

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Projeto Final de Graduação

Análise da Viabilidade de Diferentes Planos de Expansão em Diferentes Futuros Possíveis

21 de agosto de 2023

Filipy César Pereira da Silva

Sumário

1 Introdução e Revisão Bibliográfica

- O Problema do planejamento de expansão

2 Metodologia

- SDDP;
- OptGen;
- OptDec.

3 Estudo de Casos e Resultados

- Primeiro Caso (Caso Exemplo);
- Segundo Caso (PDE 2030).

4 Conclusões

5 Referência Bibliográfica

Sumário

1 Introdução e Revisão Bibliográfica

- O Problema do planejamento de expansão

2 Metodologia

- SDDP;
- OptGen;
- OptDec.

3 Estudo de Casos e Resultados

- Primeiro Caso (Caso Exemplo);
- Segundo Caso (PDE 2030).

4 Conclusões

5 Referência Bibliográfica

1. Introdução e Revisão Bibliográfica

O planejamento de expansão do sistema elétrico é uma tarefa complexa e desafiadora, especialmente quando são consideradas as incertezas inerentes ao ambiente em que o setor elétrico opera. Com a crescente demanda por energia, mudanças nas políticas governamentais, avanços tecnológicos e incertezas climáticas, é essencial que os planejadores de energia considerem cuidadosamente os diferentes cenários e variáveis em jogo ao elaborar estratégias de expansão.

1. Introdução e Revisão Bibliográfica

O problema do planejamento de expansão

- **Demanda:**

- Consumo atual;
- Crescimento populacional;
- Desenvolvimento industrial.

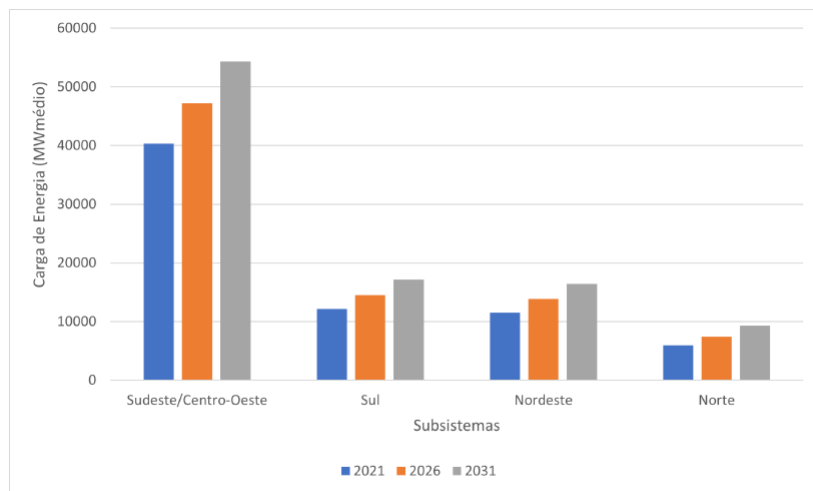


Figura 2.2: Projeção decenal da carga de energia do SIN em MW Médio.

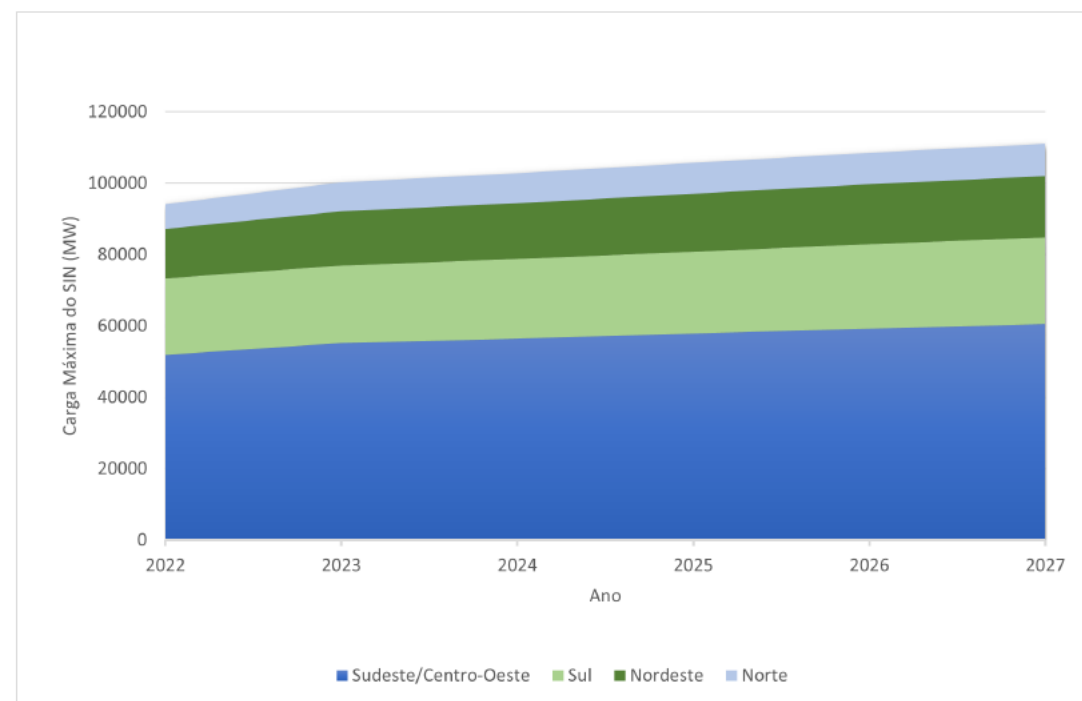


Figura 2.1: Projeção de carga do sistema interligado nacional.

1. Introdução e Revisão Bibliográfica

O problema do planejamento de expansão

- Matriz Elétrica e Energética:**

- Segurança;
- Sustentabilidade;
- Incerteza climática;
- Controle de fontes energéticas.

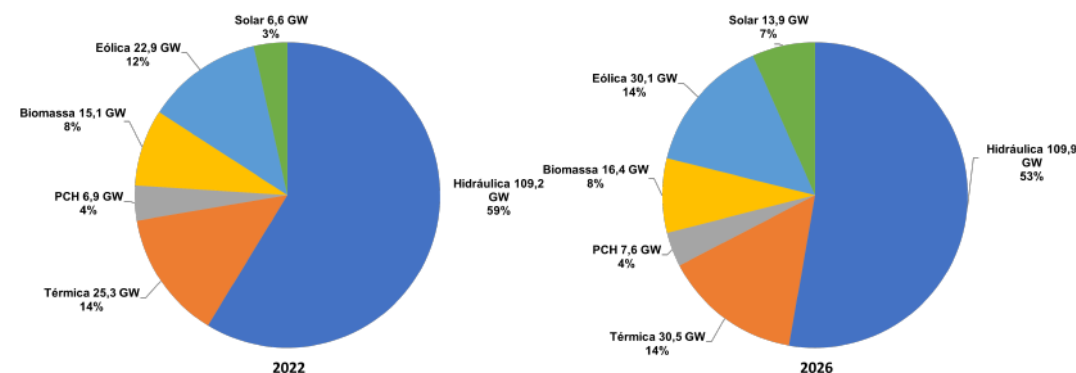


Figura 2.5: Projeção da capacidade instalada do SIN de 2022 até 2026.

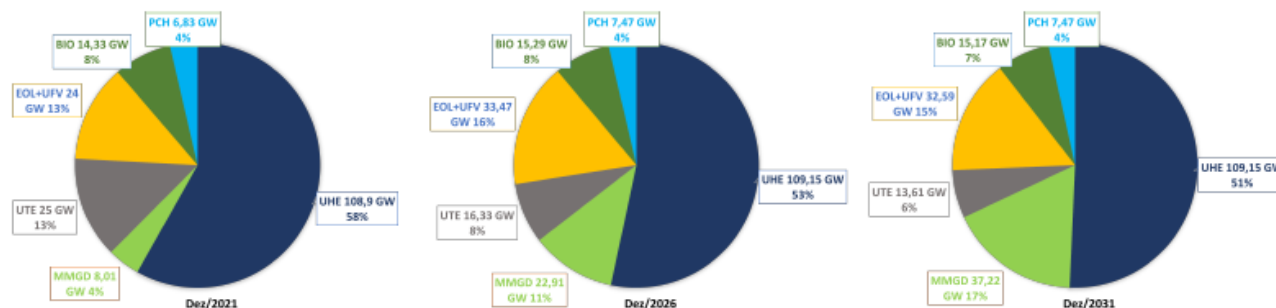


Figura 2.6: Evolução da capacidade instalada do SIN de 2021 até 2031.

