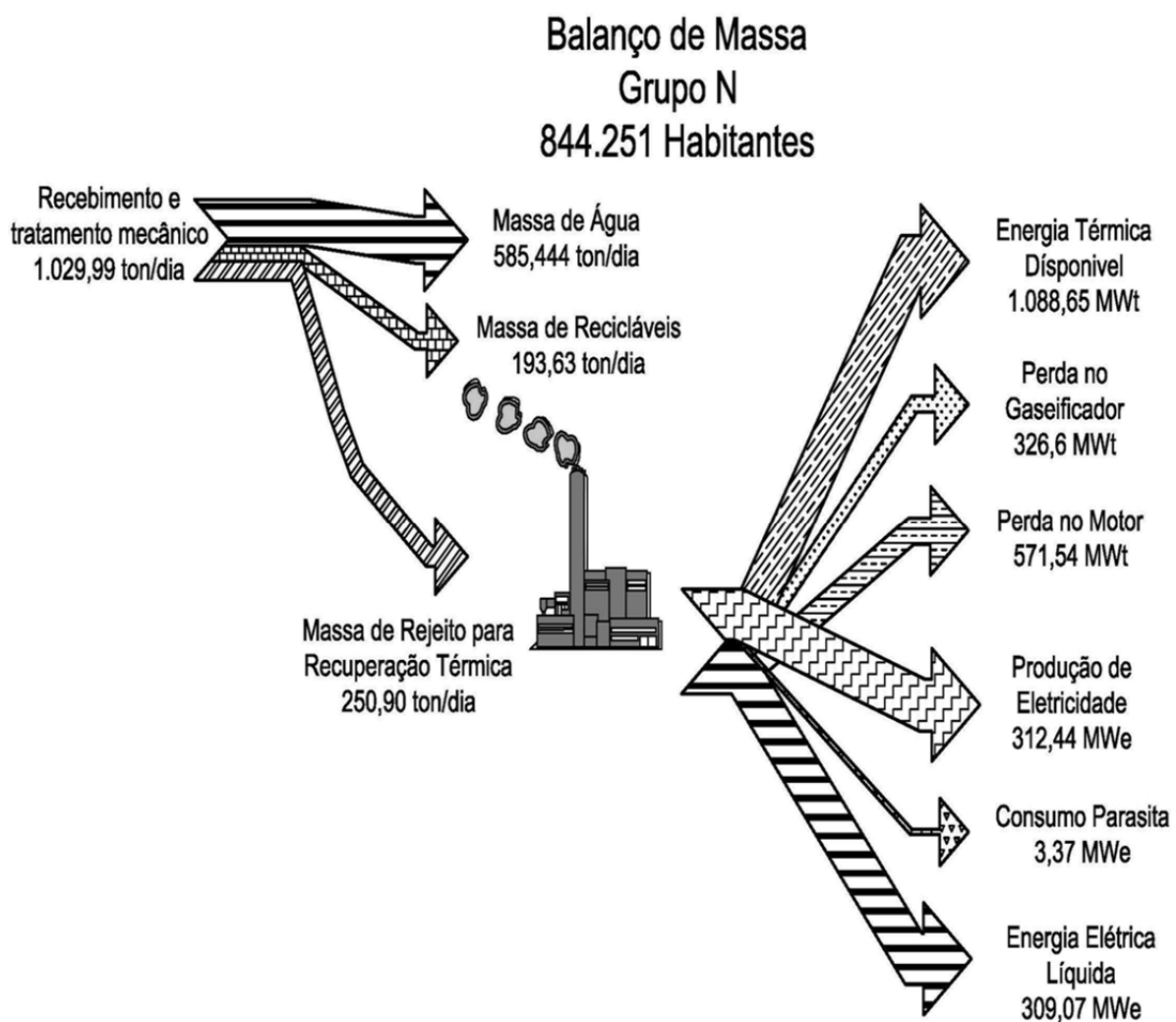
Balanço de Massa Grupo L



Balanço de Massa Grupo M



Balanço de Massa Grupo N



Balanço de Massa Grupo O

