REGIÃO DE EFETIVIDADE - SANDBOX REGULATÓRIO - CONTROLE DE TENSÃO - ÁREAS MINAS GERAIS / SÃO PAULO / PARANÁ

Operador Nacional do Sistema Elétrico
Rua Júlio do Carmo, 251 - Cidade Nova
20211-160 – Rio de Janeiro – RJ
Tel (+21) 3444-9400 Fax (+21) 3444-9444

© 2026/ONS
Todos os direitos reservados.
Qualquer alteração é proibida sem autorização.

RT-ONS DPL 0503/2026

REGIÃO DE EFETIVIDADE - SANDBOX REGULATÓRIO - CONTROLE DE TENSÃO - ÁREAS MINAS GERAIS / SÃO PAULO / PARANÁ

Novembro de 2026

Sumário

1 Contextualização 4

2 Metodologia 4

3 Resultados 5

3.1 Minas Gerais 5

3.2 São Paulo 12

3.3 Paraná 18

1 Contextualização

Muitos fatores afetam a eficácia de uma opção na prestação do suporte de potência reativa, como por exemplo local e forma de conexão desta opção à rede elétrica, além da própria topologia da rede. As medidas de efetividade são relativas e consideram um determinado ponto de referência na rede. O Operador do sistema normalmente escolhe um ou mais pontos de referência em virtude da localização mais eficaz para implementar a solução para atendimento aos requisitos da região de interesse.

"Mvar efetivo = Mvar no ponto de conexão x fator de efetividade"

Para as soluções que atenderem aos requisitos técnicos mínimos, o ONS deverá calcular o fator de efetividade a fim de verificar a capacidade efetiva de disponibilização do Mvar para atendimento às necessidades sistêmicas, conforme equação acima.

2 Metodologia

A metodologia utilizada para calcular o fator de efetividade é baseada na sensibilidade da tensão em relação à injeção de potência reativa. Essa sensibilidade é obtida a partir da manipulação dos elementos da matriz Jacobiana invertida, conforme mostrado a seguir:

$$\begin{bmatrix}\Delta \boldsymbol{P}\\ \Delta \boldsymbol{Q}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial \boldsymbol{\theta}} & \frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial \boldsymbol{V}}\\ \frac{\partial \boldsymbol{Q}}{\partial \boldsymbol{\theta}} & \frac{\partial \boldsymbol{Q}}{\partial \boldsymbol{V}}\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix}\Delta \theta\\ \Delta \boldsymbol{V}\end{bmatrix} \quad \rightarrow \quad \begin{bmatrix}\Delta \boldsymbol{\theta}\\ \Delta \boldsymbol{V}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial \boldsymbol{\theta}} & \frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial \boldsymbol{V}}\\ \frac{\partial \boldsymbol{Q}}{\partial \boldsymbol{\theta}} & \frac{\partial \boldsymbol{Q}}{\partial \boldsymbol{V}}\end{bmatrix}^{-\mathbf{1}} \cdot \begin{bmatrix}\Delta \boldsymbol{P}\\ \Delta \boldsymbol{Q}\end{bmatrix}$$

A maior sensibilidade de tensão de uma barra "i" está relacionada com a injeção de potência reativa na própria barra "i", ou seja, pelo elemento $\left(\frac{\partial V_i}{\partial Q_i}\right)$ da matriz Jacobiana invertida.

Por outro lado, o elemento $\left(\frac{\partial V_i}{\partial Q_j}\right)$ da matriz Jacobiana invertida representa a sensibilidade da tensão da barra "i" em relação a uma injeção de potência na barra "j".

Dessa forma, a efetividade do controle de tensão na barra "i" para uma injeção de potência reativa na barra "j" é dada pela razão:

$$\boldsymbol{Efetividade_{i,j} = 100.* \left(\frac{\partial V_i}{\partial Q_j}\right) / \left(\frac{\partial V_i}{\partial Q_i}\right)}$$

3 Resultados

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos para os pontos candidatos desse Sandbox utilizando o programa Organon, versão V 8.8.1, com a metodologia descrita no item 2 desse documento.

Os resultados apresentados obedecem à legenda de cores mostrada na Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Legenda de cores para os resultados da região de efetividade

Até 50% de efetividade	
Entre 50 e 70% de efetividade	
Entre 70 e 90% de efetividade	
Acima de 90% de efetividade	

3.1 Minas Gerais

a) SE Itabira 5 500 kV

Figura 3-1: Região de Efetividade para a SE Itabira 5 500 kV

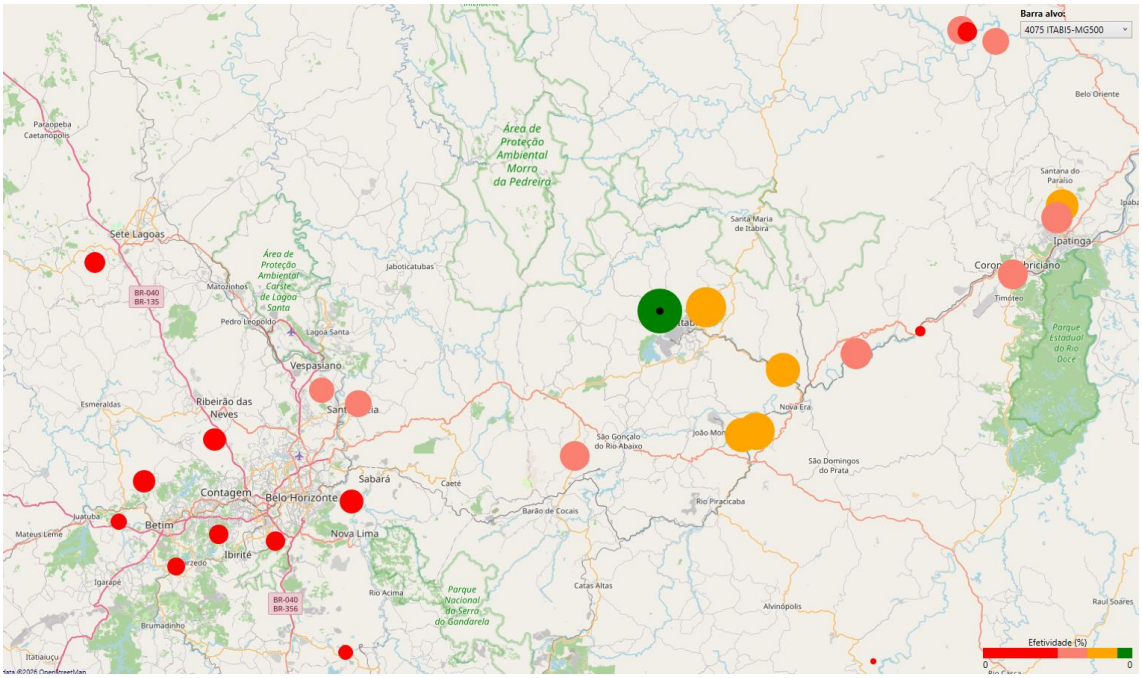


Tabela 3-2: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Itabira 5

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Itabira 5	500	100,0
Itabira 2	13,8	89,4
Anglo Ferrous	230	87,3
Itabira 5	230	84,9
Minas Conceição	230	83,4
Itabira 4	230	83,0
Itabira 6	69	82,6
Itabira 3	69	81,8
Nova Era 1	69	80,4
João Monlevade 3	69	80,2
João Monlevade 5	69	80,1
João Monlevade 4	69	79,4
João Monlevade 4	230	76,0
Nova Era Silicon	230	75,1
Mesquita	500	70,1
Guilman Amorim	230	68,8
Vale 3	230	64,4
Anglo Gold 3	230	64,3
Barão de Cocais 3	230	64,2
Coronel Fabriciano	69	63,1
Santa Luzia 2	138	60,9
Timóteo 2	69	63,0
Usiminas 2	230	63,0
Ipatinga 1	230	61,9
Mesquita	230	61,9
Usiminas 1	230	61,9
Timóteo 2	230	61,1
Acesita (Aperam)	230	60,7
Ipatinga 2	69	60,3
Ipatinga 2	138	60,0
Coronel Fabriciano 2	138	59,6
Contagem 4	138	59,6
Naque 1	138	58,1
Braúnas	230	57,8
Braúnas	138	57,0
Porto Estrela	230	56,5
Sabará 3	230	55,6
Vespasiano 2	500	52,2
Guanhães 2	138	51,7
Santa Luzia 4	138	48,3

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Santa Luzia 1	138	48,3
Vespasiano 2	138	48,1
Pampulha 1	138	47,2
Confins	138	46,9
Neves 1	500	46,8
Taquaril	230	46,4
Neves 3	138	46,2
Capelinha 2	138	45,6
Neves 5	138	45,2
Presidente Juscelino	500	45,0
Contagem 3	138	44,8
Neves	138	44,7
Contagem 4	138	44,5
Neves 5	13,8	45,2
Sete Lagoas 5	138	43,1
Sete Lagoas 1	138	43,0
Sete Lagoas 2	138	42,8
Sete Lagoas 9	138	42,7
Presidente Juscelino	345	42,1
Sete Lagoas 8	138	41,7
Sete Lagoas 4	138	41,7

b) SE Presidente Juscelino 500 kV.

