

Webinar UCH

Solving large-scale unit-commitment problems
using dual dynamic programming and open-source
solvers

Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica (LabPlan)/UFSC

Realização:



ccee



09/06/2021

CPAMP - Comissão Permanente para Análise de Metodologias
e Programas Computacionais do Setor Elétrico

GT METODOLOGIA

Membros:

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

ANEEL
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA



Assessoria Técnica:



Publicação científica

Autores: Bruno Colonetti, Samuel Brito, Erlon Finardi, Victor Zavala, Lucas Picarelli

Título: Solving large-scale unit-commitment problems using dual dynamic programming and open-source solvers

Submetido: a ser definido

Ano: 2022

DOI: -

URL do preprint: http://www.optimization-online.org/DB_HTML/2022/05/8940.html

Agenda

1. Contextualização
2. Modelo
3. Metodologia de solução
4. Experimentos computacionais e resultados

Contextualização

- Atualmente, o custo de *solvers* comerciais varia de acordo com o número de núcleos de processamento que serão utilizados
 - Maior o número de núcleos, maior o preço
- Metodologias assíncronas geralmente não têm reprodutibilidade porque o caminho percorrido pelo algoritmo depende do tempo de solução de subproblemas
 - Uma vez que esse tempo varia toda vez que o problema é resolvido, é possível que o caminho percorrido também varie
- Diferente de *solvers* comerciais, não há limitação de núcleos para *solvers* gratuitos
- Metodologias de solução baseadas em paralelismo não são necessariamente não reproduzíveis
 - É indispensável que uma metodologia que permite reprodutibilidade não dependa do tempo
 - O solver Gurobi garante reprodutibilidade dentro de certas condições (<https://support.gurobi.com/hc/en-us/articles/360031636051-Is-Gurobi-Optimizer-deterministic->)

Modelo de Programação Diária

- Características gerais
 - Horizonte de 24 horas dividido em 48 períodos de 30 minutos
- Modelo termelétrico
 - Unit commitment termelétrico
 - Restrições de mínimos tempos em operação e fora de operação
 - Rampas de tomada e alívio de carga
 - Trajetórias de acionamento e desligamento
 - Atualmente desconsidera ciclo combinado e representa a operação individual de cada unidade
 - **329 unidades geradoras**
- Modelo hidrelétrico
 - Sem commitment hidráulico
 - Tempo de viagem de água constante, desvios de água, bombeamento
 - Função de produção aproximada por modelo linear por partes côncavo
 - **161 reservatórios**
- Modelo de rede
 - Modelo DC para todos os 48 períodos
 - **7,475 barras e 10,702 linhas de transmissão**

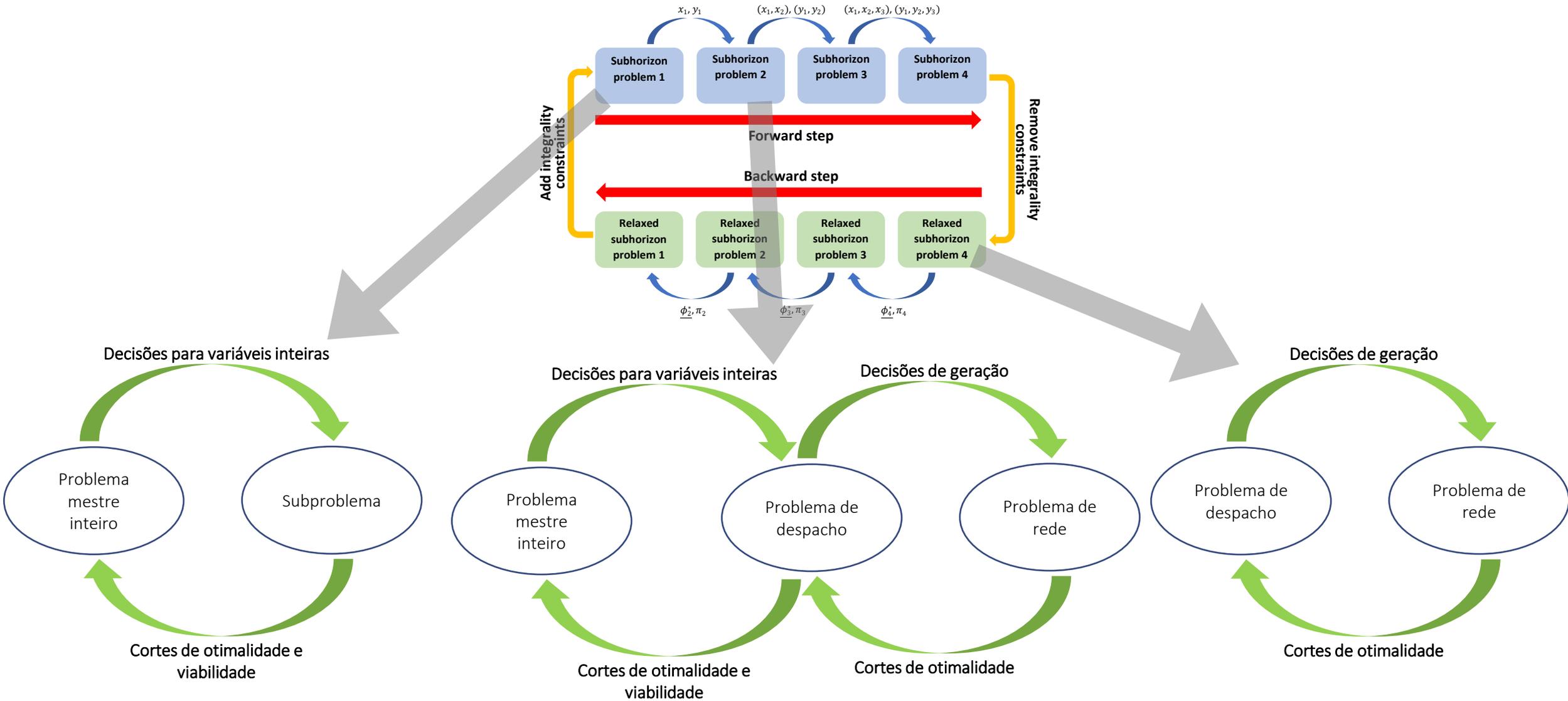
Restrições*	Variáveis contínuas*	Variáveis binárias
599,513	598,570	47,376