1. Introdução e Revisão Bibliográfica

O problema do planejamento de expansão

- **Transmissão:**
 - Fornecimento eficiente;
 - Transferência de energia para locais remotos;
 - Parques eólicos e usinas solares;
 - Aumento da carga e da capacidade de geração de energia;
 - Localização da demanda futura;
 - Redução da perda de energia durante a transmissão.

1. Introdução e Revisão Bibliográfica

O problema do planejamento de expansão

- Transmissão:**

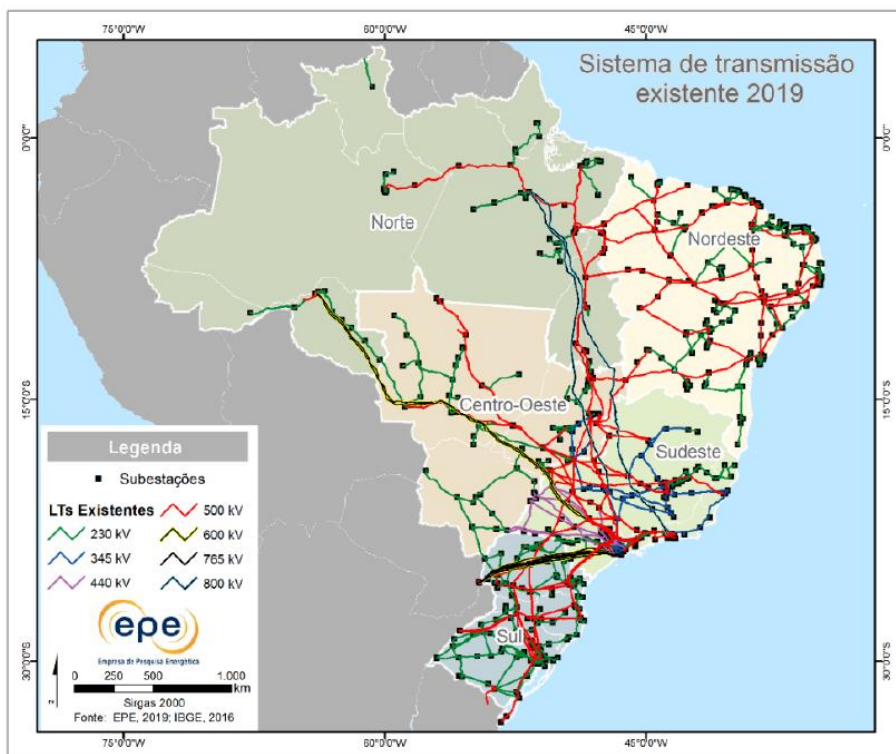


Figura 2.7: Linhas de transmissão do SIN em operação – 2019.

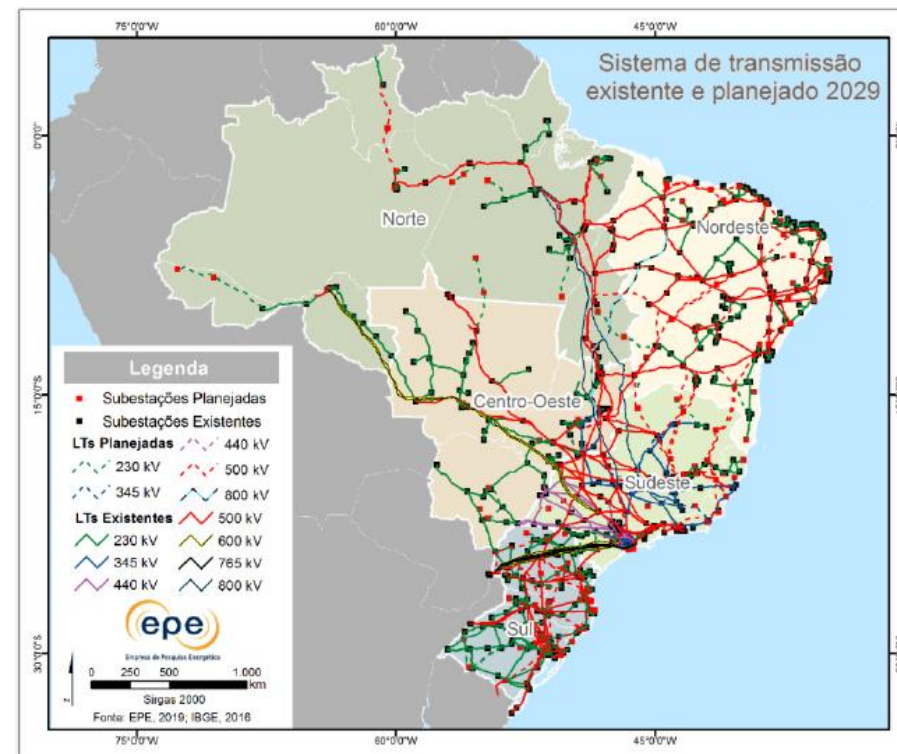


Figura 2.8: Projeção das linhas de transmissão do SIN – 2029.

1. Introdução e Revisão Bibliográfica

O problema do planejamento de expansão

- Transmissão:**

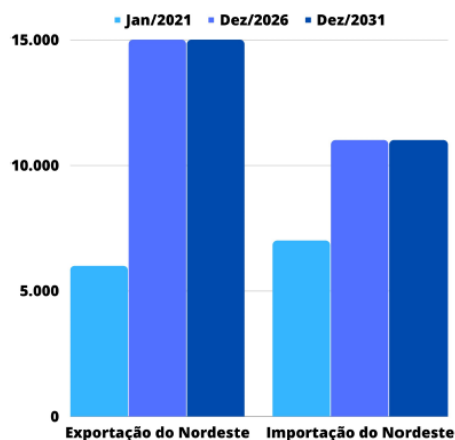


Figura 2.9: Progresso na média da capacidade de exportação/importação total do subsistema Nordeste.

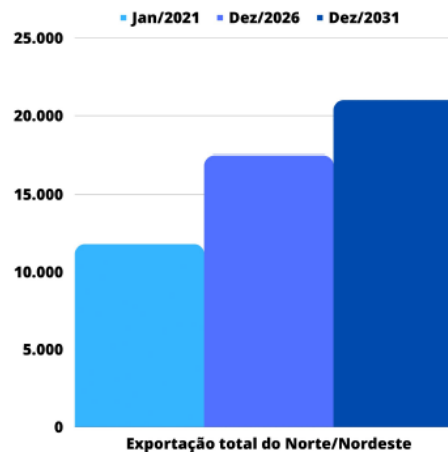


Figura 2.10: Progresso na média da capacidade de exportação total do subsistemas Norte/Nordeste.

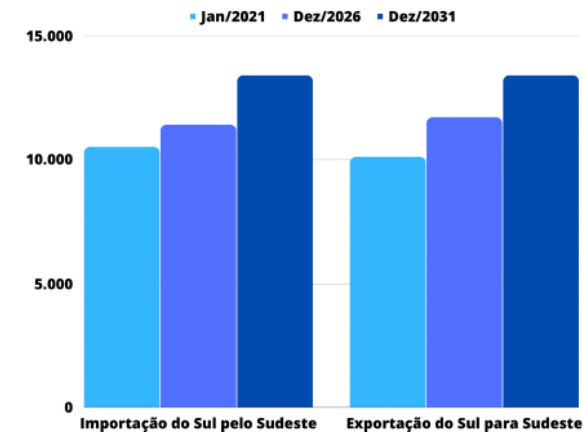


Figura 2.11: Progresso na média da capacidade de importação/exportação total do subsistema Sul.

1. Introdução e Revisão Bibliográfica

O problema do planejamento de expansão

- **Análise Financeira:**

- Custos associados construção de novas usinas de geração;
- Custos associados construção de linhas de transmissão;
- Modernização e manutenção das instalações existentes;
- Considerar custos operativos e manutenção ao longo do tempo;
- Estimar vida útil das infraestruturas
- Valor Presente Líquido (VPL);
- Taxa Interna de Retorno (TIR).

1. Introdução e Revisão Bibliográfica

O problema do planejamento de expansão

- **Resiliência do Sistema:**

- Inclusão de medidas de contingência;
- Desastres naturais;
- Vandalismo;
- Falhas de equipamentos;
- Sobrecargas inesperadas;
- Sistemas de armazenamento de energia (baterias e reversíveis);
- Rotas alternativas de transmissão;
- Diversificação de fontes de geração;
- Sistemas de backup (geradores reservas);
- Automação do sistema elétrico.

Sumário

1 Introdução e Revisão Bibliográfica

- O Problema do planejamento de expansão

2 Metodologia

- SDDP;
- OptGen;
- OptDec.

3 Estudo de Casos e Resultados

- Primeiro Caso (Caso Exemplo);
- Segundo Caso (PDE 2030).

4 Conclusões

5 Referência Bibliográfica

2. Metodologia - SDDP

O SDDP é um modelo de despacho hidrotérmico utilizado em estudos operativos de curto, médio e longo prazo para sistemas elétricos complexos. Ele permite análises detalhadas em etapas mensais ou semanais ou até a nível horário. Além disso, é aplicado na minimização de custos em sistemas de eletricidade e gás, com uma representação abrangente de aspectos como sistemas hidrelétricos, geração renovável, transmissão, limites de emissões e demanda variável.

Apesar das usinas hidrelétricas não possuírem um custo operacional direto, elas acarretam um custo de oportunidade que reflete os benefícios resultantes da produção de energia no futuro. Esse custo é influenciado por uma análise das consequências da decisão de armazenar ou utilizar a água em todos os futuros possíveis.

2. Metodologia - SDDP

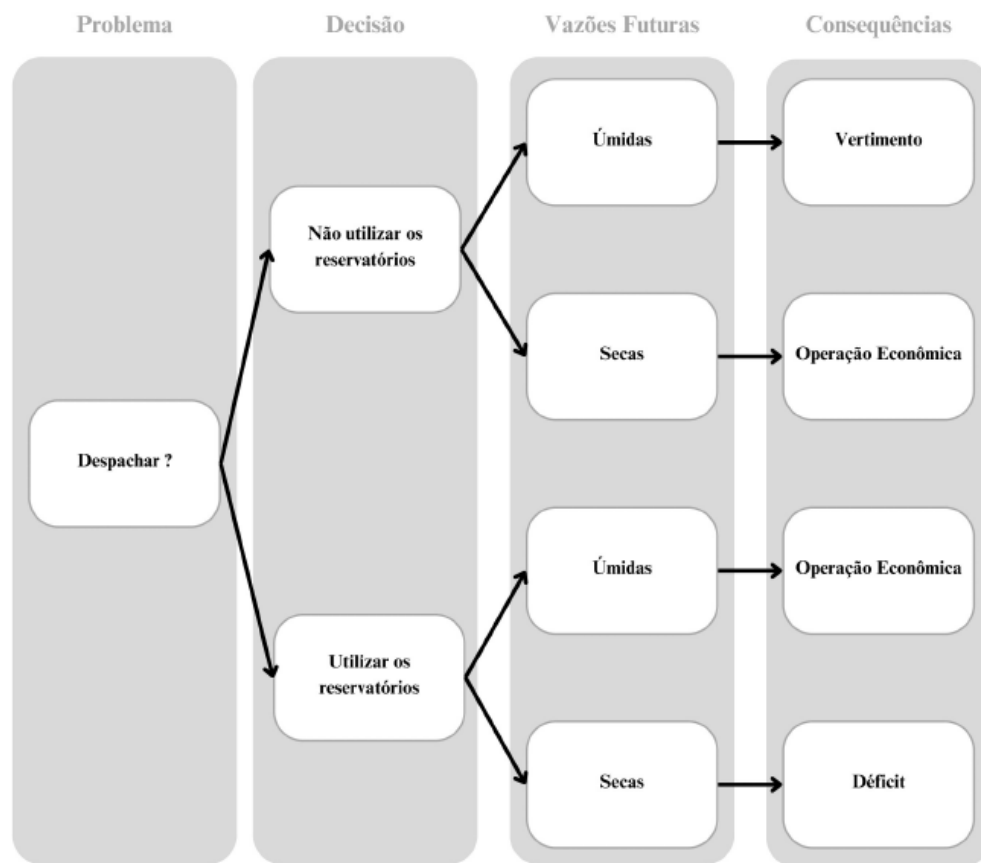


Figura 3.1: Decisão do operador.

2. Metodologia - SDDP

O modelo representa os seguintes elementos:

- Usinas hidrelétricas;
- Usinas termelétricas;
- Energia renovável intermitente;
- Baterias e outros dispositivos de armazenamento rápido;
- Rede de transmissão;
- Rede de gás natural;
- Hidrogênio e processos de eletrificação;
- Co-otimização dos mercados de energia e reserva;
- Reserva dinâmica probabilística;
- Entre outros

2. Metodologia - OptGen

OptGen é um modelo de planejamento de expansão de longo prazo que determina as decisões de dimensionamento e cronograma de menor custo para construção, desativação e reforço de capacidades de geração, rede de transmissão e gasodutos de gás natural.

O objetivo do OptGen é fornecer resultados que ajudem tanto os planejadores no processo de tomada de decisão de expansão quanto os agentes do mercado, para que tenham a melhor visão possível da expansão do sistema.

Alguns aspectos na modelagem:

- Flexibilidade de etapas de investimento e operação (ano, semestre, trimestre, mês);
- Decisões de investimento representadas por variáveis inteiras, contínuas ou binárias;
- Projetos opcionais e obrigatórios;
 1. O modelo decide sobre todos os reforços;
 2. O modelo não decide sobre os reforços, i.e., ele calcula os custos de investimentos e vai direto para a simulação (Plano Fixo);
 3. O modelo representa um plano parcial com variáveis de decisão de investimento pré-fixadas em "1" e prossegue com a otimização do plano de expansão para os reforços restantes.
- Conjuntos de projetos associados;
- Conjuntos de projetos mutuamente exclusivos;

2. Metodologia - OptGen

Integração OptGen/SDDP

O OptGen otimiza o trade-off entre os custos de investimento para construir novos projetos e o valor esperado dos custos operacionais obtidos a partir do SDDP.