Figura 3-2: Região de Efetividade para a SE Presidente Juscelino 500 kV

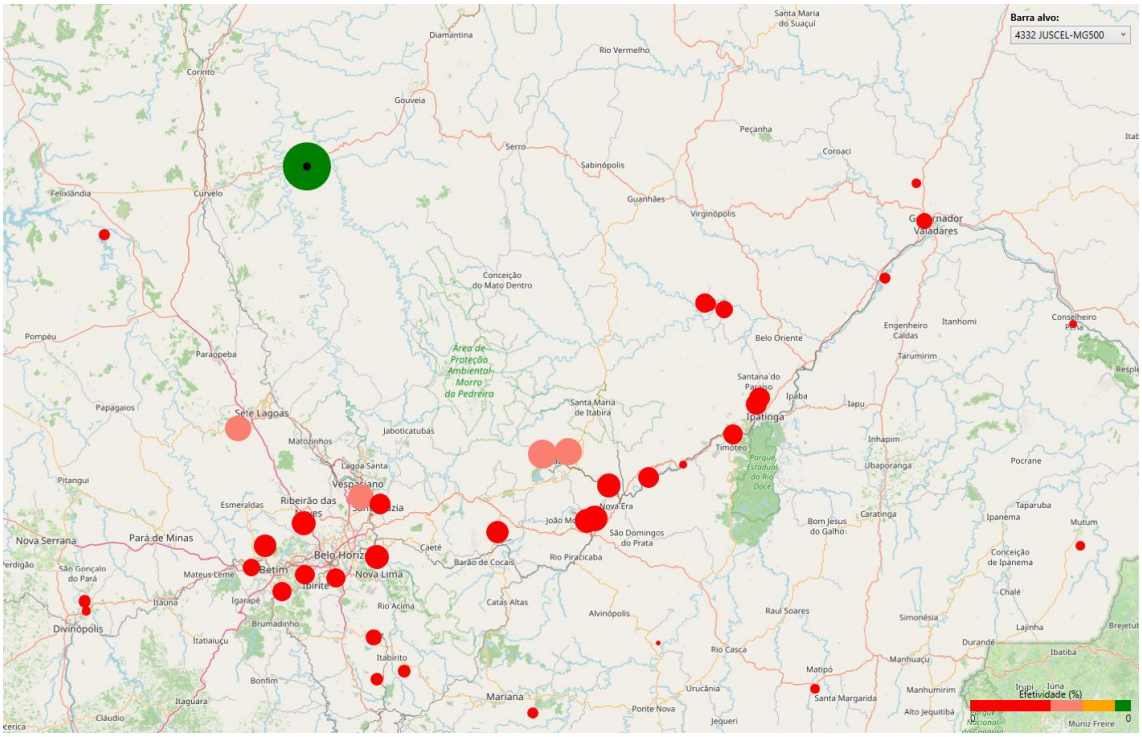


Tabela 3-3: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Presidente Juscelino

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Presidente Juscelino	500	100,0
Presidente Juscelino	345	79,6
Presidente Juscelino	13,8	77,8
Itabira 5	500	55,4
Itabira 2	13,8	52,4
Anglo Ferrous	230	51,2
Sete Lagoas 4	345	50,9
Vespasiano 2	500	50,6
Nova Era 1	69	49,7
João Monlevade 3	69	49,6
João Monlevade 5	69	49,5
João Monlevade 4	230	49,1
Itabira 4	69	49,0
Sete Lagoas 8	138	48,9
Sete Lagoas 4	138	48,8
Itabira 6	69	48,5

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Sete Lagoas 9	138	48,5
Itabira 2	69	48,2
Itabira 3	69	48,0
Itabira 2	230	47,8
Sete Lagoas 2	138	47,7
Sete Lagoas 1	138	47,4
Sete Lagoas 5	138	47,0
João Monlevade 4	230	47,0
João Monlevade 2	230	46,8
Santa Luzia 4	138	46,4
Santa Luzia 1	138	46,4
Vespasiano 1	138	46,4
Vespasiano 2	138	46,2
Confins	138	46,1
Pampulha 1	138	44,7
Nova Era Silicon	230	43,7
Vale 3	230	43,5
Barão de Cocais 3	230	43,3
Neves 3	138	42,9
Neves 5	138	42,3
Contagem 3	138	40,8
Contagem 4	138	40,7
Neves 1	345	40,5
Neves 1	500	40,3
Pirapora 2	500	40,3

c) SE Nova Ponte 3 500 kV.

