

Centro Universitário Una – Pouso Alegre, MG



Cristiano Ferreira, Gustavo Henrique, Marcelo Cainan, Maurício da Silva
(*cristianoh_sferreira@hotmail.com; gustavohenrique.aer@gmail.com; marcelocainan@gmail.com;*
mslv9818@gmail.com)

Professora orientadora: Adriana Aparecida dos Santos Izidoro

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica

SISTEMA ERAC

ERAC SYSTEM

Pouso Alegre

2023

Resumo

O desenvolvimento populacional do Brasil e suas longas extensões territoriais, fizeram com que fossem necessárias melhorias no sistema de gestão de energia elétrica no país. Essas melhorias foram alcançadas através do sistema interligado nacional (SIN), sendo esse o maior em funcionamento no mundo. Nesse artigo, apresentaremos o SIN e o Esquema Regional de Alívio de Cargas (ERAC), responsável pelo monitoramento que garante a estabilidade e a confiabilidade do sistema de transmissão de energia em todo território nacional. Além disso, mostraremos como funciona a gestão de ambos os sistemas, distribuição de energia, custos de manutenção, potenciais investimentos e balanceamento geográfico de cargas. Também apresentaremos um *software* de simulação do sistema, mostrando sua atuação e controle, e as políticas nacionais para melhorias e gestão de ambos.

Palavras-chave: ERAC; SIN; linhas de transmissão; monitoramento.

Abstract

The populational development of Brazil and all their territorial extension, made necessary improves in the system of power distribution around the. These upgrades are implemented beyond the National Interlinked System (SIN), turnin it in the biggest system working around the world. In this article, we will being shown the SIN and the Power Shut Regional Scheme (ERAC), responsible by monitoring wich guarantees all the stabilish and trust of the power transmission system in all the national territory. In addition, we see how works the management of systems, power distribution, maintenance costs, potencial investment and geographical distribution of the electrical loads. Also, we will being shown a software of simulations, demonstrate your actuation and control, and the national politician about both improvement e management.

Keywords: ERAC; SIN; transmission lines; monitoring.

Sumário

Introdução	5
Objetivo	6
Justificativa	6
Desenvolvimento	7
Regulação Primária	10
Regulação Secundária	10
Faixas de Atuação ERAC	11
Simulação	15
Levantamento Fluxo de Potência	15
Configuração da Simulação	18
Resultados	24
Considerações Finais	28
Referências	29

Introdução

Com o crescente desenvolvimento populacional e conseqüentemente o desenvolvimento tecnológico, ao qual estamos totalmente dependentes, seja pelo desenvolvimento de pesquisas, projetos, avanços industriais, médicos ou até mesmo no cotidiano com o simples acesso a plataformas de streaming a geração de fontes produtoras de energia elétrica são cada vez mais necessárias para que todas essas ferramentas, complexas ou não, estejam em funcionamento.

A energia elétrica é uma necessidade para crescimento socioeconômico, uma vez que a demanda vem crescendo ao longo do tempo. A população, no geral, está mais dependente da energia, acarretando aumento do consumo permanente (Ceccon et al., 2021).

Esse crescente desenvolvimento, traz desafios pela busca de novas fontes geradoras para atender as demandas, fontes essas que irão integrar um sistema de distribuição que necessita de estabilidade e confiabilidade. Um desses sistema que será abordado é conhecido como ERAC (Esquema Regional de Alívio de Carga), que efetua o monitoramento através da análise da frequência da rede e aplica as devidas ações para manter a estabilidade.

Objetivo

Esse artigo tem como objetivo mostrar como esse sistema atua para aliviar sobrecargas na rede elétrica em situações de emergência, como falhas em equipamentos ou aumento repentino da demanda. Esse artigo explora os principais componentes do ERAC, como os dispositivos de proteção e as estratégias de controle utilizadas, e mostrar como esses elementos trabalham em conjunto para garantir a estabilidade do sistema elétrico.

Justificativa

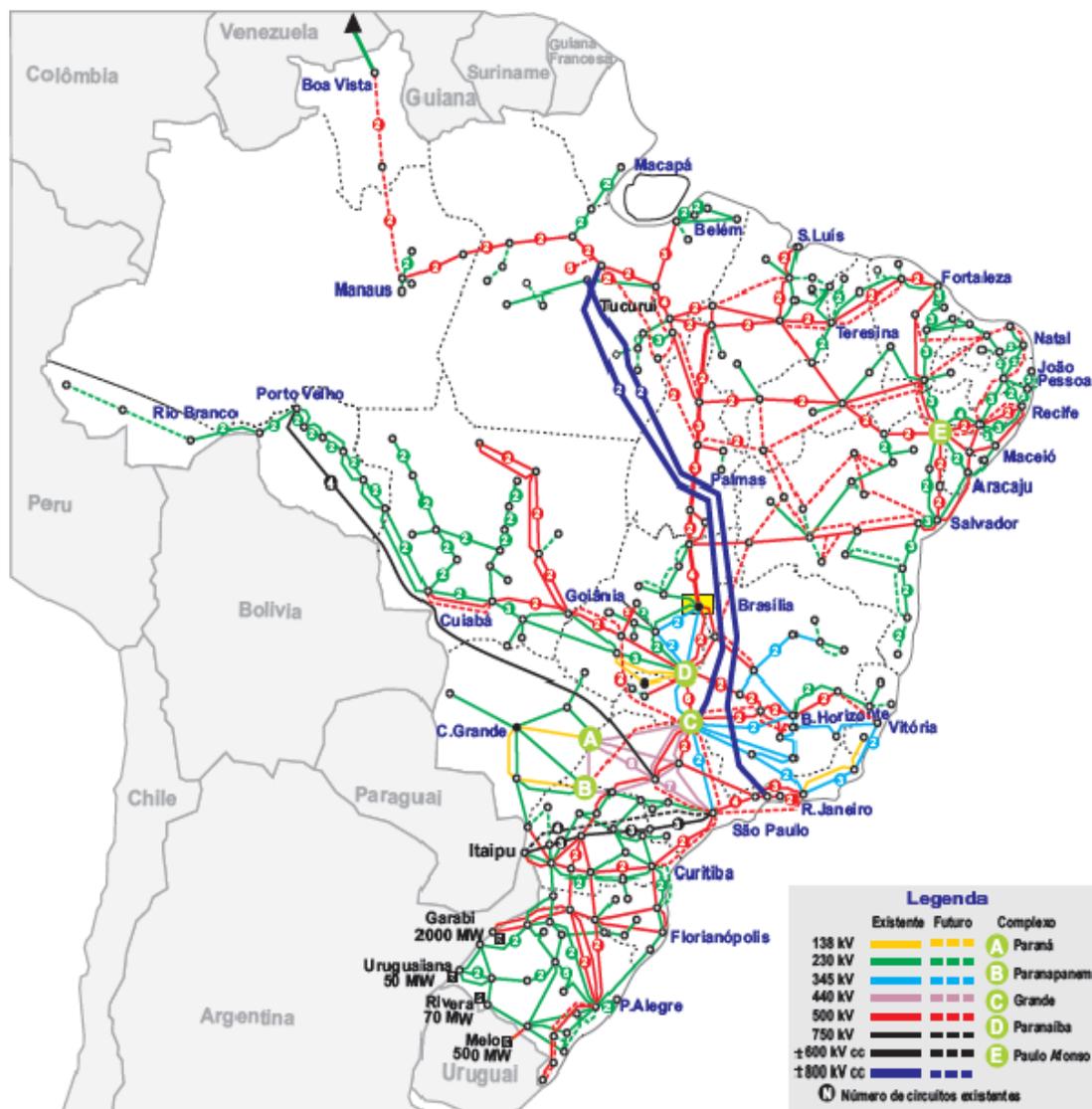
O principal motivo para escrevermos sobre esse tema foi como esse sistema é de vital importância para a sociedade brasileira atual, devido ao fato que todas as instalações elétricas do Brasil possuem um ponto central, que é o SIN, e possui como “*backup*” o Esquema Regional de Alívio de Cargas (ERAC), sendo o mesmo, o responsável por evitar grandes catástrofes, como veremos mais adiante nesse artigo.