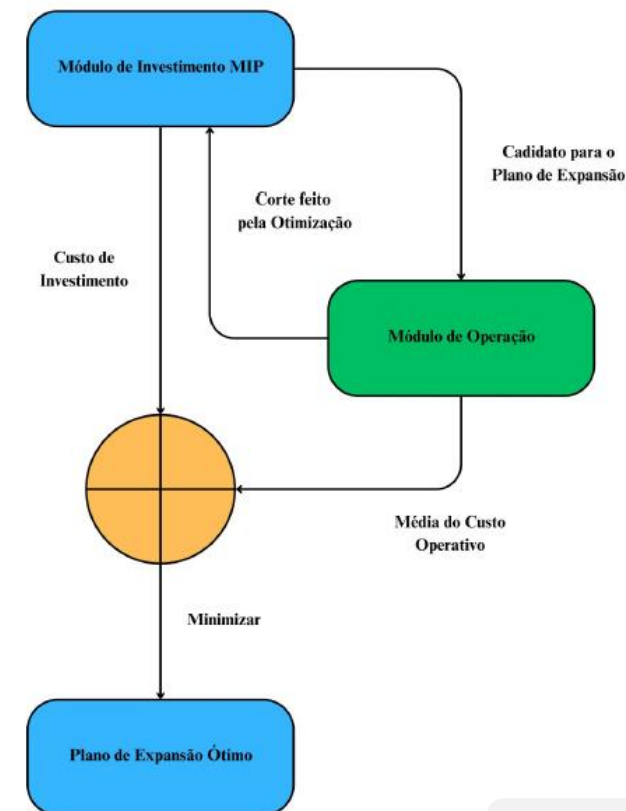
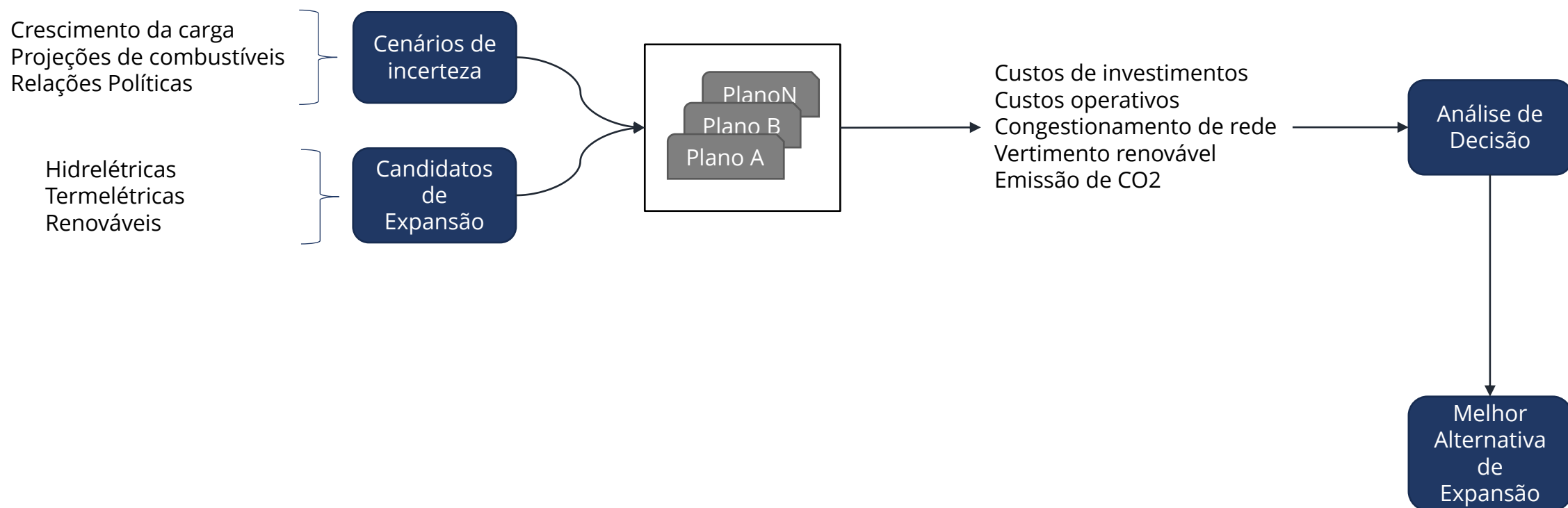


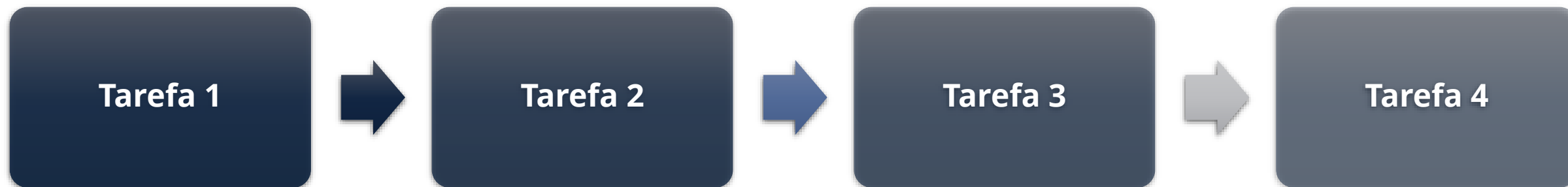
Figura 3.5: Integração SDDP e OptGen.

2. Metodologia - OptDec

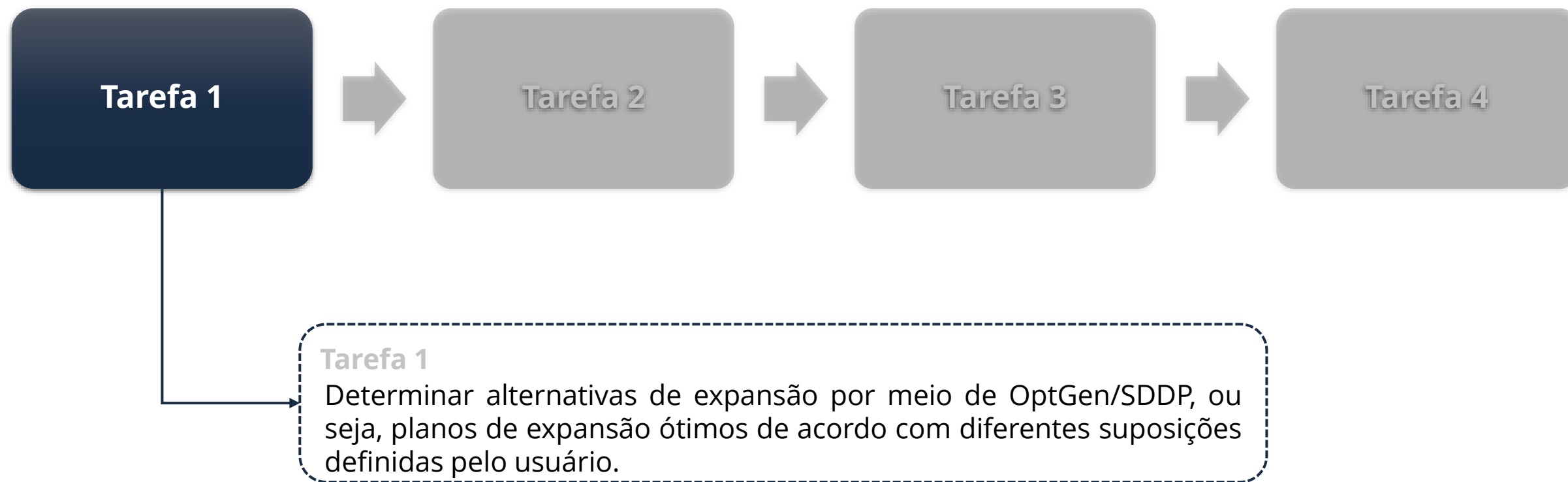


2. Metodologia - OptDec

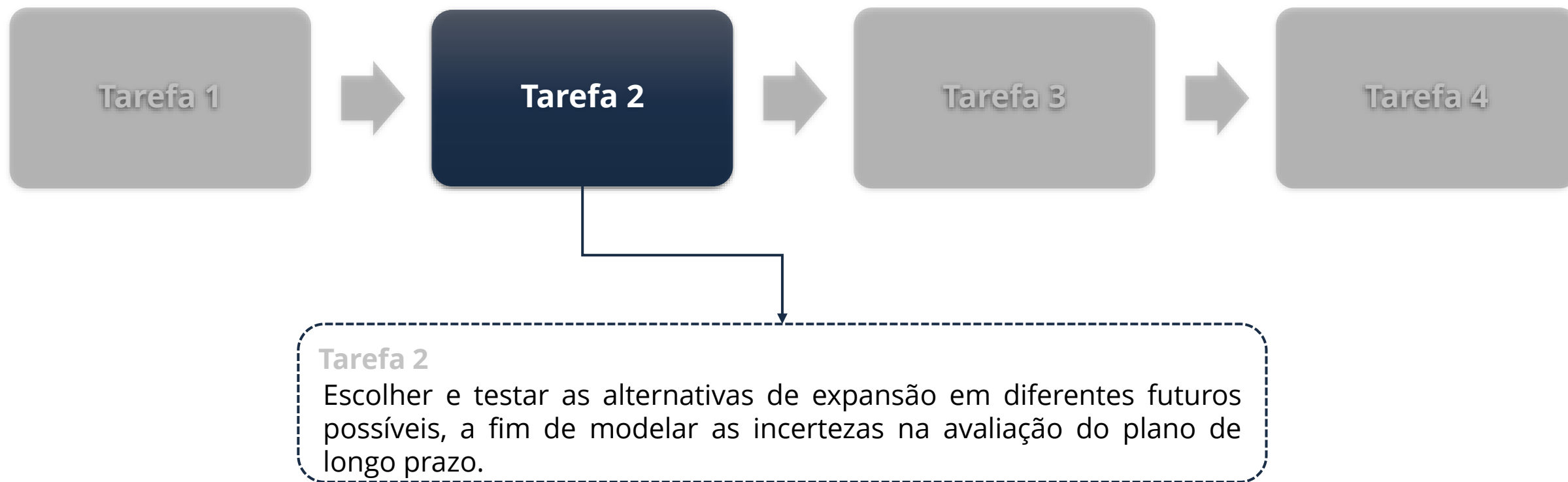
O fluxo do processo é dividido em quatro tarefas principais como descrito a seguir:



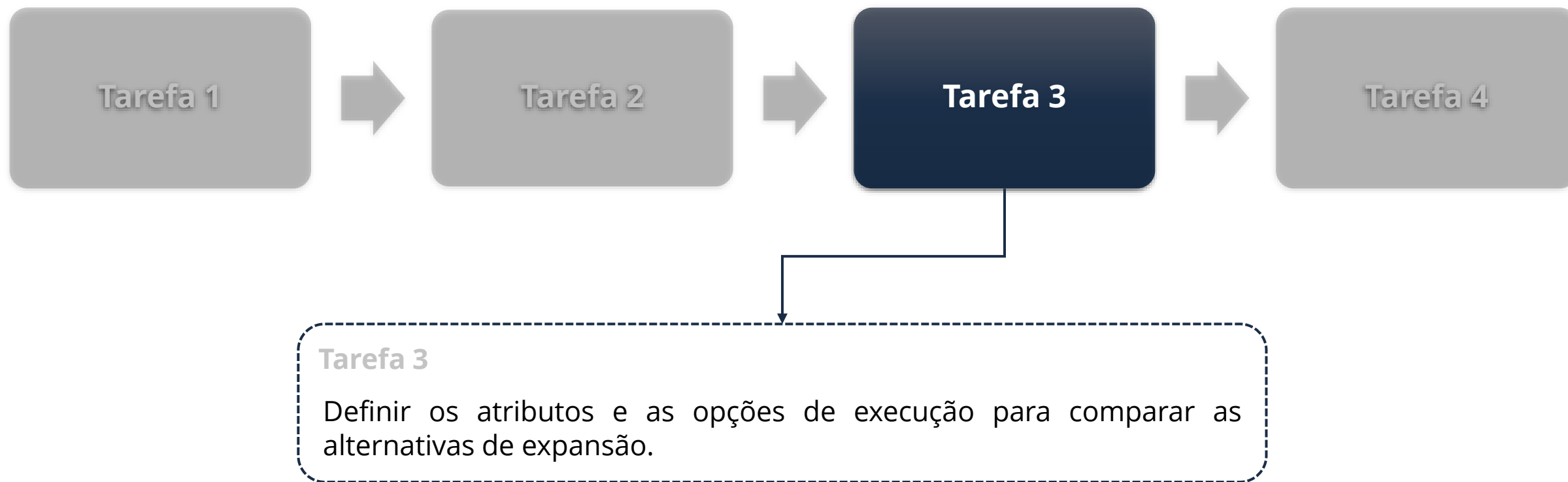
2. Metodologia - OptDec



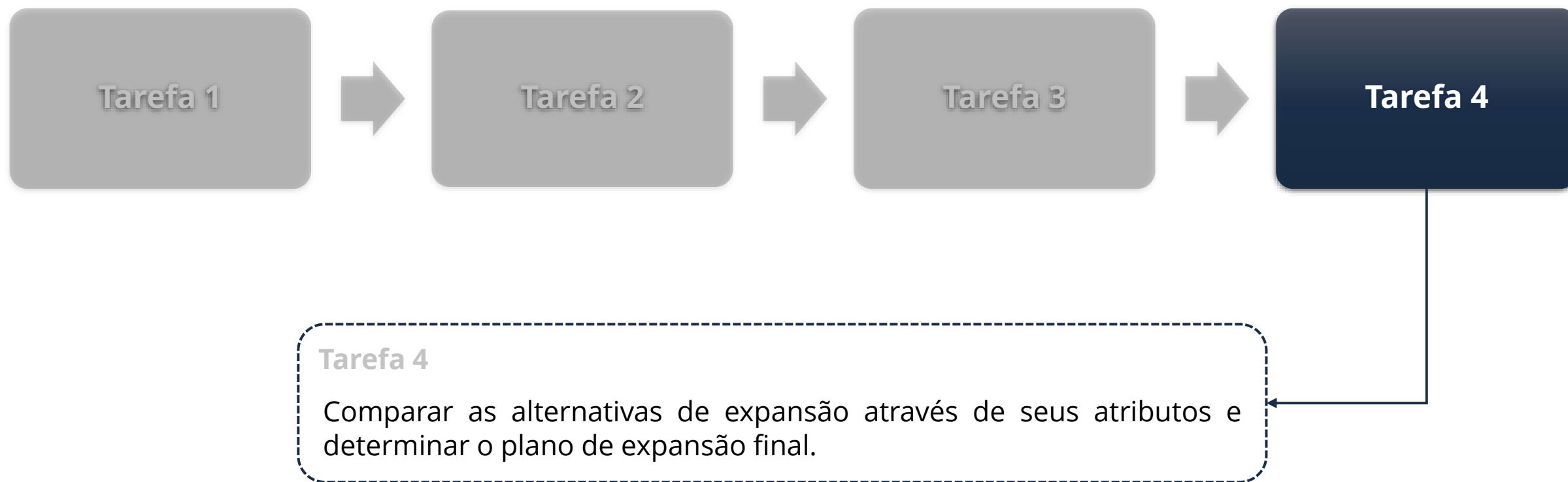
2. Metodologia - OptDec



2. Metodologia - OptDec



2. Metodologia - OptDec

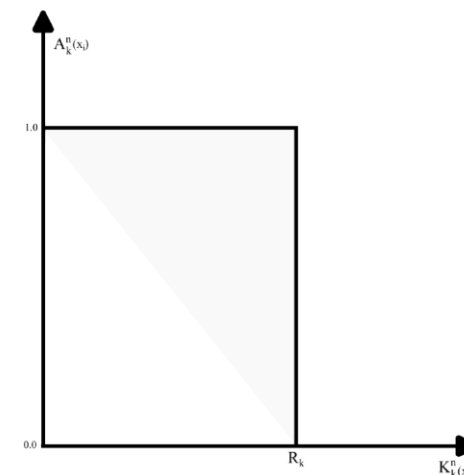


2. Metodologia - OptDec

Configuração dos Atributos

- **Tipo de saída:** OPTGEN/SDDP ou CSV customizado.
- **Peso**
- **Função de tratamento de variáveis:**
 - **Valor Direto:** utiliza os valores do atributo em questão.
 - **Valor Negativo:** utiliza os valores negativos do atributo em questão.
 - **Função Binária:**

$$\begin{aligned} S[A_k^n(x_i)] &= 1 & \text{se} & & (x_i) \leq R_k \\ S[A_k^n(x_i)] &= 0 & & & \text{Caso Contrário} \end{aligned}$$