Figura 3-3: Região de Efetividade para a SE Nova Ponte 3 500 kV

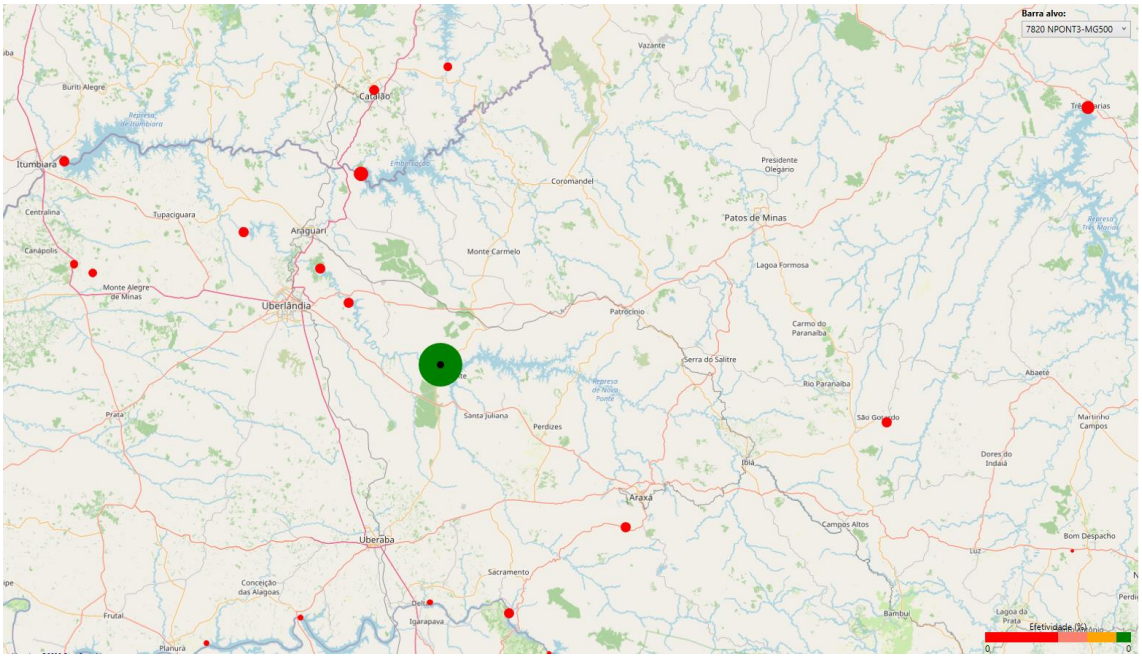


Tabela 3-4: Valores de Efetividade (acima de 30%) para os principais barramentos da região da SE Nova Ponte 3

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Nova Ponte 3	500	100,0
Nova Ponte	500	47,8
Paracatu 4	500	36,7
Boa Sorte	500	36,7
Paracatu 4	138	34,3
Nova Ponte	345	31,4

d) SE Paracatu 4 500 kV.

Figura 3-4: Região de Efetividade para a SE Paracatu 4 500 kV

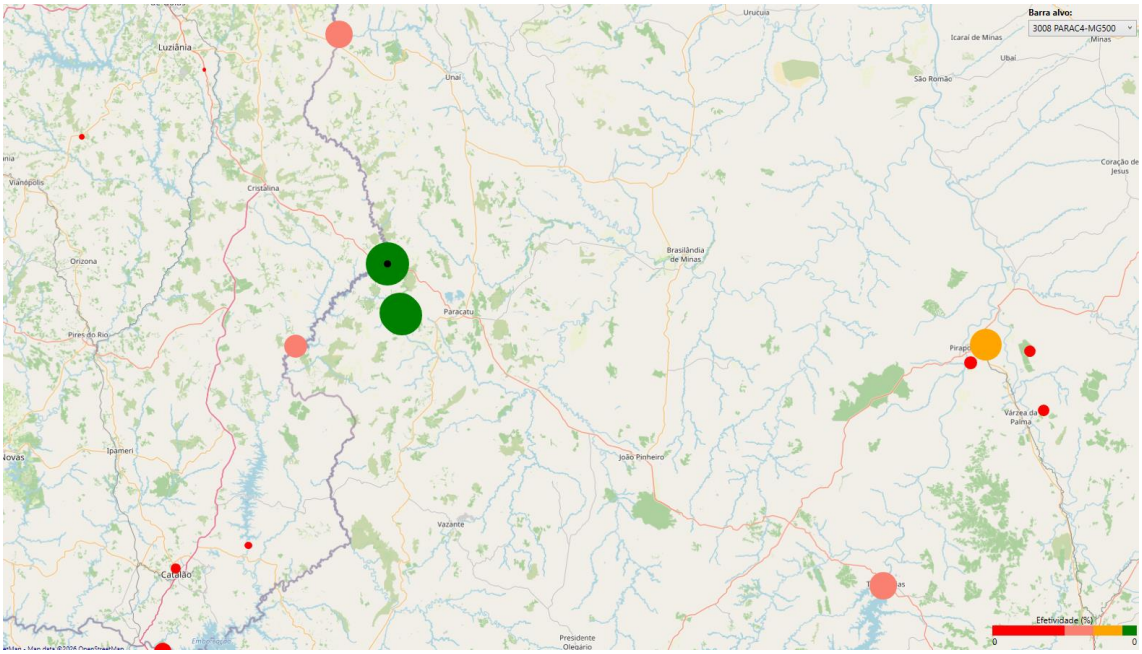


Tabela 3-5: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Paracatu 4

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Paracatu 4	500	100,0
Boa Sorte	500	100,0
Boa Sorte	34,5	100,0
Paracatu 4	138	92,6
Coletora Boa Sorte	138	92,6
Paracatu 10	138	84,2
Paracatu 8	138	82,5
Unaí 2	138	78,2
Paracatu 7	138	78,1
Paracatu 1	138	77,7
Paracatu 2	138	71,8
Paracatu 5	138	70,4
Unaí 3	138	69,4
João Pinheiro 2	138	67,9
Unaí 5	138	66,1
Vazante	138	65,4
Buritizeiro 3	138	63,6
Buritizeiro 1	138	61,5
João Pinheiro 5	138	60,2
João Pinheiro	138	58,7
Unaí 6	138	58,7
João Pinheiro 6	138	58,6
Arinos 3	138	55,2

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Arinos 2	500	50,2
Coletora Draco	500	50,2
Coromandel 4	138	49,4
Urucuia 1	138	47,8
João Pinheiro 3	138	44,2
Buritizeiro 7	138	43,4
Urucuia 2	138	42,4
Urucuia 2	34,5	42,4
Buritizeiro 5	138	41,0

3.2 São Paulo

a) SE São Caetano do Sul 345 kV.

Figura 3-5: Região de Efetividade para a SE São Caetano do Sul 345 kV

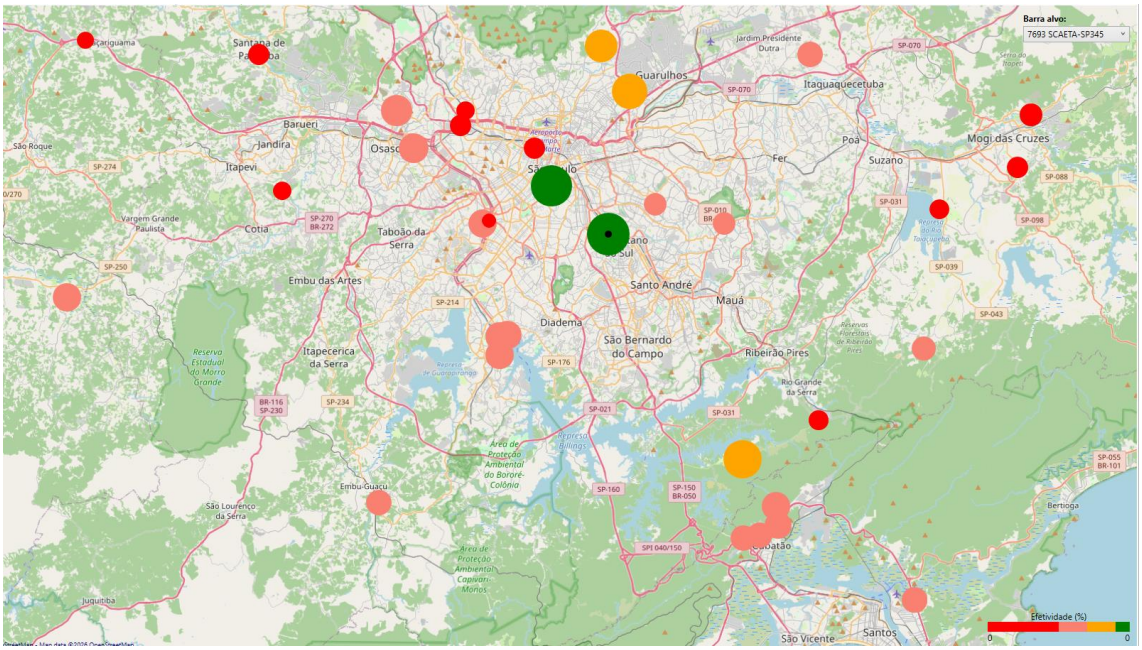


Tabela 3-6: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE São Caetano do Sul

Barramento	tensão [kV]	Efetividade [%]
São Caetano do Sul	345	100,0
São Caetano do Sul	88	100,0
Miguel Reale	88	95,0
Miguel Reale	345	94,5
Sul	345	88,8
Sul 2	345	88,0
Norte 1	88	82,8
Norte 2	88	82,3
Norte	345	80,6
Guarulhos	345	74,6
Anhanguera	88	69,1
Milton Fornasaro	88	67,7
Anhanguera	345	67,2
Milton Fornasaro	345	66,4
Bandeirantes	88	65,1
Xavantes	345	63,4
Bandeirantes	345	63,2
White Martins	88	63,1
Piratininga 2	345	62,4
Interlagos	345	62,4
Usiminas	345	62,2
Baixada Santista	345	62,2
Interlagos	230	61,4
Ibiúna	345	59,5
Carbocloro	138	58,3
Embuguaçu	345	57,5
Baixada Santista	230	57,0
Carbocloro	230	56,9
Baixada Santista	88	56,8
Cubatão	230	56,6
Henry Borden	230	56,4
Nordeste	88	55,9
Manoel da Nóbrega	230	55,7
Domênico Rangoni	345	55,3
Imigrantes	88	55,3
Nordeste	345	54,7
Baixada Santista	138	54,0
Tijuco Preto	345	52,8
Domênico Rangoni	138	52,8
Guarujá 3	138	52,5
Guarujá 1	138	52,4
Manoel da Nóbrega	138	52,3
Guarujá 2	138	51,7
Leste	88	50,0
Mongaguá	138	49,3
Ramon Reberte FIlho	345	49,2
Leste	345	49,1
Mogi	345	48,0
ITANH2-SP138	138	47,9
Sabesp	138	47,6
Itapeti	345	47,1

Barramento	tensão [kV]	Efetividade [%]
Embu Guaçu	440	45,8
Centro	230	45,4
Centro	88	45,3
Peruíbe	69	44,7
Itapeti	230	44,3
Peruíbe	138	43,9
Scala	230	43,5
Barra do Una	138	41,6
Juquehy	138	40,5

b) SE Miguel Reale 345 kV.