*Depois de redução de rede

Metodologia

- Códigos e dados de entrada disponíveis em <https://github.com/SPARHTACUS/SPTpy>
- *Solvers*
 - Gurobi
 - Cbc/Clp
- Programação dinâmica dual inteira paralela
- Decomposições internas para os subproblemas
 - Benders clássico
 - Separação do problema de rede e das decisões de geração
 - Decomposição dupla (Benders + separação da rede)
- Método assíncrono
 - Resultados não necessariamente iguais mesmo sob as mesmas condições
- Método síncrono
 - Mesmos resultados para as mesmas condições (reproduzível)

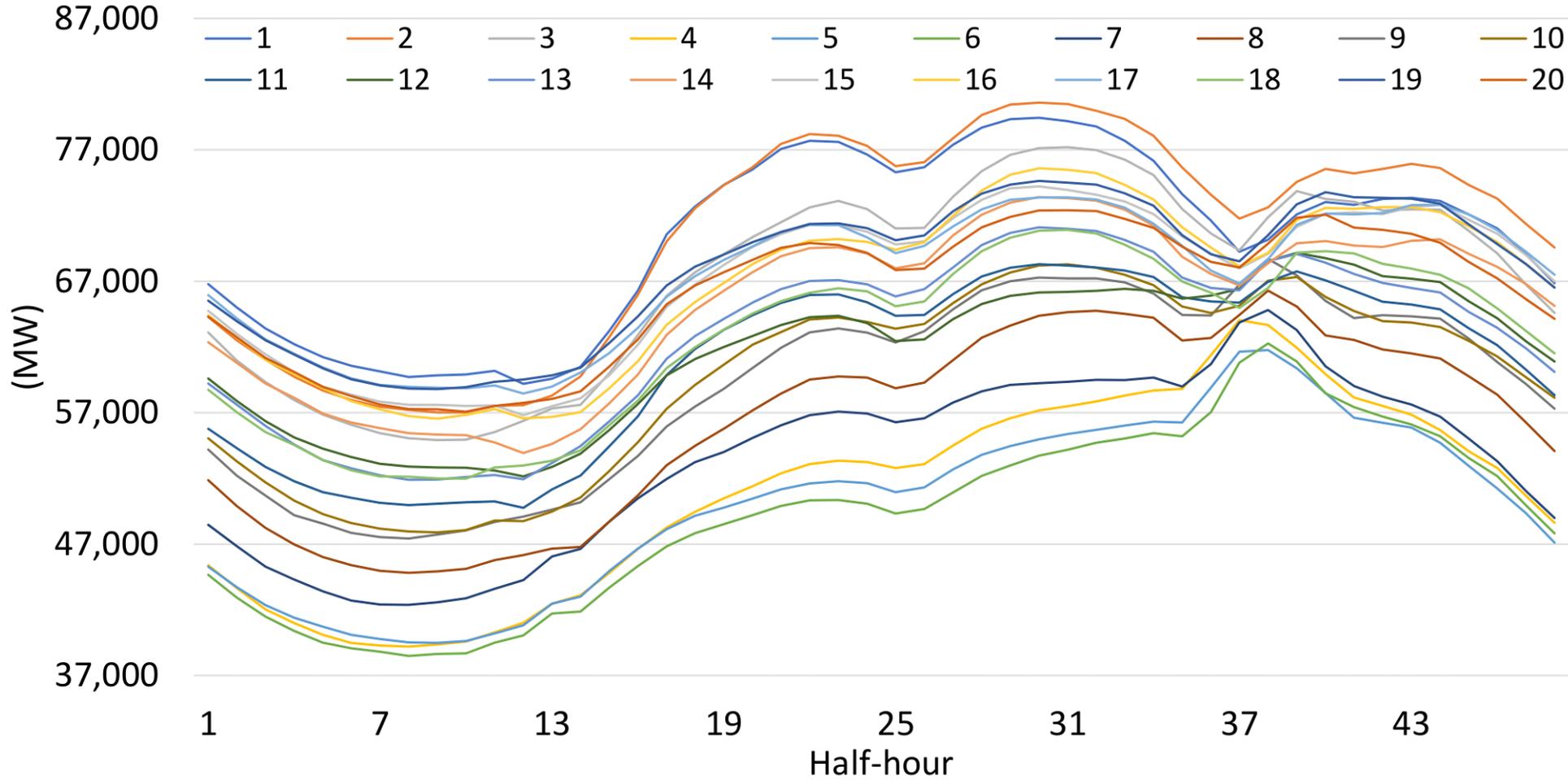
Ilustração das decomposições internas



Experimentos Computacionais

- 20 casos de programação diária baseados no DESSEM
- Tolerância de gap de otimalidade de 0,1%, mesma tolerância utilizada no DESSEM
- Comparação entre Gurobi, CBC e programação dinâmica dual inteira paralela com CBC
- Os códigos foram escritos em Python
- Os experimentos são conduzidos numa máquina com 2 processadores Intel Xeon E5-2660 de 2.60-GHz com 128 GB de RAM
- Devido ao caráter assíncrono da metodologia, os experimentos com o método paralelo são repetidos 5 vezes

Experimentos Computacionais: cargas líquidas



Resultados: Gurobi e CBC sem decomposição

Resultados para o Gurobi sem decomposição