2. Metodologia - OptDec

Configuração dos Atributos

- Função binária percentual:

$$\delta_k^n(x_i) = \frac{[A_k^n(x_i) - R_k]}{R_k}$$

$$\begin{aligned} S[A_k^n(x_i)] &= 1 & \text{se} & \quad \delta_k^n(x_i) \leq \beta \\ S[A_k^n(x_i)] &= 0 & \text{Caso Contrário} \end{aligned}$$

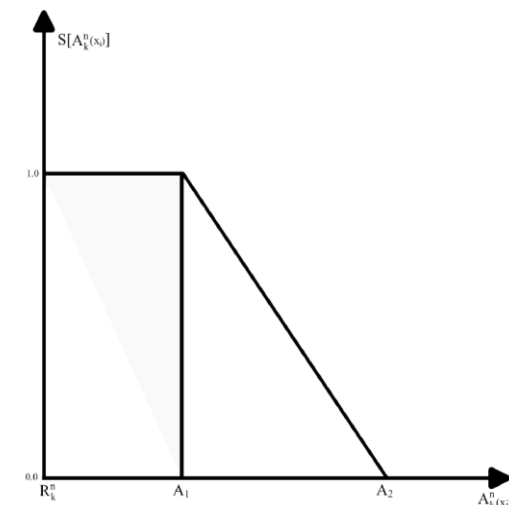
2. Metodologia - OptDec

Configuração dos Atributos

- Função fuzzy:

$$\begin{aligned}
 S[A_k^n(x_i)] &= 1 & \text{se} & \delta_k^n(x_i) \leq \beta_1 \\
 S[A_k^n(x_i)] &= \lambda * 1 & \text{se} & \delta_k^n(x_i) \leq \lambda * \beta_1 + (1 - \lambda) * \beta_2, \lambda \in [0,1] \\
 S[A_k^n(x_i)] &= 0 & \text{se} & \delta_k^n(x_i) \geq \beta_2
 \end{aligned}$$

- $\delta_k^n(x_i) = \frac{[A_1 - R_k]}{R_k} = \beta$
- $A_1 = (1 + \beta_1) * R_k$
- $A_2 = (1 + \beta_2) * R_k$



2. Metodologia - OptDec

Configuração dos Atributos

- **Agregação de etapas:**
 - Somar etapas
 - Usar taxa de desconto
- **Agregação dos cenários do plano de expansão:**
 - Utilizar valor esperado
 - Utilizar CVaR
- **Agregação de futuros possíveis:**
 - Utilizar valor esperado
 - Utilizar CVaR

2. Metodologia - OptDec

Opções de Execução

- **Minimização dos custos:**

- Minimizar máximo arrependimento
- Minimizar custo máximo
- Minimizar custo médio

- **Maximização da satisfação:**

- Minimizar máximo arrependimento
- Maximizar satisfação mínima
- Maximizar satisfação média

Sumário

1 Introdução e Revisão Bibliográfica

- O Problema do planejamento de expansão

2 Metodologia

- SDDP;
- OptGen;
- OptDec.

3 Estudo de Casos e Resultados

- Primeiro Caso (Caso Exemplo);
- Segundo Caso (PDE 2030).

4 Conclusões

5 Referência Bibliográfica

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Características do Caso

- Horizonte: 2 Anos
- Etapas: Mensais
- Cenários: 10 Forwards e 10 Backwards
- Sistemas: 1
- Interconexões: 0

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Características do Caso

Tabela 4.1: Usinas térmicas do Caso Exemplo.

Usinas Térmicas			
Nome	Custo de Inv. (\$/kW)	Custo Operativo (\$/MWh)	Capacidade (MW)
T1	-	8	12
T2	-	12	8
T3	-	14,4	4
T4	50	8	10
T5	20	12	10

Tabela 4.2: Usinas hidrelétricas do Caso Exemplo.

Usinas Hidrelétricas				
Nome	Custo de Inv. (\$/kW)	Fator de prod. (MW/m ³ /s)	Turb. Máx. (m ³ /s)	Capacidade (MW)
H1	60	0,2	50	10
H2	60	0,2	50	10

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Características do Caso

Tabela 4.3: Demanda utilizada no Caso Exemplo.

Demanda (GWh)		
	1º Ano	2º Ano
Jan	11.7	17.55
Fev	10.8	16.2
Mar	12.5	18.75
Abr	13.7	20.55
Mai	14.6	21.9
Jun	14.8	22.2
Jul	15.8	23.7
Ago	16.2	24.3
Set	15.3	22.95
Out	14.5	21.75
Nov	12.9	19.35
Dez	12.5	18.75

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Características do Caso – Plano A

Tabela 4.4: Decisão de expansão obtida pelo OptGen.

Decisão de Expansão	
Plano de Expansão	H1 + H2 + T5
Custo de Investimento (M\$)	1,4
Custo Operativo (M\$)	1,84
Custo Total (M\$)	3,24

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Características do Caso – Plano B

- A T4 foi fixada.

Tabela 4.5: Decisão de expansão obtida pelo OptGen.

Decisão de Expansão	
Plano de Expansão	H1 + H2 + T4
Custo de Investimento (M\$)	1,7
Custo Operativo (M\$)	1,66
Custo Total (M\$)	3,36

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Futuros Possíveis – Futuro 1

Tabela 4.1: Usinas térmicas do Caso Exemplo.

Usinas Térmicas			
Nome	Custo de Inv. (\$/kW)	Custo Operativo (\$/MWh)	Capacidade (MW)
T1	-	8	12
T2	-	12	8
T3	-	14,4	4

Tabela 4.3: Demanda utilizada no Caso Exemplo.

Demanda (GWh)		
	1º Ano	2º Ano
Jan	11.7	17.55
Fev	10.8	16.2
Mar	12.5	18.75
Abr	13.7	20.55
Mai	14.6	21.9
Jun	14.8	22.2
Jul	15.8	23.7
Ago	16.2	24.3
Set	15.3	22.95
Out	14.5	21.75
Nov	12.9	19.35
Dez	12.5	18.75

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Futuros Possíveis – Futuro 2

Tabela 4.6: Demanda utilizada no segundo futuro do Caso Exemplo.

- Aumento de 5% da demanda.

Demanda (GWh)		
	1º Ano	2º Ano
Jan	12.285	18.4275
Fev	11.34	17.01
Mar	13.125	19.6875
Abr	14.385	21.5775
Mai	15.33	22.995
Jun	15.54	23.31
Jul	16.59	24.885
Ago	17.01	25.515
Set	16.065	24.0975
Out	15.225	22.8375
Nov	13.545	20.3175
Dez	13.125	19.6875

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Futuros Possíveis – Futuro 3

- Projeção diferente do preço dos combustíveis.

Tabela 4.7: Custo operativo das usinas térmicas utilizadas no terceiro futuro do Caso Exemplo.

Usinas Térmicas	
Nome	Custo Operativo (\$/MWh)
T1	9
T2	20
T3	21
T4	9
T5	20

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Atributos e Opções de Execução do OptDec

Tabela 4.8: Opções escolhidas para o custo de investimento.

Custo de Investimento	
Tipo de Saída	SDDP/OptGen
Peso	1
Função	Valor Direto
Agregação de Etapas	Somar etapas
Agregação de Cenários do Plano de Expansão	Utilizar Valor Esperado
Agregação de Futuros Possíveis	Utilizar Valor Esperado

Tabela 4.9: Opções escolhidas para o custo operativo térmico.

Custo Operativo Térmico	
Tipo de Saída	SDDP/OptGen
Peso	1
Função	Valor Direto
Agregação de Etapas	Somar etapas
Agregação de Cenários do Plano de Expansão	Utilizar Valor Esperado
Agregação de Futuros Possíveis	Utilizar Valor Esperado

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Atributos e Opções de Execução do OptDec

Tabela 4.10: Opções escolhidas para o custo de déficit.

Custo de Déficit	
Tipo de Saída	SDDP/OptGen
Peso	1
Função	Valor Direto
Agregação de Etapas	Somar etapas
Agregação de Cenários do Plano de Expansão	Utilizar Valor Esperado
Agregação de Futuros Possíveis	Utilizar Valor Esperado

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Atributos e Opções de Execução do OptDec

Tabela 4.11: Opções de execução utilizadas no Caso Exemplo.

Opções de Execução	
Função Objetivo	Minimização dos Custos
Critério de Decisão	Minimizar Custo Médio

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Resultados

Tabela 4.12: Resultado da comparação dos planos de expansão executados em diferentes futuros.

Custo de Investimento+Custo Operativo Térmico+Custo de Déficit [M US\$]						
OPTDEC Caso Exemplo						
Plano de Expansão	Custo total em cada futuro possível			Valor Esperado		
	Futuro 1 Caso Base	Futuro 2 Demanda 1.05	Futuro 3 Projeção diferente de Combustível	Plano de Expansão	Custo Total	[%]
A	3236,110	3441,000	3751,640	A	3476,250	100,0%
B	3363,000	3530,680	3590,240	B	3494,640	100,5%

3. Estudo de Casos e Resultados – Segundo Caso

Características do Caso

- PDE 2030
- Horizonte: 10 Anos (2021-2030)
- Anos adicionais: 5 Anos
- Etapas: Mensais
- Cenários: 200 Forwards e 30 Backwards
- Sistemas: 14
- Interconexões: 19
- Custo de Déficit: 5249,34 R\$/MWh
- MDI e NEWAVE
- Plano fixo (OptGen)

3. Estudo de Casos e Resultados – Segundo Caso

Características do Caso – Plano A

- Cenário de Referência;
- COVID-19 – Curto Prazo;
- Crescimento moderado no horizonte decenal;
- Aprovação de reformas (infraestrutura);
- Crescimento de 2,9% ao ano do PIB;
- Capacidade instalada adicional no plano de expansão: 22459,48 MW.

3. Estudo de Casos e Resultados – Segundo Caso

Características do Caso – Plano B

- Cenário Inferior;
- COVID-19 – Mais intensa e duradoura;
- Crescimento extremamente lento no horizonte decenal;
- Crescimento nulo do PIB em 2021;
- Aprovação de reformas é dificultada;
- Crescimento de 1,7% ao ano do PIB;
- Capacidade instalada adicional no plano de expansão: 12736.7 MW

3. Estudo de Casos e Resultados – Segundo Caso

Características do Caso – Plano B

Tabela 3.13: Capacidade instalada em relação ao Plano A

Mês	Ano	Planta	Capacidade (MW)
2	2022	JUIZ DE FOR1	87
1	2024	FORTALEZA 1	327
1	2025	CUBATAO 1	216
1	2026	LINHARES 2	204
1	2027	ST.CRUIZ NOV1	500
10	2030	APERTADOS	139

- 9722 MW

3. Estudo de Casos e Resultados – Segundo Caso

Características do Caso – Plano C

- Cenário Superior;
- COVID-19 – Políticas de combate altamente eficazes;
- Forte crescimento no horizonte decenal;
- Crescimento de 5,5% do PIB em 2021;
- Aprovação de reformas;
- Crescimento de 4,1% ao ano do PIB;
- Capacidade instalada adicional no plano de expansão: 30339,43 MW

3. Estudo de Casos e Resultados – Segundo Caso

Características do Caso – Plano C

Tabela 3.14: Capacidade instalada em relação ao Plano A

Mês	Ano	Planta	Capacidade (MW)
1	2025	CANOAS 2	249
1	2025	FORTALEZA 2	327
1	2025	NORTEFLU	827
1	2025	GN CA SE	71
7	2025	GN CA SE	349
1	2026	GN CA NE	1117
1	2026	LINHARES 1	204
1	2028	CANDIOTA 3 2	350
1	2028	P. PECÉM I 2	720
1	2030	CAVACO	246
7	2030	CAVACO	83
4	2021	CANOAS 1	249
1	2024	FORTALEZA 1	327
1	2026	LINHARES 2	204
1	2028	CANDIOTA 3 1	350

+ 7879 MW

3. Estudo de Casos e Resultados – Segundo Caso

Características do Caso – Plano D

- What-if;
- Expansão obrigatória de termelétricas inflexíveis de 1000 MW ao ano a partir de 2027;
- Gás natural proveniente de bacias nacionais do Pré-Sal;
- Inflexibilidade de 80%;
- Custo do combustível de 4 US\$/MMBTU;
- Capacidade instalada adicional no plano de expansão: 24212.08 MW

3. Estudo de Casos e Resultados – Segundo Caso

Características do Caso – Plano D

Tabela 3.15: Capacidade instalada em relação ao Plano A

Mês	Ano	Planta	Capacidade (MW)
1	2026	FORTALEZA 2	327
1	2026	CANOAS 2	249
1	2026	LINHARES 1	204
1	2027	GN PRE SAL	1000
1	2028	GN PRE SAL	1000
1	2028	CANDIOTA 3 2	350
1	2029	GN PRE SAL	1000
1	2030	GN PRE SAL	1000
4	2021	CANOAS 1	249
1	2024	FORTALEZA 1	327
1	2025	CUBATAO 1	216
1	2026	LINHARES 2	204
1	2027	ST.CRUIZ NOV1	500
1	2028	CANDIOTA 3 1	350
10	2030	APERTADOS	139

+ 1752 MW

3. Estudo de Casos e Resultados – Segundo Caso

Características do Caso – Plano E

- What-if;
- Expansão obrigatória de termelétricas inflexíveis de 2000 MW ao ano a partir de 2027;
- Gás natural proveniente de bacias nacionais do Pré-Sal;
- Inflexibilidade de 80%;
- Custo do combustível de 4 US\$/MMBTU;
- Capacidade instalada adicional no plano de expansão: 27577.82 MW

3. Estudo de Casos e Resultados – Segundo Caso

Características do Caso – Plano E

Tabela 4.16: Capacidade instalada em relação ao Plano A

Mês	Ano	Planta	Capacidade (MW)
1	2026	FORTALEZA 2	327
1	2026	GN CA NE	496
1	2026	LINHARES 1	204
7	2026	GN CA NE	213
1	2027	GN PRE SAL 2	243
7	2027	GN PRE SAL 2	1757
1	2028	GN PRE SAL 2	342
7	2028	GN PRE SAL 2	1658
7	2029	GN PRE SAL 2	2000
1	2030	RD N	35
7	2030	GN PRE SAL 2	2000
1	2024	FORTALEZA 1	327
1	2025	CUBATAO 1	216
1	2026	LINHARES 2	204
1	2027	ST.CRUIZ NOV1	500
1	2027	GN CA S	596
7	2027	GN CA S	21
1	2028	GN CA S	135
10	2030	APERTADOS	139

+ 5118 MW

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Futuros Possíveis

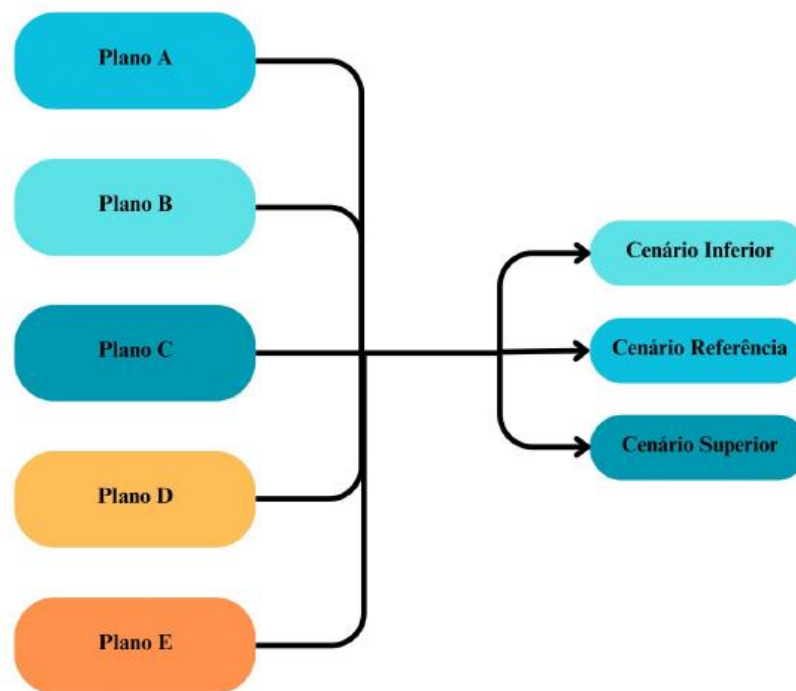


Figura 4.1: Diagrama do caso. Elaboração própria.

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Futuros Possíveis

PONTOS CRÍTICOS	CENÁRIO REFERÊNCIA (DEMANDA)	CENÁRIO INFERIOR (DEMANDA)	CENÁRIO SUPERIOR(DEMANDA)
Duração da pandemia e velocidade da retomada	Duração média e recuperação rápida	Duração longa ou reincidência ("duas ondas"), retomada lenta	Duração média e recuperação acelerada
Efetividade das políticas anticrise e confiança	Políticas são suficientes e estimulam o crescimento da confiança	Dificuldade de implementação das políticas e lenta recuperação da confiança	Políticas são muito efetivas e aceleram a recuperação da confiança
Aprovação de reformas e ambiente de negócios	Aprovação de reformas importantes ao longo do horizonte	Dificuldade na aprovação de reformas	Aprovação de reformas importantes já no curto prazo
Produtividade total dos fatores (PTF)	Crescimento gradual	Fraco crescimento	Forte crescimento
Contas Públicas	Ajuste fiscal com redução gradual da relação DLSP/PIB	Dificuldade de realização de ajuste fiscal	Ajuste fiscal com redução significativa e rápida da relação DLSP/PIB

Figura 4.2: Resumo dos futuros possíveis. Fonte: PDE 2030.

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Atributos e Opções de Execução do OptDec

Tabela 4.18: Opções escolhidas para o custo de investimento.

Custo de Investimento	
Tipo de Saída	SDDP/OptGen
Peso	1
Função	Valor Direto
Agregação de Etapas	Usar Taxa de Desconto
Taxa de Desconto Mensal (p.u.)	0.006434
Agregação de Cenários do Plano de Expansão	Utilizar Valor Esperado
Agregação de Futuros Possíveis	Utilizar Valor Esperado

Tabela 4.19: Opções escolhidas para o custo operativo térmico.

Custo Operativo Térmico	
Tipo de Saída	SDDP/OptGen
Peso	1
Função	Valor Direto
Agregação de Etapas	Usar Taxa de Desconto
Taxa de Desconto Mensal (p.u.)	0.006434
Agregação de Cenários do Plano de Expansão	Utilizar Valor Esperado
Agregação de Futuros Possíveis	Utilizar Valor Esperado

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Atributos e Opções de Execução do OptDec

Tabela 4.20: Opções escolhidas para o custo de déficit.

Custo de Déficit	
Tipo de Saída	SDDP/OptGen
Peso	1
Função	Valor Direto
Agregação de Etapas	Usar Taxa de Desconto
Taxa de Desconto Mensal (p.u.)	0.006434
Agregação de Cenários do Plano de Expansão	Utilizar Valor Esperado
Agregação de Futuros Possíveis	Utilizar Valor Esperado

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Atributos e Opções de Execução do OptDec

Tabela 4.21: Opções de execução utilizadas no Segundo Caso.

Opções de Execução	
Função Objetivo	Minimização dos Custos
Critério de Decisão	Minimizar Custo Médio

3. Estudo de Casos e Resultados – Primeiro Caso

Resultados

Tabela 4.22: Resultado da comparação dos planos de expansão executados em diferentes futuros.

Custo de Investimento + Custo Operativo Térmico + Custo de Déficit [bi R\$]						
OPTDEC PDE 2030						
Planos de Expansão	Custo total em cada futuro possível			Valor Esperado		
	Futuro 1 Demanda Referência	Futuro 2 Demanda Inferior	Futuro 3 Demanda Superior	Planos de Expansão	Custo Total	[%]
A	54,55	48,37	73,64	A	58,85	100,0%
B	90,53	42,08	169,81	B	100,81	171,3%
C	60,16	56,51	67,11	C	61,26	104,1%
D	65,96	60,22	92,25	D	72,81	123,7%
E	73,97	68,03	110,35	E	84,12	142,9%

Sumário

1 Introdução e Revisão Bibliográfica

- O Problema do planejamento de expansão

2 Metodologia

- SDDP;
- OptGen;
- OptDec.

3 Estudo de Casos e Resultados

- Primeiro Caso (Caso Exemplo);
- Segundo Caso (PDE 2030).

4 Conclusões

5 Referência Bibliográfica

4. Conclusões

- Resultado do “Primeiro Caso” mostra que o plano A é o melhor plano a ser implementado quando são comparados os custos de investimentos, custos operativos e custos de déficit, nos 3 futuros estudados.
- Resultado do “Segundo Caso” mostra que o planejamento realizado no cenário de referência pela EPE, é o melhor plano a ser escolhido pelo tomador de decisão quando comparado aos outros 4.
- A metodologia realizada foi efetiva no primeiro e no segundo caso.

Sumário

1 Introdução e Revisão Bibliográfica

- O Problema do planejamento de expansão

2 Metodologia

- SDDP;
- OptGen;
- OptDec.

3 Estudo de Casos e Resultados

- Primeiro Caso (Caso Exemplo);
- Segundo Caso (PDE 2030).

4 Conclusões

5 Referência Bibliográfica

5. Referência Bibliográfica

- EPE. Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031. Empresa de Pesquisa Energética, 2022.
- GANDELMAN, D. A. Uma Metodologia para Expansão do Sistema Elétrico Brasileiro Considerando Incertezas. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2015.
- EPE. Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Empresa de Pesquisa Energética, 2021.
- ONS. Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN, Ciclo 2023-2027. Brasil, Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2022.
- RAÍZEN. “Matriz energética brasileira: o que é e de quais recursos é composta”. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/matriz-energetica-brasileira#:~:text=Segundo%20o%20Balan%C3%A7o%20Energ%C3%A9tico%20de,de%20participa%C3%A7%C3%A3o%20na%20matriz%20energ%C3%A9tica.>, Raízen, abr. 2023. Acesso em: 12 jun. 2023.
- CARMONA, B. S., KASSAI, J. R. A matriz energética brasileira: uma análise perante a NDC e o ODS7. Brasil, Universidade de São Paulo, 2019. EPE. Plano Nacional de Energia 2030. Empresa de Pesquisa Energética, 2007.
- EPE. Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Empresa de Pesquisa Energética, 2020.
- DENG, X., LV, T. Power system planning with increasing variable renewable energy: A review of optimization models. China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, PR China, Oct. 2023.

5. Referência Bibliográfica

- EPE. Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. Empresa de Pesquisa Energética, 2017.
- THOMÉ, F. S. Aplicação de Técnica de Decomposição com o Cálculo de Multiplicadores Implícitos no Planejamento da Expansão da Geração e Rede de Transmissão de Sistemas Elétricos. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Engenharia de Sistemas e Computação, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.
- PSR. “SDDP – Despacho hidrotérmico estocástico com restrições de rede”. Disponível em: <https://www.psr-inc.com/software/>, . Acesso em: 25 jun. 2023.
- PSR. SDDP Overview Methodology. PSR – Energy Consulting and Analytics, 2023.
- PSR. SDDP – Methodology Manual, Version 17.2. PSR – Energy Consulting and Analytics, 2022.
- PSR. “OptGen – Modelo de planejamento da expansão da geração e interligações regionais”. Disponível em: <https://www.psr-inc.com/software/?current=p4038>, . Acesso em: 30 jun. 2023.
- PSR. OPTGEN General Concepts Approach 1. PSR – Energy Consulting and Analytics, 2023.
- PSR. OptGen – Methodology Manual, Version 8.0. PSR – Energy Consulting and Analytics, 2022.
- PSR. OptDec – User Manual, Version 1.0. PSR – Energy Consulting and Analytics, 2023.

Obrigado!