Desenvolvimento

O Brasil possui o maior sistema de transmissão de energia elétrica do mundo, o SIN (Sistema interligado nacional) compondo a geração e transmissão de energia elétrica decorrente da geração de usinas hídricas, térmicas e eólicas de grande capacidade (ONS, 2021).

O SIN é composto por 4 subsistemas definidos por região, sendo região Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Com 145.600 Km de linhas de transmissão e com capacidade de transformação de potência instalada de 172.344 MW, possibilitando maior abrangência, segurança e estabilidade com a comutação de fontes geradoras caso ajam intercorrências (ONS, 2021c).

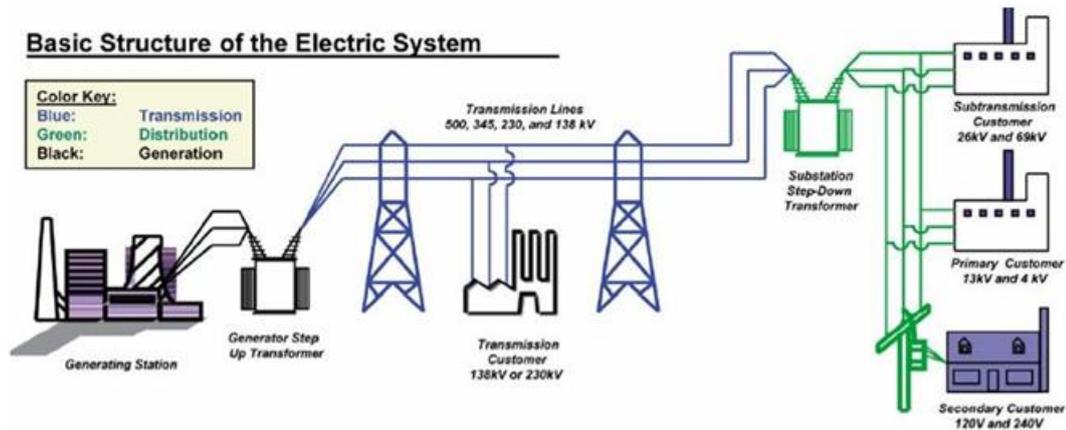
Figura 1 - Mapa do SIN



Fonte: ONS (2021b).

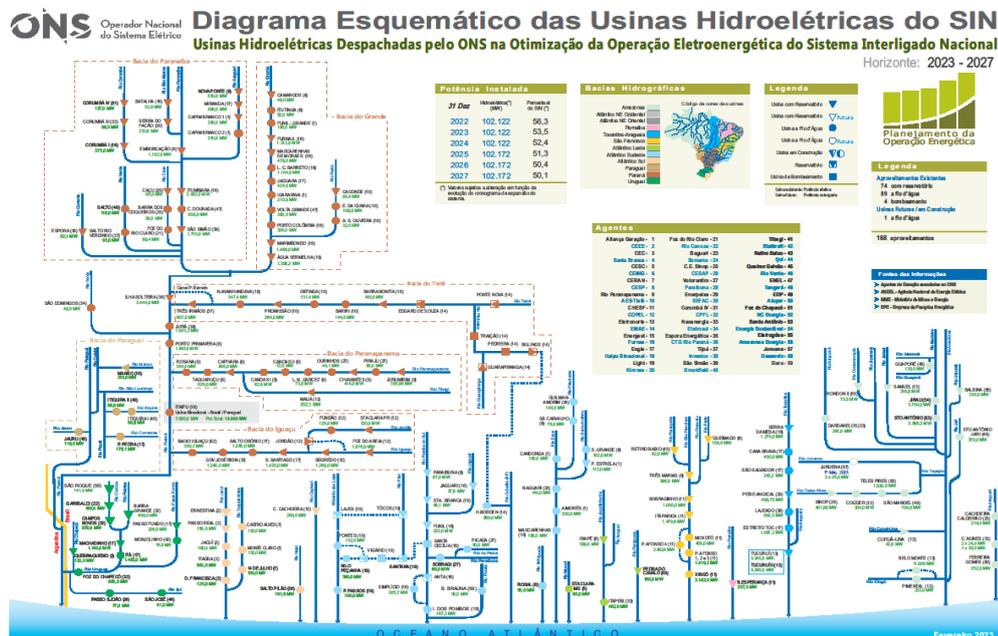
Compondo o SIN, o SEP (Sistema elétrico de potência) são os responsáveis pela geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Para a estabilidade de um SEP são necessários equipamentos de proteção que atuem de forma rápida, mantendo o sistema em operação (Barbosa et al., c2008). Estes equipamentos atuam realizando um monitoramento constante, em principal da Tensão e frequência da rede elétrica (Barbosa et al., 2008).

Figura 2 – Composição SEP



Fonte: Khan et al., (2018)

Figura 3 – Diagrama das usinas hidroelétricas do SIN



Fonte: ONS (2021b).

O Esquema Regional de Alívio de Carga (ERAC) efetua com base na análise da frequência da rede elétrica o desligamento de blocos de carga dentro do SIN, assim prevenindo que a frequência atinja valores inferiores aos preestabelecidos (NOS, 2021a). Sua atuação ocorre

através de relés de frequência que quando identificam variações na frequência efetuando o corte de cargas previamente estabelecidas com o intuito de estabilizar o sistema novamente (ONS, 2021a).

Figura 4 – Relé de Frequência



Fonte: SIEMENS

A atuação por subfrequência deste tipo de equipamento ocorre após 3 ciclos de leitura e análise dos dados coletados, ou conforme datasheet do fabricante. Porém o tempo para que haja a atuação do disjuntor de proteção é de 10 milissegundos, assim o ERAC efetua a abertura do sistema em até 150 milissegundos (ONS, 2021a).

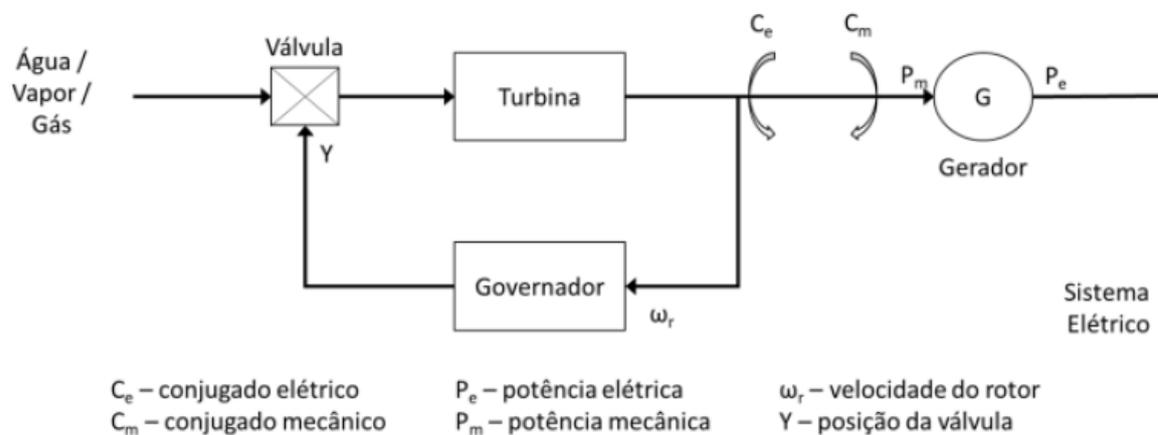
Os relés de subfrequência do ERAC, devem estar constantemente ativos, com exceção nos períodos de manutenção programada, assim possibilitando a eficácia na ação do sistema (ONS, 2020a).