Caso	Limite inferior (10 ⁶ \$)	Limite superior (10 ⁶ \$)	Gap (%)	Tempo (minutos)
1	92.182,68	92.182,69	1,66E-05	9
2	106.282,7	106.282,8	7,07E-05	180
3	61.459,8	61.459,82	2,75E-05	1.674 (27,4 horas)
4	60.520,51	60.541,22	0,03421	331 (5,5 horas)
5	60.882,41	60.882,41	1,18E-06	12
6	57.619,38	57.619,38	1,69E-11	14
7	83.437,77	83.437,77	1,49E-11	8
8	54.053,69	54.053,69	3,53E-11	11
9	54.828,72	54.828,76	6,08E-05	31
10	92.879,06	92.879,79	0,000784	12
11	50.870,74	50.870,74	1,56E-07	50
12	51.140,11	51.140,19	0,000165	61
13	73.599,52	73.599,55	3,38E-05	22
14	73.472,08	73.472,08	5,47E-06	14
15	86.878,18	86.878,18	7,23E-07	13
16	68.736,85	68.736,86	4,64E-06	11
17	72.746,02	72.746,03	5,82E-06	8
18	53.490,43	53.490,46	5,01E-05	21
19	72.017,15	72.017,17	2,57E-05	65
20	71.769,36	71.769,37	1,33E-05	55

Resultados para o CBC sem decomposição

Caso	Limite inferior (10 ⁶ \$)	Limite superior (10 ⁶ \$)	Gap (%)	Tempo (horas)
1	0	-	-	5,5
2	0	-	-	6
3	0	-	-	6
4	0	-	-	5,4
5	60.882,41	60.906,34	0,04	10,8
6	0	-	-	6
7	0	-	-	6,3
8	0	-	-	6
9	0	-	-	5,7
10	0	-	-	7,2
11	0	-	-	6,5
12	0	-	-	6
13	0	-	-	6
14	73.472,07	73.472,2	1,68E-04	7,9
15	86.878,18	86.878,77	6,86E-04	4,9
16	0	-	-	6
17	72.746,02	72.746,04	2,21E-05	6,3
18	53.490,42	53.490,49	2,1E-05	7,5
19	72.017,15	72.017,18	1,5E-05	19,1
20	71.769,35	71.769,91	1,5E-05	6,2