Figura 3-6: Região de Efetividade para a SE Miguel Reale 345 kV

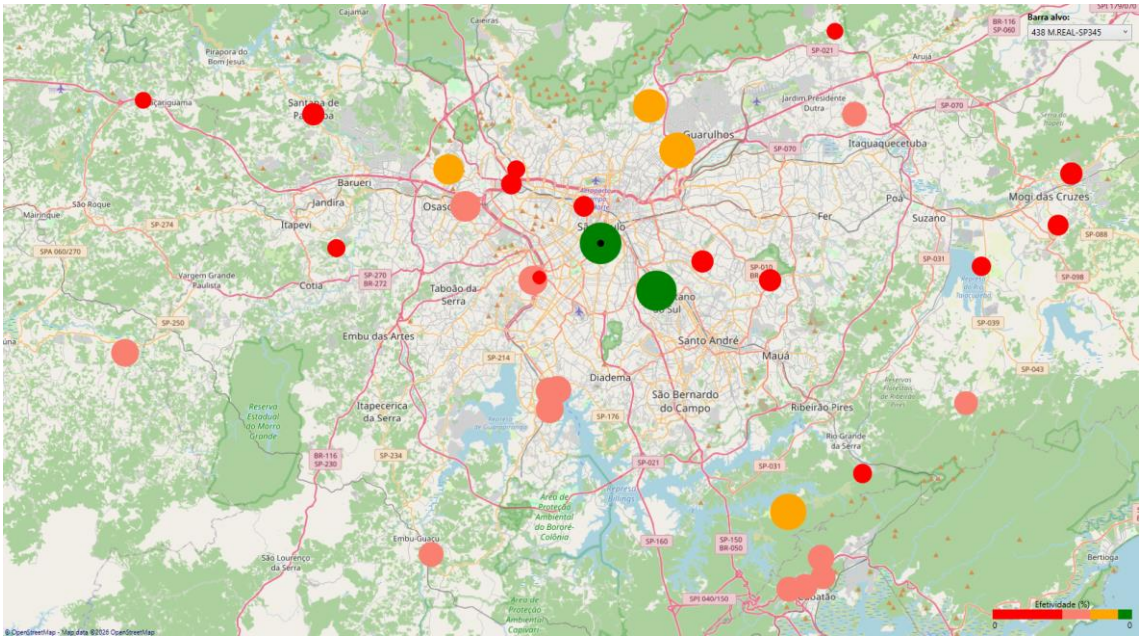


Tabela 3-7: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Miguel Reale

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Miguel Reale	345	100,0
Miguel Reale	88	100,0
Miguel Reale	20	100,0
São Caetano do Sul	88	100,0
São Caetano	88	94,8
São Caetano	345	94,0
Norte 1	88	86,6

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Norte 2	88	86,2
Norte	88	84,4
Sul	345	84,0
Sul 2	88	83,2
Sul 1	88	83,2
Guarulhos	345	77,7
Anhanguera	88	71,0
Milton Fornasaro	88	69,3
Anhanguera	345	69,0
Milton Fornasaro	345	68,0
Bandeirantes	88	65,9
Piratininga 2	88	64,4
Piratininga 2	88	64,4
Xavantes	345	64,3
Bandeirantes	345	64,0
Piratininga 2	345	63,1
Interlagos	345	63,0
Piratininga	138	62,3
Interlagos	230	61,7
Piratininga	230	61,6
White Martins	88	60,9
Usiminas	88	60,9
Usiminas	345	60,0
Baixada Santista	345	60,0
Ibiúna	345	60,0
Embuguaçu	345	57,0
Carbocloro	138	56,9
Nordeste	88	56,3
Baixada Santista	230	55,7
Carbocloro	230	55,5
Cubatão	230	55,3
Nordeste	345	55,1
Henry Borden	230	55,1
Ocian	88	55,0
Baixada Santista	88	54,9
Pedro Taques	88	54,8
Messer	88	54,7
Manoel da Nóbrega	88	54,6
Petrobras Gases	88	54,3
Jabaquara	88	53,7
Domênico Rangoni	345	53,7
Henry Borden	88	53,5
Imigrantes	88	53,5
Baixada Santista	138	52,6
Yara Brasil 03	138	52,0
Manoel da Nóbrega	138	51,3
Domênico Rangoni	138	51,3
Tijuco Preto	345	51,2
Guarujá 3	138	51,1
Guarujá 1	138	51,0
Embrapa	138	51,0
Guarujá 4	138	50,8
Vicente de Carvalho	138	50,5
Ramon Reberte Filho	88	49,2

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Leste	88	48,8
Mongaguá	138	48,5
Ramon Reberte Filho	345	48,0
Leste	345	47,9
Mogi	345	47,7
Itanhaém	138	47,1
Parelhos	138	47,0
Embu Guaçu Enel	138	46,6
Itapeti	345	46,4
Centro	230	46,2
Centro	88	46,1
Embu Guaçu	440	45,4
Bertioga 2	138	44,9
Peruíbe	69	44,0
Itapeti	230	43,8
Guaratingueta	138	43,4
Peruíbe	138	43,2
S,Santo Ângelo	345	42,4
Sifão	138	41,2
Itapeti	88	40,9
Barra do Una	138	40,6
Pedro de Toledo	138	40,6
Ibiúna	500	40,1

c) SE Taubaté 500 kV.

Figura 3-7: Região de Efetividade para a SE Taubaté 500 kV

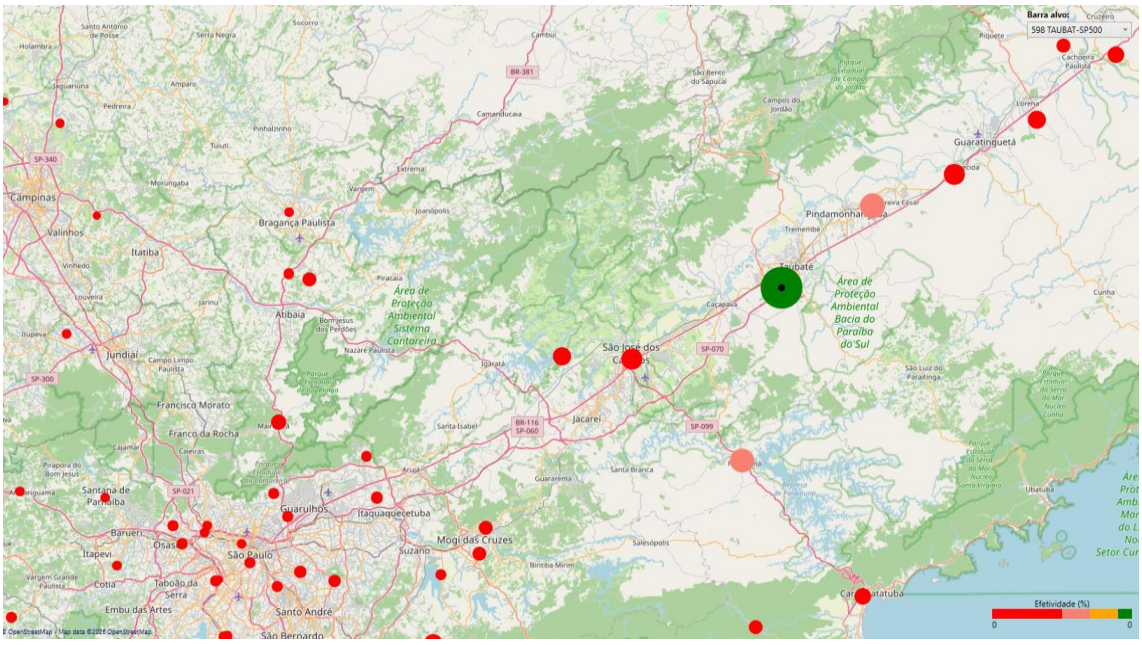


Tabela 3-8: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Taubaté

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Taubaté	500	100,0
Taubaté	440	73,0
Campos do Jordão	138	69,1
Taubaté	138	69,0
Taubaté	230	56,7
Embraer	138	55,1
Santa Luzia	138	54,5
GV do Brasil	230	50,0
Jambeiro	138	48,3
Aparecida 2	138	44,6
Aparecida	88	44,6
Aparecida	230	44,1
São José dos Campos	230	44,0
São José dos Campos	88	42,2
Paraibuna	138	40,9

3.3 Paraná

a) Bateias 525 kV.

Figura 3-8: Região de Efetividade para a SE Bateias 525 kV

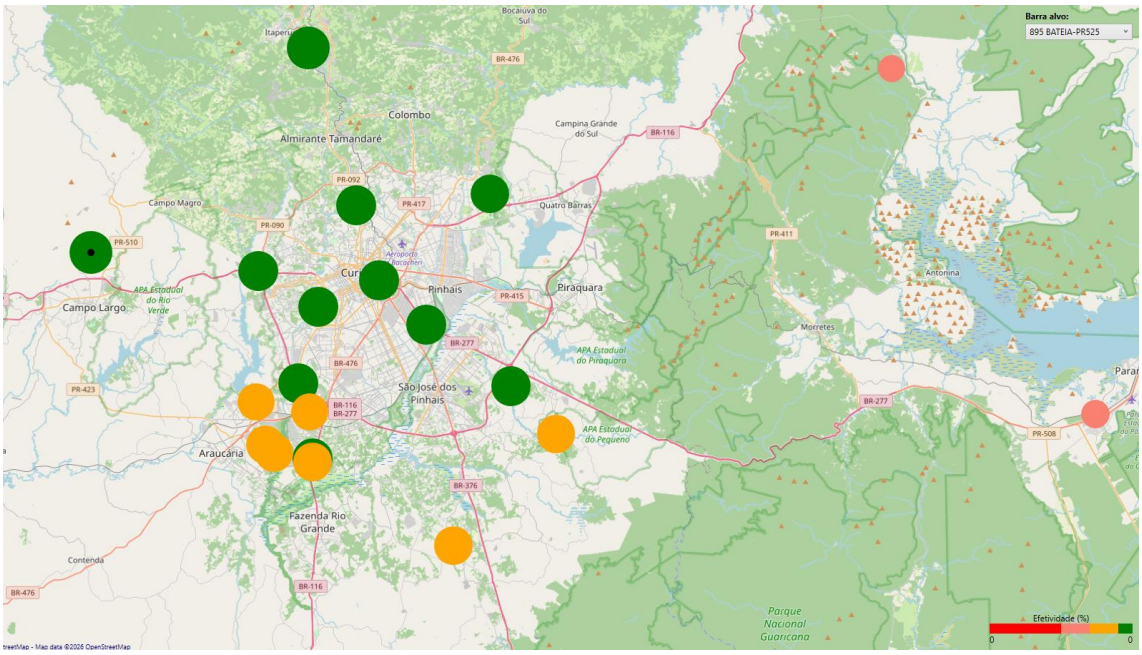


Tabela 3-9: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Bateias

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Bateias	525	100,0
Bateias	230	94,7
Rio Branco	138	94,5
Tunas	138	94,4
Colombo	138	94,3
Curitiba Norte	138	94,2
Almirante Tamandaré	138	94,1
Bateias	138	94,0
CCPRB	230	93,8
Barigui	69	93,3
Araucária	69	93,1
Campo Comprido	69	93,1
Centro	69	92,9
Lacta	69	92,7
Boqueirão	69	92,5
Batel	69	92,3
Pilarzinho	230	91,0
Pinhais	69	91,0
Piraquara	69	90,5
Santa Quitéria	230	90,2

Barramento	Tensão [kV]	Efetividade [%]
Santa Mônica	69	89,8
Fazenda Rio Grande	138	88,4
Curitiba	525	88,1
Curitiba Leste	525	87,4
Cidade Industrial de Curitiba	230	87,3
Araucária UTE	18	86,7
Gralha Azul	230	86,7
Canto do Assobio	230	86,5
Siderúrgica Guaíra	230	85,9
Curitiba	230	85,8
Curitiba Leste	230	85,2
Santa Mônica	230	81,1
Palmeira	138	78,6
Ponta Grossa	230	73,6
Ponta Grossa	525	73,5
Ponta Grossa	138	73,1
Vendrami	138	71,8
Sabará	138	69,5
Nissin	138	68,1
Ambev	138	65,6
Posto Fiscal	230	64,7
Tirol	138	63,3
Irati Norte	230	62,0
Posto Fiscal	138	61,8
Imbituva	138	61,0
São Mateus	34,5	57,9
São Mateus	230	57,4
Morretes	138	56,9
Canoinhas/SC	230	56,8
Ibiúna	500	55,9
Governador Parigot Souza	138	52,4
Joinville Norte	230	51,6
Castro	138	50,8
Iguaçu Celulose	138	49,2
Joinville	230	48,7
Governador Parigot Souza	230	48,3
SEPAC	138	47,9
Joinville Sul	230	47,0
Joinville Sul	525	43,5
Jaguariaíva	138	42,3
Jaraguá do Sul	230	41,3
União da Vitória Norte	230	41,3
Porto União	138	40,7
Passo do Iguaçu	138	40,2

Lista de figuras e tabelas

Figuras

Figura 3-1: Região de Efetividade para a SE Itabira 5 500 kV 5

Figura 3-2: Região de Efetividade para a SE Presidente Juscelino 500 kV 8

Figura 3-3: Região de Efetividade para a SE Nova Ponte 3 500 kV 10

Figura 3-4: Região de Efetividade para a SE Paracatu 4 500 kV 11

Figura 3-5: Região de Efetividade para a SE São Caetano do Sul 345 kV 12

Figura 3-6: Região de Efetividade para a SE Miguel Reale 345 kV 14

Figura 3-7: Região de Efetividade para a SE Taubaté 500 kV 16

Figura 3-7: Região de Efetividade para a SE Bateias 525 kV 18

Tabelas

Tabela 3-1: Legenda de cores para os resultados da região de efetividade 5

Tabela 3-2: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Itabira 5 6

Tabela 3-3: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Presidente Juscelino 8

Tabela 3-4: Valores de Efetividade (acima de 30%) para os principais barramentos da região da SE Nova Ponte 3 10

Tabela 3-5: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Paracatu 4 11

Tabela 3-6: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE São Caetano do Sul 13

Tabela 3-7: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Miguel Reale 14

Tabela 3-7: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Taubaté 17

Tabela 3-7: Valores de Efetividade (acima de 40%) para os principais barramentos da região da SE Bateias 18