A atuação do ERAC ocorre somente após os sistemas de Regulação Primária e Secundária atuar. Neste caso se ambos não forem suficientes para corrigir o distúrbio (perda de geração, linhas e entre outros) então o ERAC entra em atuação com o desligamento das cargas.

Regulação Primária

Composta por um regulador automático de velocidade (RAV) monitora a velocidade da turbina da usina, realizando o controle do torque mecânico através da velocidade possibilita que a potência ativa gerada se adapte as oscilações da rede mediante a frequência. Portanto sua atuação ocorre por alguns segundos e tem como objetivo compensar a frequência (Almeida, 2004, Cenaqui, 2018).

Figura 5 - Modelo Básico de Gerador



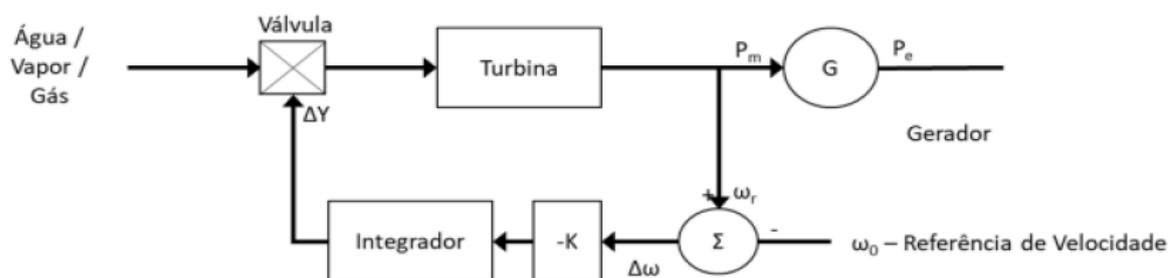
Fonte: (Cenaqui, 2018).

Regulação Secundária

Composta pelo Controle Automático de Geração – CAG, responsável por manter a troca de potência entre as regiões próximas e aproximar os valores nominais, é capaz de estabilizar a frequência de geração a valores aceitáveis (Almeida, 2004).

O regulador isócrono possui a finalidade de ajustar a frequência ao valor nominal padronizado, tendo como concepção o controle PI - proporcional integral (Cenaqui, 2018).

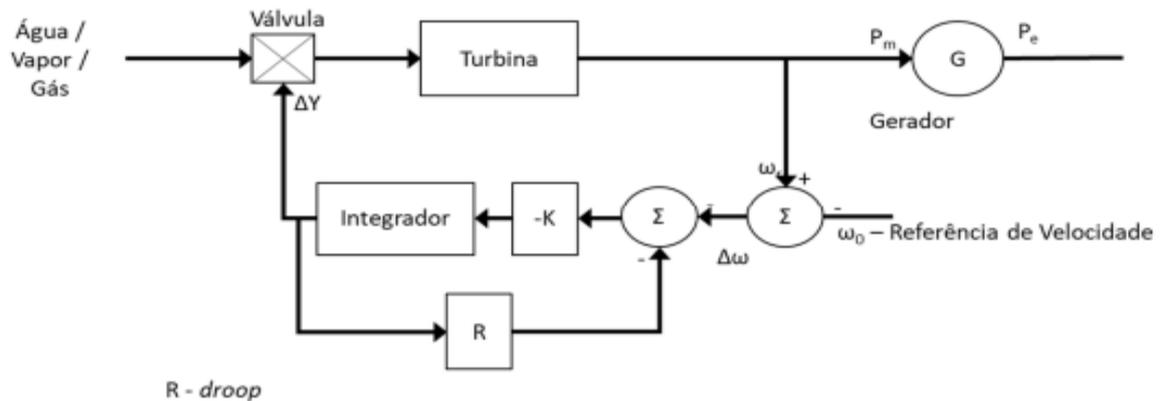
Figura 6 - Regulação Modelo Isócrono



Fonte: (Cenaqui, 2018).

Já o regulador por controle de velocidade pelo método Droop ou estatismo, atua no controle de velocidade do rotor do gerador conforme há um aumento de carga no sistema. Desta forma a potência está diretamente relacionada a velocidade (Cenaqui, 2018).

Figura 7 - Regulação Modelo Doop



Fonte: (Cenaqui, 2018).

Faixas de atuação ERAC

Se as medidas tomadas na regulação primária e secundária não forem efetivas, ao se atingirem os valores definidos é iniciado o corte das cargas (%). O processo é realizado de forma sucessiva dentro de 5 etapas que buscam restabelecer o sistema.

Não havendo a restauração após o 5º corte de carga o sistema entra em colapso e é desativado por sistemas de proteção autônomos ou manuais.

Os limites para cortes de cargas realizados pelo ERAC são estabelecidos pelo ONS para cada um dos 4 subsistemas definidos no SIN (região Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte).

Tabela 1 – Região Sul

Estágio	Frequência (Hz)	Corte de Carga (%)
1º	58,50	7,5
2º	58,20	7,5
3º	57,90	10,0
4º	57,60	15,0
5º	57,30	15,0

Fonte: ONS (2021).

Tabela 2 – Região Sudeste

Estágio	Frequência (Hz)	Corte de Carga (%)
1°	58,50	7,0
2°	58,20	7,0
3°	57,90	7,0
4°	57,70	7,0
5°	57,50	7,0

Fonte: ONS (2021).

A ONS incluiu a área do Acre e Rondônia na mesma faixa da região Centro Oeste.

Tabela 3 – Região Centro Oeste

Estágio	Frequência (Hz)	Corte de Carga (%)	
		Acre / Rondônia	Goiás / Brasília / Mato Grosso / Mato grosso do Sul
1°	58,50	15,0	7,0
2°	58,20	10,0	7,0
3°	57,90	10,0	7,0
4°	57,70	10,0	7,0
5°	57,50	10,0	7,0

Fonte: ONS (2021).

A ONS incluiu a metalúrgica Albrás na mesma taxa de variação de frequência da região Norte.

A entidade brasileira, estipula uma ressalva para a metalúrgica que sua janela de corte é abaixo de 58,5Hz (ONS, 2021a).

Tabela 4 – Região Norte

Estágio	Albrás			Equatorial MA / Energisa – TO / Equatorial PA e demais consumidores livres		
	Taxa de variação de frequência (Hz/s)	Frequência	Corte de carga	Taxa de variação de frequência (Hz/s)	Frequência	Corte de carga
1°	1,50	57,70	Primeira sala de cubas	1,50	57,70	6,0

2°	2,50	57,50	Primeira sala de cubas	2,50	57,50	7,0
3°	3,50	57,30	Primeira sala de cubas	3,50	57,30	11,0

Fonte: ONS (2021).

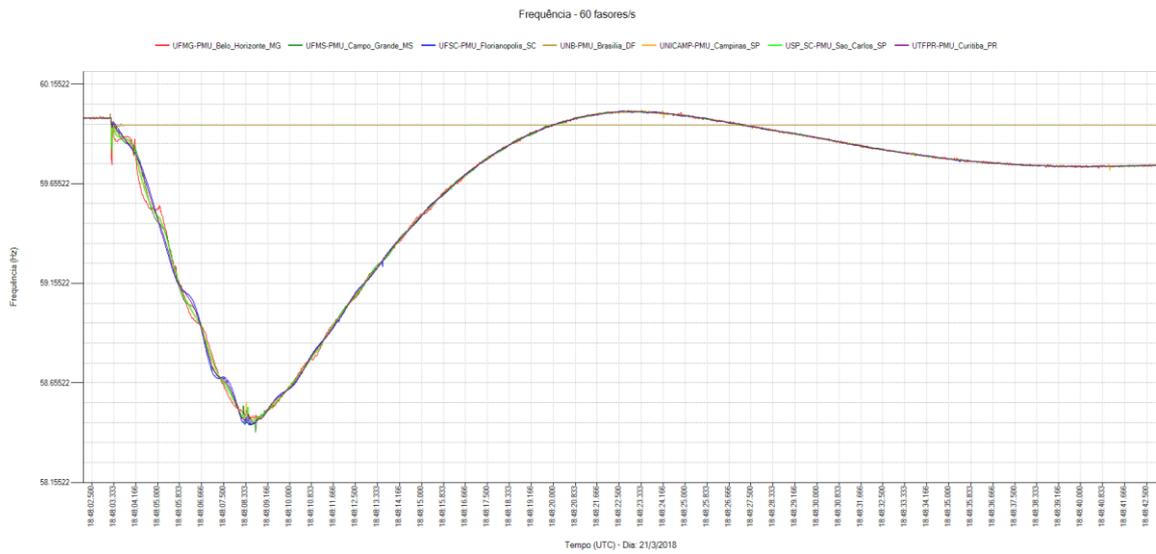
Tabela 5 – Região Nordeste

Estágio	Taxa de variação de frequência (Hz/s)	Frequência (Hz)	Retaguarda		Corte de carga (%)
			Frequência (Hz)	Temporização (s)	
1°	0,70	57,90	58,50	10	6,0
2°	1,10	57,80	58,50	11	7,0
3°	1,50	57,70	58,50	12	11,0
4°	1,80	57,60	--	--	16,0
5°	--	57,40	--	--	15,0

Fonte: ONS (2021).

A figura 8 demonstra a ação do ERAC no primeiro estágio, resultando no desligamento das regiões Sul e Sudeste/Centro-Oeste. A representação de carga no momento do evento era 3.665MW correspondente a 5% (ONS, 2018b). O aumento de carga e ausência de geração reduz a frequência do sistema, resultando na atuação do ERAC.

Figura 8 - Frequência no Sistema Sudeste



Fonte: ONS (2018a).

Neste momento é possível observar que o corte efetuado foi o suficiente para restabelecer a frequência a níveis aceitáveis e assim ocorrendo sua estabilização, demonstrando que o ERAC é um sistema essencial no SIN e que sem a sua utilização não haveria estabilidade.

Simulação

No processo de simulação de simulação será apresentado a eficiência e eficácia da atuação do sistema ERAC para estabilização da frequência de rede. Para o desenvolvimento será utilizado de 3 ferramentas: *softwares* responsáveis por efetuar todas as análises que partem desde o fluxo de potência até a plotagem dos gráficos de atuação do Esquema Regional de Alívio de Cargas.

Levantamento do Fluxo de potência

Como ponto de partida, temos a preparação e conversão do fluxo de potência a ser utilizado para simulação. Este processo é efetuado através do *software* ANAREDE que é uma ferramenta de desenvolvimento do Centro de Pesquisa de Energia Elétrica – CEPEL.

Neste ambiente de desenvolvimento é possível se definir as barras Swing, PV, PQ bem como as linhas de transmissão e traçar todo o fluxo de potência, de forma otimizada, para o sistema.

A Tabela 6 apresenta os dados gerados para um sistema de 30 barras IEEE com base no diagrama da Figura 9, afim de efetuar a simulação de atuação por área.

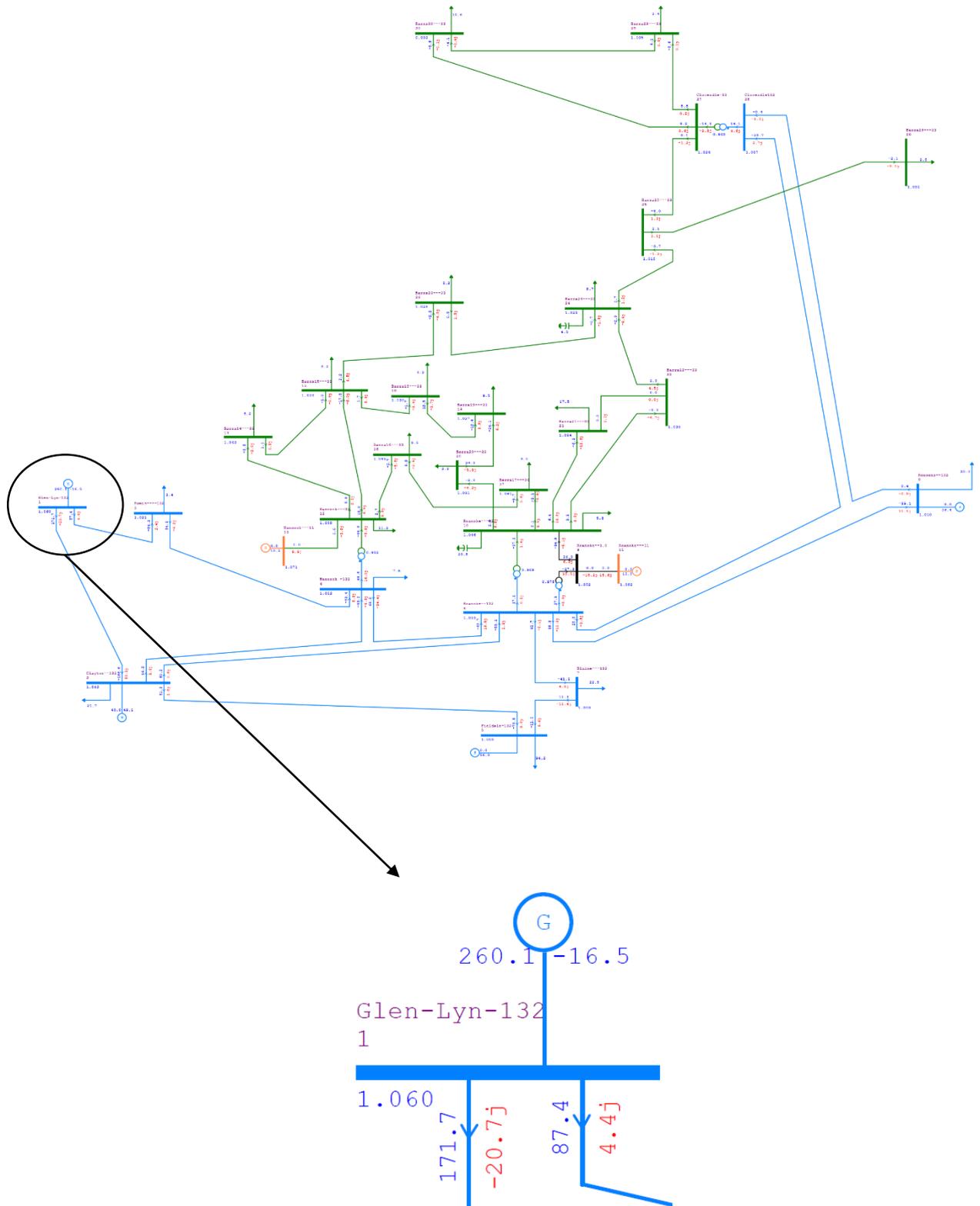
Tabela 6 – Sistema 30 barras IEEE

Nº Barra s	BUS	Tensã o (PU)	Θ°	Tipo	Áre a	Carg a (MW)	Carga (Mvar)	Geraçã o (MW)	Geraçã o (Mvar)
1	Glen-Lyn- 132	1060	0	SWIN G	1	-	-	260.2	-16.1
2	Claytor-- 132	1043	-5	PV	1	21.7	12.7	40.0	50.0
3	Kumis---- 132	1021	-7	PQ	1	2.4	1.2	-	-
4	Hancock - 132	1012	-9	PQ	1	7.6	1.6	-	-
5	Fieldale- 132	1010	-14	PV	1	94.2	19.0	0.0	37.0
6	Roanoke-- 132	1010	-11	PQ	1	-	-	-	-
7	Blaine--- 132	1002	-13	PQ	1	22.8	10.9	-	-

8	Reusens-- 132	1010	12	PV	1	30.0	30.0	0.0	37.3
9	Roanoke-- 1.0	1051	-14	PQ	1	-	-	-	-
10	Roanoke--- 33	1045	-15	PQ	1	5.8	2.0	-	-
11	Roanoke--- 11	1082	-14	PV	1	-	-	0.0	16.2
12	Hancock--- 33	1057	-15	PQ	1	11.2	7.5	-	-
13	Hancock--- 11	1071	-15	PV	1	-	-	0.0	10.6
14	Barra 14	1042	-16	PQ	1	6.2	1.6	-	-
15	Barra 15	1033	-16	PQ	1	-	-	-	-
16	Barra 16	1045	-15	PQ	1	3.5	1.8	-	-
17	Barra 17	1040	-16	PQ	1	9.0	5.8	-	-
18	Barra 18	1028	-16	PQ	1	3.2	0.9	-	-
19	Barra 19	1026	-17	PQ	1	9.5	3.4	-	-
20	Barra 20	1030	-16	PQ	1	2.2	0.7	-	-
21	Barra 21	1033	-16	PQ	1	17.5	11.2	-	-
22	Barra 22	1033	-16	PQ	1	-	-	-	-
23	Barra 23	1027	-16	PQ	1	3.2	1.6	-	-
24	Barra 24	1021	-16	PQ	1	8.7	6.7	-	-
25	Barra 25	1017	-16	PQ	1	-	-	-	-
26	Barra 26	1000	-16	PQ	1	3.5	2.3	-	-
27	Barra 27	1023	-15	PQ	1	-	-	-	-
28	Barra 28	1007	-11	PQ	1	-	-	-	-
29	Barra 29	1003	-17	PQ	1	2.4	0.9	-	-
30	Barra 30	0992	-17	PQ	1	10.6	1.9	-	-

Fonte: Os autores.

Figura 9 - Diagrama



Fonte: Os autores.

Configuração de Simulação

A simulação é efetuada através do *software* “Anatem”, utilizado para análise dinâmica no domínio do tempo de transitórios eletromecânicos de sistemas de potência de grade porte (CEPEL, Manual Anatem).

Para a execução é necessário incrementar uma série de informações através de linhas de código no *software* “Anatem”, uma destas informações é o importe de todos os dados gerados anteriormente pelo ANAREDE, o que ocorre através de linhas de programação que fazem o apontamento dos diretórios que são divididos em:

- ULOG 2: Fluxo de potência;
- ULOG 4: Relatórios de saída;
- ULOG 8: Plotagem da simulação;
- ULOG 9: Logs dos Eventos de simulação

A Figura 10 demonstra a estrutura das linhas de código para apontamento dos diretórios.

Figura 10 – Linhas de código para apontamento dos diretórios.

```

IEEE30.STB
001 (=====
002 ( TITULO DO CASO
003 (=====
004 [ TITU
005 | ** Atuação do ERAC no Caso 30 Barras **
006 (
007 (=====
008 ( ASSOCIACAO DE UNIDADES LOGICAS
009 (=====
010 (
011 ( ---- arquivo Historico do fluxo de potencia ----
012 [ ULOG
013 | 2
014 | C:\Users\Cristiano\Documents\Documentos Cristiano\Una\Material 10º semestre\Atcc\ATCC\30IEEE.his
015 (
016 ( ---- arquivo de saida ----
017 [ ULOG
018 | 4
019 | C:\Users\Cristiano\Documents\Documentos Cristiano\Una\Material 10º semestre\Atcc\ATCC\30IEEE.out
020 (
021 ( ---- arquivo de plotagem ----
022 [ ULOG
023 | 8
024 | C:\Users\Cristiano\Documents\Documentos Cristiano\Una\Material 10º semestre\Atcc\ATCC\30IEEE.plt
025 (
026 ( ---- arquivo de log de eventos ----
027 [ ULOG
028 | 9
029 | C:\Users\Cristiano\Documents\Documentos Cristiano\Una\Material 10º semestre\Atcc\ATCC\30IEEE.log

```

Fonte: Próprio Autor

A Figura 11 apresenta a função padrão que vincula a simulação aos dados obtidos no fluxo de potência e que são apontados pelo diretório ULOG 2

Figura 13 – Regulador de Tensão e Regulador de Velocidade

```

064 (
065 (=====
066 ( MODELOS DE REGULADORES DE TENSAO ( PRÉ-DEFINIDOS )
067 (=====
068  DRGT MD01
069 (..... Modelo 101
070 (No) (CS) (Ka) (Ke) (Kf) (Tm) (Ta) (Te) (Tf) (Lmn) (Lmx) LS
071 0101 31 300. 3.00 0.30 0.0 0.0 6.00 3.00 -1.1 8.05ED
072 (
073 (..... Modelo 102
074 (No) (CS) (Ka) (Ke) (Kf) (Tm) (Ta) (Te) (Tf) (Lmn) (Lmx) LS
075 0034 31 408. 1.00.1046 0.0 0.0 1.00 3.17 -1.1 8.05EI
076 (
077 999999
078 (
079 (=====
080 ( MODELOS DE REGULADORES DE VELOCIDADE ( PRÉ-DEFINIDOS )
081 (=====
082  DRGV MD01
083 (..... Modelo 0101
084 (No) (R) (Rp) (At) (Qnl) (Tw) (Tr) (Tf) (Tg) (Lmn) (Lmx) (Dtb) (D) (Pbg) (Pbt)
085 0101 0.05 0.381.200 0.15 1.5 7.0 0.05 0.5 0.0 5.984 0.5 1.0 1.0 1.0
086 (
087 999999

```

Fonte: Os autores

Na sequência são implementados valores que definem a Curva de Saturação do gerador síncrono (Figura 14), definindo assim a sua tendência a suportar a operação. E dados que associação a geração das barras PV ao tipo de máquina síncrona (Figura 15) de acordo com fluxo de potência do ULOG 2.

Figura 14 – Curva de Saturação

```

090 (
091 (=====
092 ( CURVAS DE SATURACAO
093 (=====
094  DCST
095 (..... Curvas de Saturacao de Geradores
096 (No) O T ( Y1 ) ( Y2 ) ( X1 )
097 (..... Curva 1
098 0001 2 0.016 8.198 0.8
099 (..... Curvas de Saturacao das Excitatrizes
100 (No) O T ( Y1 ) ( Y2 ) ( X1 )
101 (..... Curva 1
102 0031 2 0.0147 1.206
103 999999

```

Fonte: Os autores

Figura 15 – Associação de Barras e Máquinas

```

106 (
107 (=====
108 ( ASSOCIACAO DE MAQUINAS COM MODELOS
109 (=====
110 □ DMAQ
111 ( Nb) Gr (P) (Q) Und ( Mg ) ( Mt )u( Mv )u( Me )u(Xvd)(Nbc)
112 0001 10 1 0011 (SWING
113 0002 10 1 0201 0101 (PV
114 0005 10 1 0201 (PV
115 0008 10 1 0201 (PV
116 0011 10 1 0201 (PV
117 0013 10 1 0201 (PV
118 999999

```

Fonte: Próprio Autor

A função principal de simulação, o Esquema Regional de Alívio de Carga – ERAC (Figura 16), atuará como proteção no Sistema Elétrico de Potência - SEP ao haver anomalias que ocasionem variação na frequência da rede elétrica devido a perda de uma grande fonte geradora. Nesta função definimos os parâmetros de frequência para atuação de cada uma das fases do ERAC, assim como os valores de corte de carga a serem aplicadas e cada fase.

Figura 16 – Esquema Regional de Alívio de Carga - ERAC

```

119 (=====
120 ( ESQUEMA REGIONAL DE ALÍVIO DE CARGA - ERAC
121 (=====
122 DERA IMPR
123 (
124 (** ERAC SEP 30 BARRAS
125 (Ne) (tp) ( no) C (tp) ( no) C (tp) ( no) C (tp) ( no) ( Nb) (Fs ) (Fc ) O
126 10 AREA 1 1 A
127 (Tax) (Fr ) ( %C) (Ttx) (Tre) (Tdj)
128 A 0.970 7.5 0.300 0.050
129 A 0.965 7.5 0.300 0.050
130 A 0.960 15 0.300 0.050
131 A 0.955 14 0.300 0.050
132 A 0.950 10 0.300 0.050
133 FIMERAC
134 999999

```

Fonte: Os autores

A retirada da fonte geradora é executada pela função Remoção do Gerador (Figura 17), onde em nosso caso é determinado que o gerador da barra 1 (Swing) será removido após 5 segundos para simulação. Neste momento o sistema atuará com base na queda de tensão e frequência para não colapsar.

Figura 17 – Remoção do Gerador

```

135 (
136 (=====
137 ( EVENTO - REMOÇÃO DO GERADOR 1 - ALTA MAGNITUDE
138 (=====
139 DEVT IMPR
140 (
141 (Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa) Nc ( Ex ) ( % ) (ABS ) Gr Und (Bl)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
142 RMGR 5.00 1
143 999999

```

Fonte: Próprio Autor

Até o presente momento todas as funções com apontamentos e parâmetros foram inseridas ao código, restando apenas as funções para plotagem dos dados. A função Variáveis de Saída (Figura 18) é responsável por gerar os dados necessários ao software PLOT CEPEL, ferramenta de plotagem dos dados obtidos.

Esta função é responsável por gerar os dados para plotagem das curvas:

- Frequência do Gerador – FMAQ;
- Ângulo do eixo Q do Gerador em Graus – DELT.

Já a função Dados de Simulação (Figura 19) é responsável por determinar qual o tempo de simulação, em nosso caso sendo configurado tempo total de 15 segundos.

Figura 18 – Variáveis de Saída

```

144 (
145 (=====
146 ( VARIÁVEIS DE SAÍDA - PLOTAGEM
147 (=====
148  DPLT IMPR
149 (Tipo)M( El ) ( Pa) Nc Gp ( Br) Gr ( Ex) (Bl) P
150 FMAQ 2 10 (FREQUÊNCIA DO GERADOR
151 DELT 2 10 (ÂNGULO DO EIXO Q DO GERADOR °
152  999999

```

Fonte: Os autores.

Figura 19 – Dados de Simulação

```

153 (
154 (=====
155 ( DADOS DE SIMULACAO - CONTROLE DE TEMPO SEGUNDOS
156 (=====
157  DSIM
158 ( Tmax ) (Stp) ( P ) ( I )
159  15.0 .005 1 1

```

Fonte: Os autores.

Para a conclusão das configurações para a simulação temos a função Execução do Caso (Figura 20), onde a função EXSI é responsável por executar as linhas de código de forma total e finalizar a sua execução com a chamada automática do software para plotagem das curvas.

Figura 20 – Execução do Caso

```
160 (
161 (=====
162 ( EXECUCAO DO CASO
163 (=====
164 EXSI
165 (
166 FIM
```

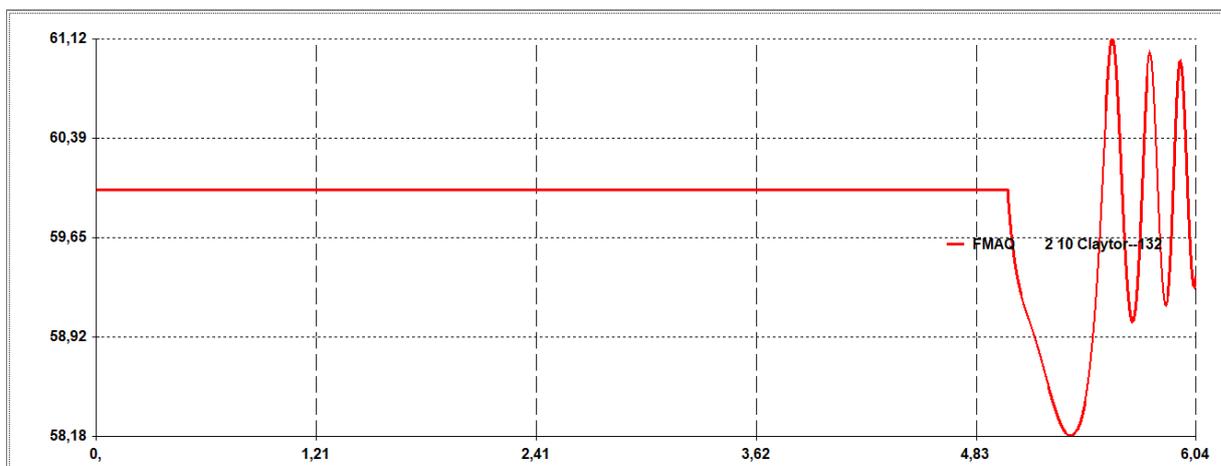
Fonte: Próprio Autor

Resultados

Apresentaremos 2 cenários, o primeiro com a saída da unidade geradora de grande porte e sem a atuação do ERAC. Na sequência, o segundo cenário apresentará a atuação do ERAC no mesmo caso.

Na análise do primeiro caso, a frequência apresenta instabilidade com a saída da fonte geradora e conseqüentemente entra em colapso como demonstrado na Figura 21.

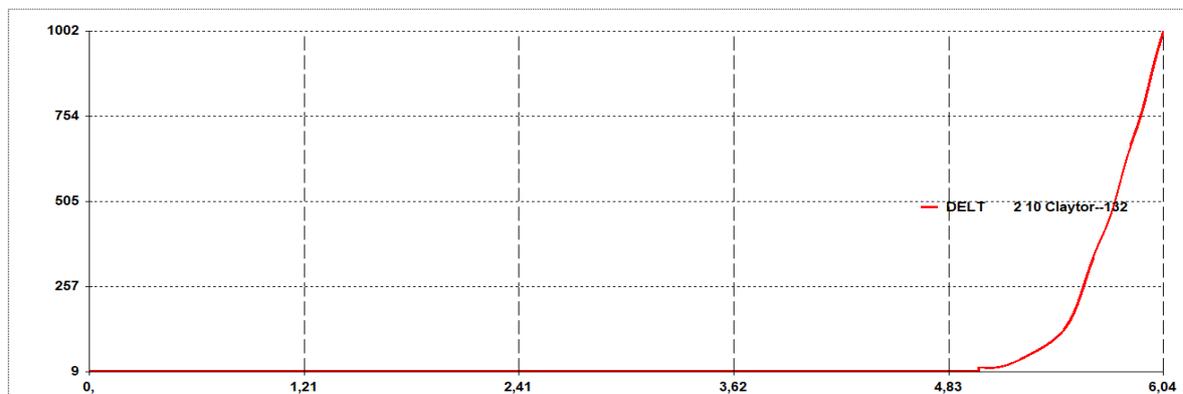
Figura 21 – Frequência do Gerador



Fonte: Próprio Autor

Também é possível observar que ângulo de sincronismo do gerador da barra 2 tendeu ao infinito com a tentativa de correção, atingindo assim nível crítico de operação como demonstrado pela figura 22.

Figura 22 – Ângulo de Sincronismo do Gerador



Fonte: Os autores

Na análise do segundo caso teremos a atuação do ERAC em 5 momentos distintos, aplicando cortes para restaurar a estabilidade do sistema. A simulação tem como base valores de frequência e corte da Região Sul, porém com temos um sistema arbitrado de 30 barras, um dos valores foi arbitrado para que se fosse possível apresentar a retomada de estabilidade do sistema. Estes valores são apresentados na Tabela 7.

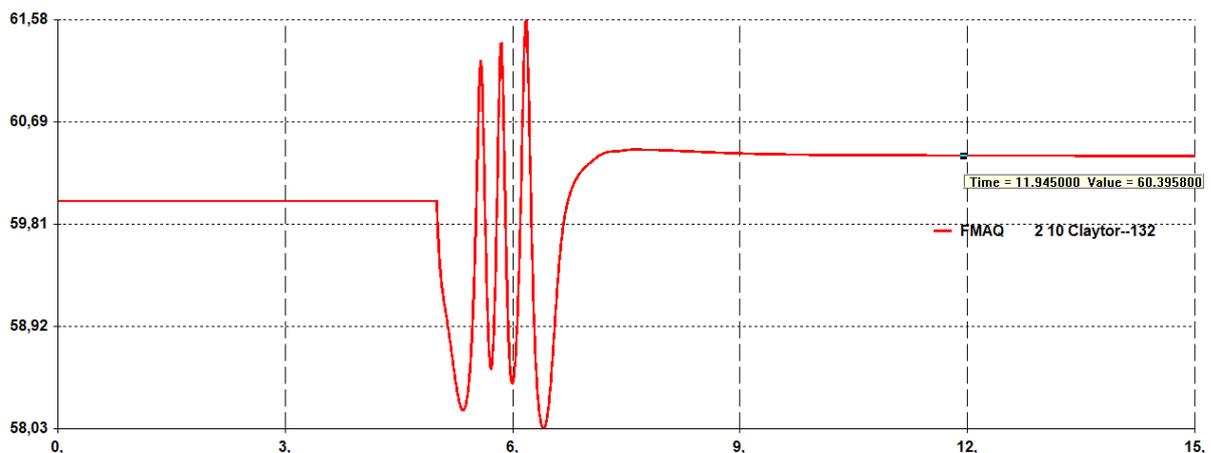
Tabela 10 – Parâmetros para atuação do ERAC

Frequência (%)	Frequência (Hz)	Carga (%)
97,5	58,5	7,5
97,0	58,2	7,5
96,5	57,9	10
96,0	57,6	15
95,5	57,3	58

Fonte: Os autores

Com a saída da fonte gerado houve um período transitório de atuação do sistema ERAC, seguido de sua estabilização no regime permante. É possível obsevar na Figura 23 que a frequência da rede se estabilizou em 60,39 Hz.

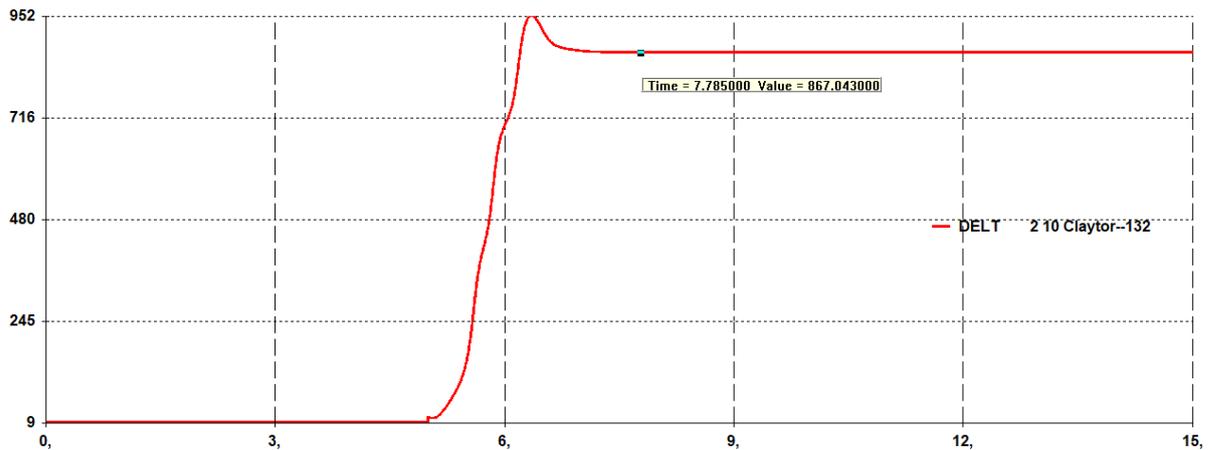
Figura 23 – Frequência do Gerador



Fonte: Os autores.

E o ângulo de sincronismo do gerador na barra 2 se estabiliza em $867,043^\circ$ como demonstrado na figura 24.

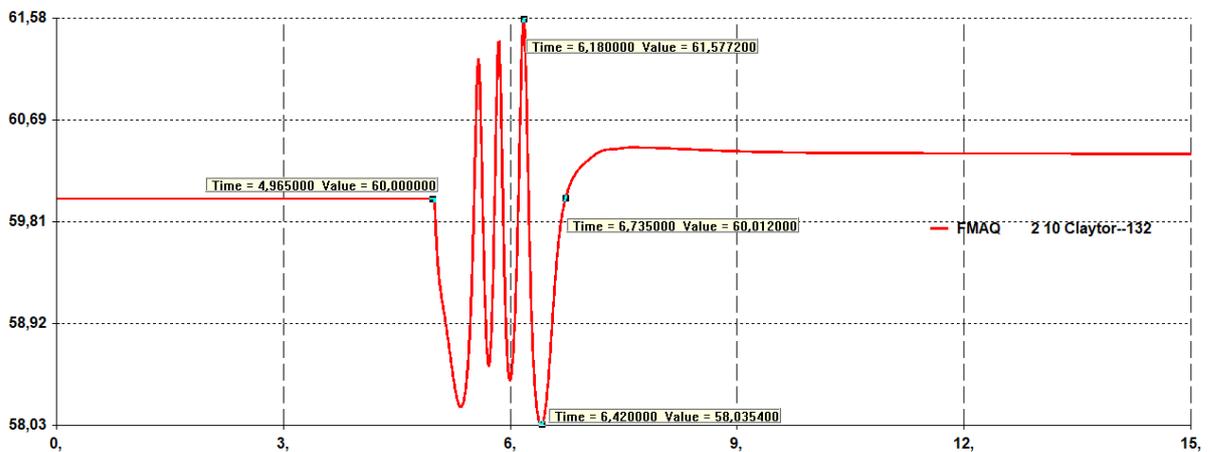
Figura 24 – Ângulo de Sincronismo do Gerador



Fonte: Próprio Autor

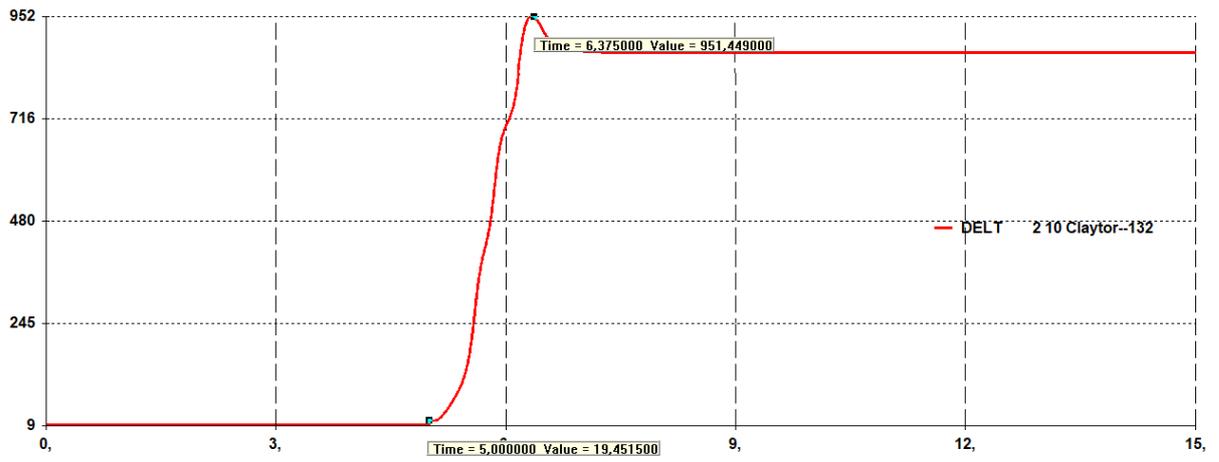
A Figura 25 e Figura 26, demonstram com maior riqueza os valores de pico da frequência e ângulo do gerador durante o período transitório, assim como os instantes de atuação do ERAC para buscar a correção da anomalia.

Figura 25 – Frequência do Gerador



Fonte: Próprio Autor

Figura 26 – Ângulo de Sincronismo do Gerador



Fonte: Próprio Autor

Considerações Finais

O processo de simulação foi efetuado e apresentou o objetivo desejado, apresentar o comportamento do SIN com e sem a atuação do ERAC. Assim foi possível apresentar a sua eficácia, onde quando não aplicado o sistema entra em colapso.

Para finalizar, o sistema ERAC é um importante mecanismo de proteção do sistema elétrico brasileiro contra situações de emergência, como sobrecargas e falhas no sistema. O ERAC tem se mostrado eficiente em garantir a continuidade no fornecimento de energia elétrica em regiões afetadas por esses eventos, minimizando os impactos para os consumidores.

Entretanto, é importante destacar que o ERAC não é uma solução definitiva para os problemas enfrentados pelo sistema elétrico brasileiro. É necessário que sejam implementadas outras medidas de segurança, como a modernização e ampliação da rede elétrica, o aumento da capacidade de geração de energia e o uso de fontes renováveis, para que o sistema elétrico possa ser mais resiliente e confiável a longo prazo.

Além disso, é fundamental que haja uma atuação preventiva e uma constante manutenção do sistema elétrico, a fim de reduzir a ocorrência de falhas e sobrecargas. Somente com uma abordagem abrangente e integrada, envolvendo diversos aspectos do sistema elétrico, é possível garantir a segurança energética e o fornecimento de energia elétrica de qualidade para a população brasileira.

Referências

- ❖ ALMEIDA, L. P. (2004). Análise de Desempenho do Controle Automático de Geração e do Controle Secundário de Tensão. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Rio de Janeiro: Universidade do Rio de Janeiro - COPPE, 2004. Acessado em: outubro 2021. Disponível em: http://www.coep.ufrj.br/~tarang/CSI/Tese_MSc_Leonardo_Almeida.pdf
- ❖ CENAQUI, T. C. (2018). Modelagem de Turbinas e Reguladores de Velocidade e Seus Impactos na Simulação da Regulação Primária de Frequência. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Rio de Janeiro: Universidade do Rio de Janeiro - COPPE, 2018. Acessado em: outubro 2021. Disponível em: <http://www.pee.ufrj.br/index.php/pt/producao-academica/dissertacoes-de-mestrado/2018/2016033252--101/file>
- ❖ BARBOSA, D., MONARO, R. M., COURY, D. V., & OLESKOVICZ, M. (2008). Filtragem adaptativa para a estimação da frequência em sistemas elétricos de potência. Revista Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica, v.19, n.2, mai/jun. 226–234. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-17592008000200010>
- ❖ CECCON, W. F., FREIRE, R. Z., SZEJKA, A. L., & Junior, O. C. (2021). Intelligent Electric Power Management System for Economic Maximization in a Residential Prosumer Unit. IEEE, v.XX. 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9386063>
- ❖ ONS, O. N. do S. E. (2021b).
- ❖ Mapas. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>
- ❖ KHAN, A., XIE, W., AFTAB QURESHI, S., ILYAS, M., Lin, J., & Liu, G. (2018). Designing and Modeling of Automated Anti-theft Electricity Distribution System. Revista MATEC Web of Conferences, 160. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201816002010>

- ❖ ONS, O. N. do S. E. (2018a). Entrevista Coletiva sobre a Perturbação de 21/03/2018. 27. Disponível em: http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/ONS_Apresentação_coletiva.pdf

- ❖ ONS, O. N. do S. E. (2018b, April 8). ONS atualiza resultados da análise da ocorrência que afetou o Norte e o Nordeste. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20180506-analiseocorrencianorteenordeste.aspx>

- ❖ ONS, O. N. do S. E. (2020a). Critérios para Operação. 12. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>

- ❖ ONS, O. N. do S. E. (2020b). Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>

- ❖ ONS, O. N. do S. E. (2021a). Manual De Procedimentos Da Operação. Design, 12. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>

- ❖ ONS, O. N. do S. E. (2021b). Mapas. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>

- ❖ ONS, O. N. do S. E. (2021c). O que é o SIN. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>

- ❖ ONS, O. N. do S. E. (2021d). O Sistema em Números. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>

- ❖ ONS, O. N. do S. E. (2021e). Qualidade do Suprimento. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento>

- ❖ Reles de frequência. Disponível em:
<https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/pt/Catalog/Product/7SR5111-1AA11-0AA0>
- ❖ Cepel, Anatem: *<https://see.cepel.br/manual/anatem/index.html>*