Resultados: CBC com decomposições

Média de
10 min

Média de
23 min

Assíncrono

Síncrono

Caso	Limite inferior (10 ⁶ \$)	Limite superior (10 ⁶ \$)	Gap (%)	Tempo (min)	Limite inferior (10 ⁶ \$)	Limite superior (10 ⁶ \$)	Gap (%)	Tempo (min)
1	92.157,60 (-2,3)	92.242,42 (6,42)	0,090 (0,006)	9,0 (1,8)	92.168,73	92.249,8	0,088	28,1 (0,1)
2	106.259,49 (-5,57)	106.352,42 (9,79)	0,090 (0,007)	8,5 (1,3)	106.264,42	106.345,34	0,076	29,9 (0,2)
3	61.447,58 (-1,37)	61.500,79 (4,04)	0,090 (0,008)	7,5 (3)	61.446,00	61.503,47	0,093	13,1 (0)
4	60.505,63 (-0,47)	60.562,81 (0)	0,090 (0,001)	3,9 (0)	60.502,31	60.562,81	0,1	10,6 (0,1)
5	60.867,65 (-0,24)	60.927,05 (0)	0,100 (0)	4,7 (0,1)	60.867,22	60.927,05	0,098	23,0 (0,1)
6	57.608,77 (-6,22)	57.657,01 (4,99)	0,090 (0,007)	8,7 (3,6)	57.600,29	57.653,42	0,092	13,4 (0,1)
7	83.418,88 (-4,31)	83.497,62 (0)	0,090 (0,005)	4,1 (0,5)	83.414,88	83.497,62	0,099	13,6 (0)
8	54.043,46 (-7,65)	54.087,71 (6,39)	0,090 (0,006)	14,1 (4,6)	54.036,57	54.089,22	0,097	48,9 (0,1)
9	54.817,19 (-5,54)	54.866,18 (2,72)	0,090 (0,01)	13,4 (5)	54.811,25	54.864,62	0,097	49,2 (0,2)
10	92.855,12 (-2,53)	92.943,90 (2,79)	0,100 (0,003)	13,6 (3,3)	92.864,86	92.950,09	0,092	31,5 (0,1)
11	50.860,86 (-7,15)	50.901,67 (9,91)	0,090 (0,008)	11,8 (4,5)	50.859,52	50.909,68	0,099	35,1 (0,1)
12	51.124,39 (-0,83)	51.167,20 (7,67)	0,080 (0,015)	7,7 (1,2)	51.127,79	51.172,48	0,087	11,7 (0)
13	73.579,73 (-2,13)	73.645,25 (4,31)	0,090 (0,006)	7,4 (5,5)	73.580,4	73.646,98	0,09	29,2 (0,1)
14	73.450,46 (-3)	73.513,90 (9,74)	0,090 (0,01)	10,0 (4,3)	73.455,16	73.522,76	0,092	22,3 (0,1)
15	86.851,54 (-6,89)	86.920,57 (11,09)	0,090 (0,01)	11,9 (4,4)	86.861,8	86.939,95	0,09	27,0 (0,2)
16	68.725,57 (-11,69)	68.782,08 (10,03)	0,090 (0,006)	12,9 (3,7)	68.719,81	68.786,81	0,097	23,8 (0)
17	72.731,24 (-11,69)	72.784,73 (13,58)	0,090 (0,011)	7,6 (2,9)	72.724,11	72.795,58	0,098	23,2 (0)
18	53.480,89 (-6,33)	53.526,08 (3,89)	0,090 (0,011)	8,8 (3,3)	53.476,78	53.523,48	0,087	13,6 (0,1)
19	71.994,25 (-4,08)	72.055,34 (7,17)	0,090 (0,01)	4,5 (1,4)	71.997,88	72.064,77	0,093	8,3 (0)
20	71.739,41 (0)	71.810,33 (0)	0,100 (0)	3,2 (0)	71.739,41	71.810,33	0,099	3,2 (0)

Obrigado!



LabPlan/UFSC
colonetti.bruno@psograd.ufsc.br

CPAMP - Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico

GT METODOLOGIA

Membros:

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

 **ANEEL**
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA





Assessoria Técnica:

