4
Estudo de Caso

O SADECT, apresentado no capítulo anterior, foi avaliado no controle de tensão do Sistema de Transmissão responsável pela transmissão da geração da usina hidroelétrica (UHE) de Itaipu para as áreas Sul e Sudeste do Brasil e pela interligação entre estas duas áreas. A interligação Sul/Sudeste, que possui nove linhas de transmissão em 765 kV com compensação capacitiva em série, permite o intercâmbio de energia elétrica entre as duas áreas.

Em virtude da complementaridade hidrológica dessas áreas (enquanto uma está na fase seca, a outra está na fase úmida), a interligação Sul/Sudeste viabiliza a otimização energética entre as mesmas.

A Figura 22 apresenta uma representação unifilar da interligação Sul/Sudeste. As linhas horizontais em vermelho representam os barramentos e, em azul, estão destacados os recursos ou equipamentos de controle de tensão (ECTs).

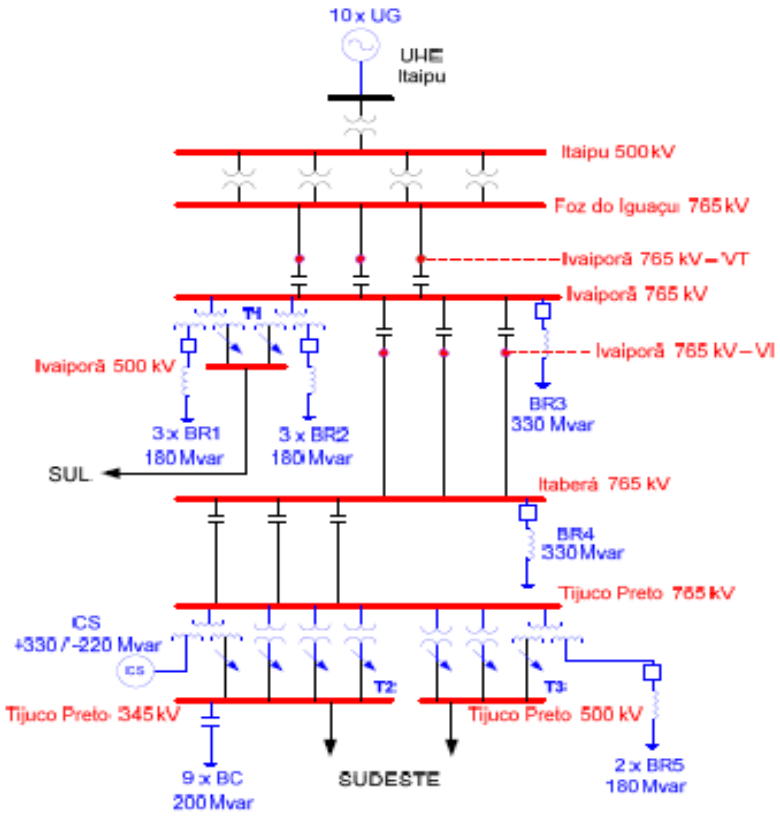

Figura 22 – Interligação Sul/Sudeste

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Nessa interligação os operadores possuem os seguintes ECTs, cujas posições (estado operativo) são importantes para a realização da tarefa do controle de tensão dos seus barramentos:

- ✓ dez (10) unidades geradoras do setor de 60 Hz da UHE Itaipu - **(10 x UG)**;
- ✓ um (1) compensador síncrono da subestação Tijuco Preto (STTP) - **(CS +330/-220 Mvar)**;
- ✓ nove (9) bancos de capacitores em paralelo, de 200 Mvar cada, da STTP 345 kV - **(9 x BC)**;
- ✓ seis (6) bancos de reatores em paralelo, de 180 Mvar cada, presentes no terciário de dois transformadores de 765/500 kV da subestação Ivaiporã (STIV) - **(3 x BR1 e 3 x BR2)**;
- ✓ dois (2) bancos de reatores em paralelo, de barra, de 330 Mvar cada, das STIV 765 kV **(BR3)** e subestação Itaberá (STIA) 765 kV **(BR4)**;
- ✓ dois (2) bancos de reatores em paralelo, de 180 Mvar cada, presentes no terciário de um dos transformadores de 765/500 kV da STTP - **(2 x BR5)**;
- ✓ dois transformadores em paralelo de 765/500 kV da STIV com vinte e três (23) tapes - **(T1)**;
- ✓ quatro transformadores em paralelo de 765/345 kV da STTP com vinte e três (23) tapes - **(T2)**; e
- ✓ três transformadores em paralelo de 765/500 kV da STTP com trinta (30) tapes - **(T3)**.

O controle da tensão da interligação é realizado pelos operadores de tempo real com base nos valores de tensão de sete barramentos principais:

- ✓ subestação Itaipu 500 kV;
- ✓ subestação Foz do Iguaçu (STFI) 765 kV;
- ✓ STIV 765 kV;
- ✓ STIA 765 kV; e
- ✓ STTP 765 kV, 500 kV e 345 kV.

Além das tensões dos barramentos, outras duas são utilizadas como referência no controle de tensão dessa interligação:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

- STIV 765 kV – VT (medida nos capacitores em série com saída para STFI); e
- STIV 765 kV – VI (medida nos capacitores em série com saída para STIA).

Outra informação importante para o controle de tensão é a hora do dia, pois, conforme explicado no Capítulo 1, a hora está diretamente relacionada à demanda de carga do SIN. A importância desta informação é verificada quando, perto das 17h, os operadores de tempo real realizam as ações para elevar as tensões dos barramentos próximos aos centros de carga. Tais ações são realizadas preventivamente, uma vez que as tensões destes barramentos se reduzem com a elevação da carga no período de carga pesada.

Escolhido o SEP para o estudo de caso e conhecidas as informações necessárias para o controle das tensões de seus barramentos, foram definidos os três blocos de dados que servirão de insumo para o SADECT, ou seja, os dados de entrada (padrões de entrada):

- ✓ Estado dos equipamentos ou recursos de controle de tensão;
- ✓ Valor das tensões dos barramentos; e
- ✓ Hora.

A apresenta cada variável de entrada dos três blocos de dados.

Os valores das tensões dos barramentos de STFI, STIV e STTP 765 kV não foram utilizados no SADECT. Estes valores foram desconsiderados, pois os valores das tensões STIV – VT, VI e STIA 765 kV são mais representativos.

O BR4 de STIA também não foi utilizado, uma vez que o mesmo pouco sofre alteração em seu estado operativo, ficando na maior parte do tempo Ligado.

Uma vez definidas as variáveis de entrada, iniciou-se o procedimento de coleta de dados do histórico.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Tabela 12 – Variáveis de entrada do SADECT para o estudo de caso

Blocos	Variáveis
Equipamentos ou recursos de controle de tensão (ECTs)	10 x UG de Itaipu CS da STTP 9 x BC da STTP 3 x BR1 e 3 x BR2 da STIV BR3 da STIV 2 x BR5 da STTP T1 da STIV T2 da STTP T3 da STTP
Tensões	STIV 765 kV – VT (medida nos capacitores em série com saída para STFI) STIV 765 kV – VI (medida nos capacitores em série com saída para STIA) STIA 765 kV ITAIPU 500 kV STIV 500 kV STTP 500 kV STTP 345 kV
Hora	Hora associada aos valores das demais variáveis

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

4.1. Base de Dados

O histórico utilizado para a obtenção dos dados compreende os meses de junho a dezembro de 2004 (308.160 minutos), possuindo valores adquiridos, de minuto em minuto, das tensões dos principais barramentos, dos estados dos equipamentos de controle de tensão da área escolhida e da hora.

Os dados utilizados para treinar as RNAs do SADECT são referentes às mudanças de estado ocorridas em tempo real. A utilização destes dados para o treinamento tem como objetivo “ensinar” a RNA as regras utilizadas pelos operadores durante a execução da tarefa do controle de tensão do sistema escolhido.

Não foi possível obter o histórico das manobras de controle de tensão utilizando as unidades geradoras de Itaipu e o compensador síncrono de STTP. Desta forma, o SADECT foi treinado apenas com os dados de entrada referentes às mudanças de estado dos bancos de capacitores, reatores e tapes.

Diferentes procedimentos de coleta de dados foram utilizados, dependendo dos equipamentos analisados. Nos casos dos bancos de capacitores e reatores em paralelos (BC e BR, respectivamente), as mudanças de estado operativo ocorrem quando há manobras de Ligar ou Desligar os equipamentos. Os dados de entrada para esses equipamentos foram obtidos no minuto anterior às suas variações de estado.

Para os tapes, a mudança de estado ocorre quando sua posição é alterada para baixo (Reduzir) ou para cima (Elevar). Os dados, nesse caso, foram obtidos do segundo minuto anterior às suas variações de estado, uma vez que, ao contrário dos BC e BR, tais alterações são registradas manualmente pelos operadores após a solicitação das mesmas. A Figura 23 apresenta o fluxograma da obtenção de dados de entrada do histórico.

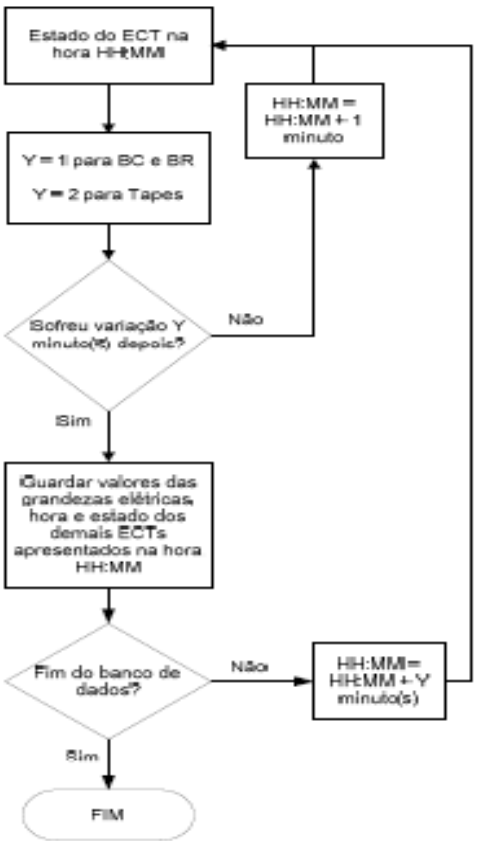

Figura 23 – Fluxograma da obtenção de dados de entrada do histórico

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

No modelo proposto não há diferença entre as manobras de um mesmo grupo de equipamentos, ou seja, as manobras realizadas por um dos nove BCs (02 a 10) de STTP são consideradas como sendo realizadas pelo BC de STTP. Esta prática é comumente usada, já que todos possuem as mesmas características e dificilmente são manobrados dois equipamentos do mesmo grupo no mesmo minuto.

Assim como para o BC de STTP, essa afirmativa é válida para os demais grupos descritos na primeira coluna da . Nesta mesma tabela são relacionados os ECTs aos seus grupos e também são apresentadas as quantidades de manobras por ECT obtidas em cada mês e sua totalização em todo o histórico. Os equipamentos sombreados são aqueles cujo número de manobras foi considerado insuficiente e, portanto, retirados do teste do SADECT.

Tabela 13 – Quantidade total de manobras por equipamento

Grupo	Equipamento ou Recurso de controle de tensão (ECT)	Mês							TOTAL
		6	7	8	9	10	11	12	
T1 da STIV	**Tape 765/500 kV da STIV**	51	28	0	0	0	1	15	**95**
T2 da STTP	**Tape 765/345 kV da STTP**	115	140	132	130	77	10	16	**620**
T3 da STTP	**Tape 765/500 kV da STTP**	81	57	48	41	33	13	15	**288**
BC da STTP	**BC 02 da STTP**	62	77	102	57	2	3	24	**2097**
	BC 03 da STTP	63	68	96	35	2	1	20	
	BC 04 da STTP	0	2	2	0	12	1	0	
	BC 05 da STTP	2	4	10	32	1	3	15	
	BC 06 da STTP	38	57	78	30	0	6	20	
	BC 07da STTP	35	40	16	26	40	64	32	
	BC 08 da STTP	38	49	66	20	2	71	26	
	BC 09 da STTP	32	40	50	50	28	45	22	
	BC 10 da STTP	54	58	70	66	36	70	26	
	TOTAL	324	395	490	316	123	264	185	
BR(3) da STIV	**BR da STIV**	6	18	10	10	18	12	2	**76**
BR(5) da STTP	**BR 01 da STTP**	65	74	69	67	60	47	63	**908**
	BR 02 da STTP	73	73	76	67	62	45	67	
	TOTAL	138	147	145	134	122	92	130	
BR (1 e 2) da STIV	**BR 1A da STIV**	56	68	65	81	65	73	90	**2250**
	BR 1B da STIV	51	61	70	50	56	50	44	
	BR 1C da STIV	33	53	77	53	48	54	44	
	BR 2A da STIV	54	68	64	69	66	57	63	
	BR 2B da STIV	47	59	58	19	24	13	15	
	BR 3B da STIV	29	49	59	49	52	47	47	
	TOTAL	270	358	393	321	311	294	303	

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

A apresenta uma pequena amostra das manobras obtidas do histórico para os tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP. A referida tabela informa a posição do tape antes (Coluna “Tape STTP 765/500 HORA”) e após a manobra (Coluna “Tape STTP 765/500 HORA + 2 min”).

Nas tabelas apresentadas em seguida foram destacadas as manobras de Redução, Elevação, respectivamente, em vermelho e verde. Os eventos onde não ocorreram manobras foram destacados em amarelo.

Tabela 14 – Amostra das manobras do Tape STTP 765/500 kV

EVENTO	**DIA**	**MÊS**	**HORA**	**Tape STTP 765/500 kV** HORA	**Tape STTP 765/500 kV** HORA + 2 min	**MANOBRA**
1	1	6	07:27	18	22	Elevar
2	1	6	09:36	22	18	Reduzir
3	1	6	17:17	18	10	Reduzir
4	3	6	00:27	12	14	Elevar
5	3	6	04:13	14	18	Elevar
6	3	6	16:48	18	14	Reduzir
7	3	6	18:15	14	10	Reduzir
8	4	6	00:28	10	15	Elevar

Além dos dados referentes às manobras dos equipamentos, é necessária a obtenção dos dados nos momentos onde tais equipamentos não foram manobrados. Estes dados são importantes para treinar os modelos de classificação na decisão entre Manobrar ou Não manobrar o equipamento de controle de tensão. Entretanto, pelo fato deste conjunto de dados representar praticamente todo o histórico, pois na maior parte do tempo o equipamento não é manobrado, foram selecionados, de forma aleatória, 3000 dados para cada equipamento. A quantidade destes dados a ser efetivamente usada dependerá da quantidade de dados válidos obtidos para as manobras de Ligar ou Desligar e Elevar ou Reduzir.

Como ilustração do processo de obtenção dos eventos citados anteriormente, referente aos eventos onde os ECTs não foram manobrados, a Tabela 15 apresenta o grupo de eventos mostrado na Tabela 14 com a adição de quatro eventos onde não ocorreram a manobra dos tapes dos transformadores de 765/500 kV da STTP.

Para cada evento estão associados os valores de tensão e do estado operativo dos ECTs do SEP. Os valores das tensões e do estado operativo de cada um dos ECTs do SEP são apresentados na Tabela 16 e na Tabela 17,

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

respectivamente (das linhas 1 a 8). As informações apresentadas nestas tabelas indicaram ao operador de tempo real a necessidade de realizar as manobras acima.

É importante para o treinamento dos modelos de redes neurais que os dados obtidos para cada grupo de ECTs estejam divididos, de forma razoavelmente equilibrada, entre Ligar ou Desligar e entre Elevar ou Reduzir. Esta divisão dos dados foi obtida sem a necessidade de procedimento adicional.

Os valores das tensões e do estado operativo de cada um dos ECTs do SEP para os eventos onde não ocorreram a manobra dos tapes dos transformadores de 765/500 kV da STTP também são apresentados na Tabela 16 e na Tabela 17, respectivamente (das linhas 9 a 12).

Tabela 15 – Amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP

EVENTO	DIA	MÊS	ANO	HORA	**Tape STTP 765/500** HORA	**Tape STTP 765/500** HORA + 2 min	EVENTO
1	1	6	2004	07:27	18	22	Elevar
2	1	6	2004	09:36	22	18	Reduzir
3	1	6	2004	17:17	18	10	Reduzir
4	3	6	2004	00:27	12	14	Elevar
5	3	6	2004	04:13	14	18	Elevar
6	3	6	2004	16:48	18	14	Reduzir
7	3	6	2004	18:15	14	10	Reduzir
8	4	6	2004	00:28	10	15	Elevar
9	1	6	2004	06:50	18	18	Não manobrar
10	4	6	2004	07:10	16	16	Não manobrar
11	4	6	2004	23:20	16	16	Não manobrar
12	5	6	2004	01:46	16	16	Não manobrar

Tabela 16 - Tensões referentes à amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP

EVENTO	STIV 765 kV –VT	STIV 765 kV -VI	STIA 765 kV	ITAIPU 500 kV	STIV 500 kV	STTP 500 kV	STTP 345 kV
1	796,00	762,70	795,80	510,00	527,00	505,70	356,90
2	786,40	766,30	788,20	519,00	532,90	495,70	358,60
3	782,00	771,10	774,10	516,00	533,60	519,60	359,80
4	774,80	745,20	782,50	505,00	501,30	518,30	348,10
5	780,60	757,30	788,60	499,00	503,20	506,30	345,60
6	781,10	774,20	777,60	520,00	529,00	505,80	358,10
7	793,60	787,50	784,90	523,00	540,80	525,70	357,30
8	787,80	760,90	790,30	520,00	520,70	501,70	346,40
9	785,40	748,20	787,80	500,00	505,90	515,20	356,00
10	789,80	762,10	795,20	508,00	524,40	518,60	357,90
11	757,40	737,30	764,70	502,00	502,90	500,30	346,50
12	787,80	760,90	790,30	520,00	520,70	501,70	346,40

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Tabela 17 – Estado operativo dos equipamentos referentes à amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP

EVENTO	Tape STTP 765/500 HORA	Tape STIV 765/500	Tape STTP 765/345	STTP BC02	STTP BC03	STTP BC04	STTP BC05
1	18	14	6	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
2	22	14	4	Desligado	Desligado	Desligado	Ligado
3	18	16	4	Ligado	Ligado	Desligado	Desligado
4	12	16	8	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
5	14	20	10	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
6	18	14	4	Ligado	Ligado	Desligado	Desligado
7	14	14	6	Ligado	Ligado	Desligado	Desligado
8	10	14	8	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
9	18	12	8	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
10	16	16	8	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
11	16	16	6	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
12	16	16	8	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado

EVENTO	STTP BC06	STTP BC07	STTP BC08	STTP BC09	STTP BC10	STTP BR01	STTP BR02
1	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
2	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
3	Desligado	Ligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Desligado
4	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Ligado	Ligado
5	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Ligado	Ligado
6	Desligado	Ligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
7	Ligado	Ligado	Ligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
8	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Ligado	Ligado
9	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Ligado	Ligado
10	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado
11	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Ligado	Ligado
12	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Ligado	Ligado

EVENTO	STIV BR1A	STIV BR1B	STIV BR1C	STIV BR2A	STIV BR2B	STIV BR2C	STIV BR07
1	Desligado	Ligado	Ligado	Desligado	Ligado	Ligado	Ligado
2	Desligado	Desligado	Ligado	Desligado	Desligado	Ligado	Ligado
3	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Ligado
4	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado
5	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado
6	Desligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado
7	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Desligado	Ligado
8	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado
9	Desligado	Ligado	Ligado	Desligado	Ligado	Ligado	Ligado
10	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado
11	Desligado	Ligado	Ligado	Desligado	Ligado	Ligado	Ligado
12	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado	Ligado

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Uma vez retirados do histórico os dados necessários, passa-se à fase de crítica dos mesmos, retirando os inválidos ou desnecessários. A apresenta um resumo da quantidade de eventos obtida para os grupos de ECTs do SEP do estudo de caso após o processo de crítica de dados. É possível verificar o equilíbrio entre estes eventos.

Tabela 18 - Quantidade total de eventos por equipamento

Grupo	Evento			TOTAL
	Ligar ou Elevar	Desligar ou Reduzir	Não manobrar	
T3 da STTP	101	102	100	303
T2 da STTP	286	304	300	890
BC da STTP	749	749	751	2249
BR(5) da STTP	426	433	430	1289
BR(1 e 2) da STIV	1001	1005	1000	3006

A Figura 24 mostra em destaque os ECTs que serão objeto de avaliação do SADECT.

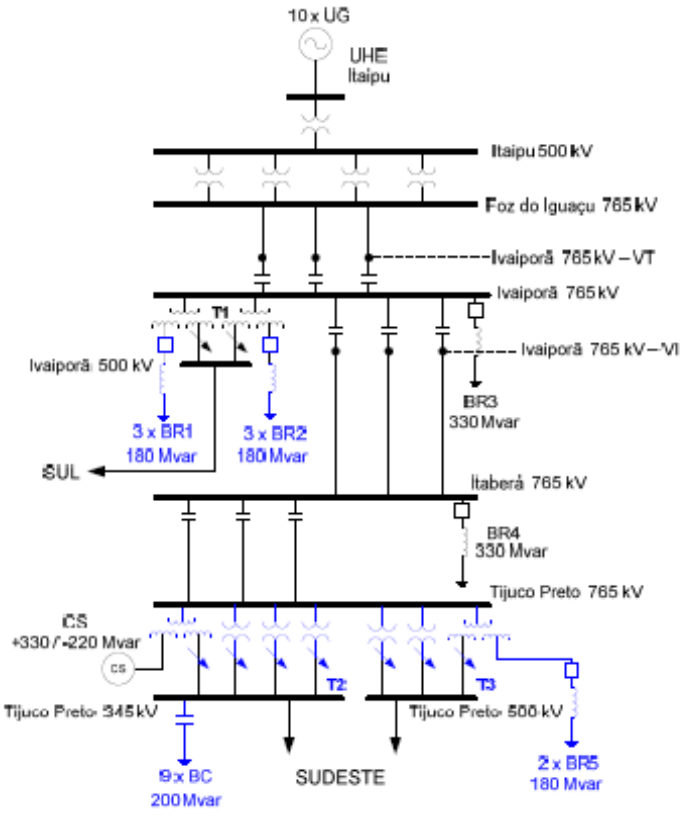

Figura 24 – Interligação Sul/Sudeste e ECTs do SADECT

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

De posse de todos os dados válidos inicia-se a etapa de Pré-processamento.

4.2. Pré-processamento

O módulo de pré-processamento constitui o primeiro módulo do SADECT. Nesta fase os dados criticados são normalizados e transformados, de forma que estejam adequados para sua utilização no próximo módulo, onde é efetuada a classificação do evento.

A funcionalidade do módulo de Pré-processamento dos dados de entrada foi previamente apresentado no Capítulo 3, porém, para o treinamento supervisionado do módulo de classificação (algoritmo *Back-propagation* das RNAs *Multi-Layer Perceptrons* (*MLP*) são necessários dados de saída categorizados.

Desta forma, esta seção está dividida em Pré-processamento dos dados de entrada e Pré-processamento dos dados de saída.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

4.2.1. Pré-processamento dos Dados de Entrada

Conforme discutido no Capítulo 2, para efetuar o pré-processamento dos dados de entrada (etapa de normalização), devem ser definidos os valores máximos e mínimos de cada valor de tensão e do estado operativo dos equipamentos.

Com o objetivo de exemplificar os procedimentos realizados neste módulo, serão apresentados os resultados referentes à amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP (Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17).

Para a normalização do estado operativo dos equipamentos presentes nos dados de entrada dos ECTs do SADECT, é necessário realizar previamente o agrupamento dos equipamentos. O procedimento de agrupamento foi apresentado no Capítulo 3. A Tabela 19 apresenta o agrupamento dos estados operativos dos equipamentos referentes à amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP, vistos na Tabela 17.

Tabela 19 – Agrupamento dos estados operativos dos equipamentos referentes à amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP

EVENTO	T3 da STTP	T1 da STIV	T2 da STTP	BC da STTP	BR(5) da STTP	BR (1 e 2) da STIV	BR(3) da STIV
1	18	14	6	0	0	4	1
2	22	14	4	1	0	2	1
3	18	16	4	5	0	0	1
4	12	16	8	0	2	6	1
5	14	20	10	0	2	6	1
6	18	14	4	3	0	2	1
7	14	14	6	5	0	0	1
8	10	14	8	0	2	6	1
9	18	12	8	0	2	4	1
10	16	16	8	0	0	6	1
11	16	16	6	0	2	4	1
12	16	16	8	0	2	6	1

Os valores dos agrupamentos variam entre valores máximos (todos os equipamentos ligados ou tapes no valor máximo) e mínimos (todos os equipamentos desligados ou tapes no valor mínimo). A Tabela 20 indica estes valores máximos e mínimos por agrupamento de equipamentos e a Tabela 21 apresenta a normalização dos valores da Tabela 19, isto é, dos agrupamentos dos estados operativos dos equipamentos referentes à amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP.

Tabela 20 – Valores máximos e mínimos para os agrupamento dos estados operativos dos equipamentos

Grupo	Valor máximo	Valor mínimo
T3 da STTP	30	0
T2 da STTP	23	0
T1 da STIV	23	0
BC de STTP	9	0
BR(5) de STTP	2	0
BR(1 e 2) de STIV	6	0
BR(3) de STIV	1	0

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Tabela 21 – Normalização dos valores dos agrupamentos dos estados operativos dos equipamentos referentes à amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP

EVENTO	T3 da STTP	T1 da STIV	T2 da STTP	BC da STTP	BR(5) da STTP	BR (1 e 2) da STIV	BR(3) da STIV
1	0,60	0,61	0,26	0,00	0,00	0,67	1,00
2	0,73	0,61	0,17	0,11	0,00	0,33	1,00
3	0,60	0,70	0,17	0,56	0,00	0,00	1,00
4	0,40	0,70	0,35	0,00	1,00	1,00	1,00
5	0,47	0,87	0,43	0,00	1,00	1,00	1,00
6	0,60	0,61	0,17	0,33	0,00	0,33	1,00
7	0,47	0,61	0,26	0,56	0,00	0,00	1,00
8	0,33	0,61	0,35	0,00	1,00	1,00	1,00
9	0,60	0,52	0,35	0,00	1,00	0,67	1,00
10	0,53	0,70	0,35	0,00	0,00	1,00	1,00
11	0,53	0,70	0,26	0,00	1,00	0,67	1,00
12	0,53	0,70	0,35	0,00	1,00	1,00	1,00

Para realizar a normalização dos valores de tensão e da hora do dia, presentes nos dados de entrada dos ECTs do SADECT, foram utilizados os valores máximos e mínimos apresentados na Tabela 22. Estes valores foram obtidos com a análise do histórico dos valores destas tensões. A Tabela 23 apresenta os valores normalizados dessas tensões e da hora da amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP.

Tabela 22 – Valores máximos e mínimos para as tensões e hora

Variáveis	Valor máximo (kV)	Valor mínimo (kV)
STIV 765 kV – VT	815	750
STIV 765 kV – VI	815	720
STIA 765 kV	810	755
ITAIPU 500 kV	530	495
STIV 500 kV	555	490
STTP 500 kV	555	480
STTP 345 kV	370	335
HORA	24:00	00:00

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Tabela 23 – Valores normalizados para as tensões e hora da amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP

EVENTO	HORA	STSTIV 750-VT KV	STSTIV 750-VI KV	STIA 750 KV	ITAIPU 500 KV	STIV 500 KV	STTP 500 KV	STTP345 KV
1	0,31	0,71	0,45	0,74	0,43	0,57	0,34	0,63
2	0,40	0,56	0,49	0,60	0,69	0,66	0,21	0,67
3	0,72	0,49	0,54	0,35	0,60	0,67	0,53	0,71
4	0,02	0,38	0,27	0,50	0,29	0,17	0,51	0,37
5	0,18	0,47	0,39	0,61	0,11	0,20	0,35	0,30
6	0,70	0,48	0,57	0,41	0,71	0,60	0,34	0,66
7	0,76	0,67	0,71	0,54	0,80	0,78	0,61	0,64
8	0,02	0,53	0,33	0,72	0,11	0,28	0,43	0,37
9	0,34	0,58	0,43	0,64	0,71	0,47	0,29	0,33
10	0,32	0,54	0,30	0,60	0,14	0,24	0,47	0,60
11	0,32	0,61	0,44	0,73	0,37	0,53	0,51	0,65
12	0,22	0,11	0,18	0,18	0,20	0,20	0,27	0,33

A Figura 25 mostra todos os valores das tensões normalizadas referentes aos eventos do BR(1 e 2) da STIV. Nesta figura é possível perceber que foram observados poucos valores entre 0,0 e 0,2 e entre 0,8 e 1,0. Este comportamento também foi verificado para as tensões referentes aos eventos dos demais equipamentos. Em virtude deste problema, adotou-se uma nova normalização realizada de forma a se obter uma maior dispersão dos dados, ou seja, estas faixas com poucos valores sofreram redução, aumentando a faixa que possuía a maioria dos dados. A indica os valores de referência para a normalização ajustada dos dados.

Tabela 24 – Valores normalizados para as tensões e hora da amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP

Normalização ajustada	STIV 765 kV – VT	STIV 765 kV - VI
Entre 0,0 e 0,1	750 a 770	720 a 740
Entre 0,1 e 0,9	770 a 800	740 a 795
Entre 0,9 e 1,0	800 a 815	795 a 815
Normalização ajustada	**STIA 765 kV**	**STIV 500 kV**
Entre 0,0 e 0,1	755 a 775	490 a 505
Entre 0,1 e 0,9	775 a 800	505 a 540
Entre 0,9 e 1,0	800 a 810	540 a 555
Normalização ajustada	**STTP 500 kV**	
Entre 0,0 e 0,1	480 a 500	
Entre 0,1 e 0,9	500 a 540	
Entre 0,9 e 1,0	540 a 555	
Normalização ajustada	**STTP 345 kV**	
Entre 0,0 e 0,05	335 a 340	
Entre 0,05 e 0,5	340 a 352	
Entre 0,5 e 0,95	352 a 363	
Entre 0,95 e 1,0	363 a 370	

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

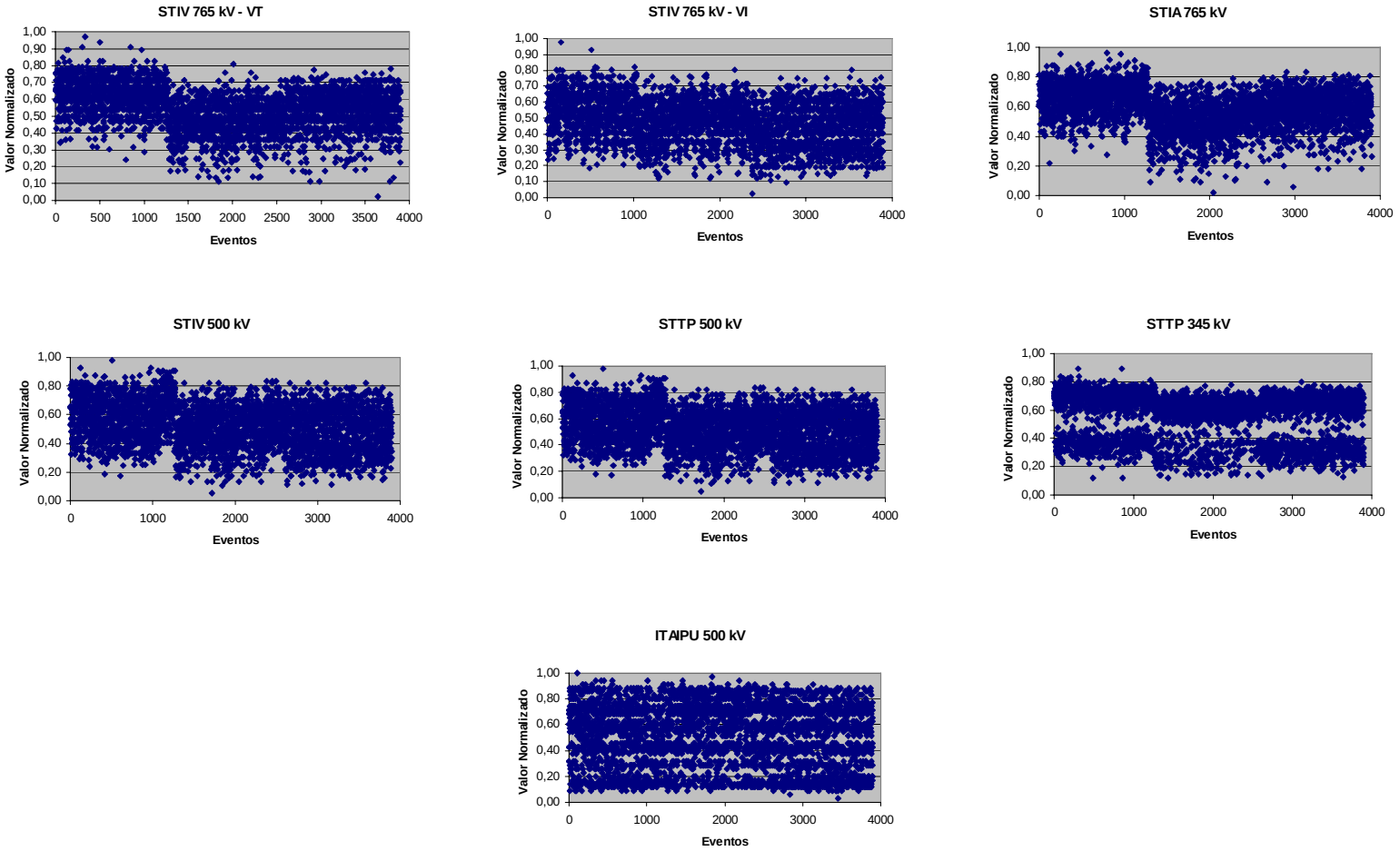

Figura 25 – Todos os valores das tensões, normalizados, referentes aos eventos do agrupamento BR(1 e 2) da STIV

Os valores de tensão de ITAIPU 500 kV, apresentados no último gráfico da Figura 25, foram desconsiderados por apresentarem grande dispersão nos dados para todos os equipamentos, não mostrando um padrão definido para cada evento.

As demais tensões apresentaram comportamentos diferenciados para os eventos de ligar, desligar e não manobrar, sendo portanto utilizadas no SADECT. Como confirmação desta afirmação são apresentados, na Figura 26, para efeito de comparação, os valores normalizados de tensão de STIA 765 kV e ITAIPU 500 kV separados por evento para o BR(1 e 2) da STIV.

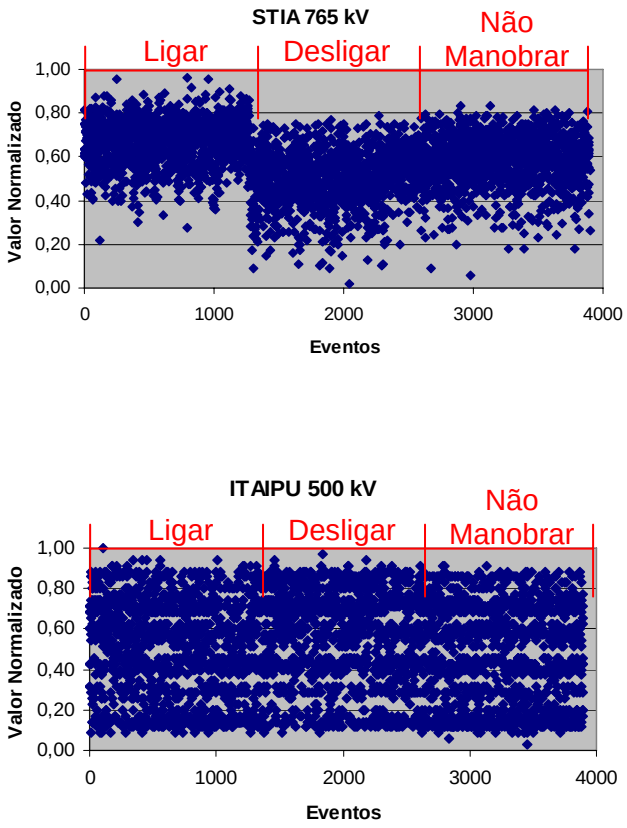

Figura 26 – Valores das tensões STIA 765 kV e ITAIPU 500 kV, normalizados, referentes aos eventos do BR(1 e 2) de STIV

A Figura 27 mostra todos os valores das tensões referentes aos eventos do BR de STIV, normalizados de forma ajustada, confirmando a maior dispersão dos dados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

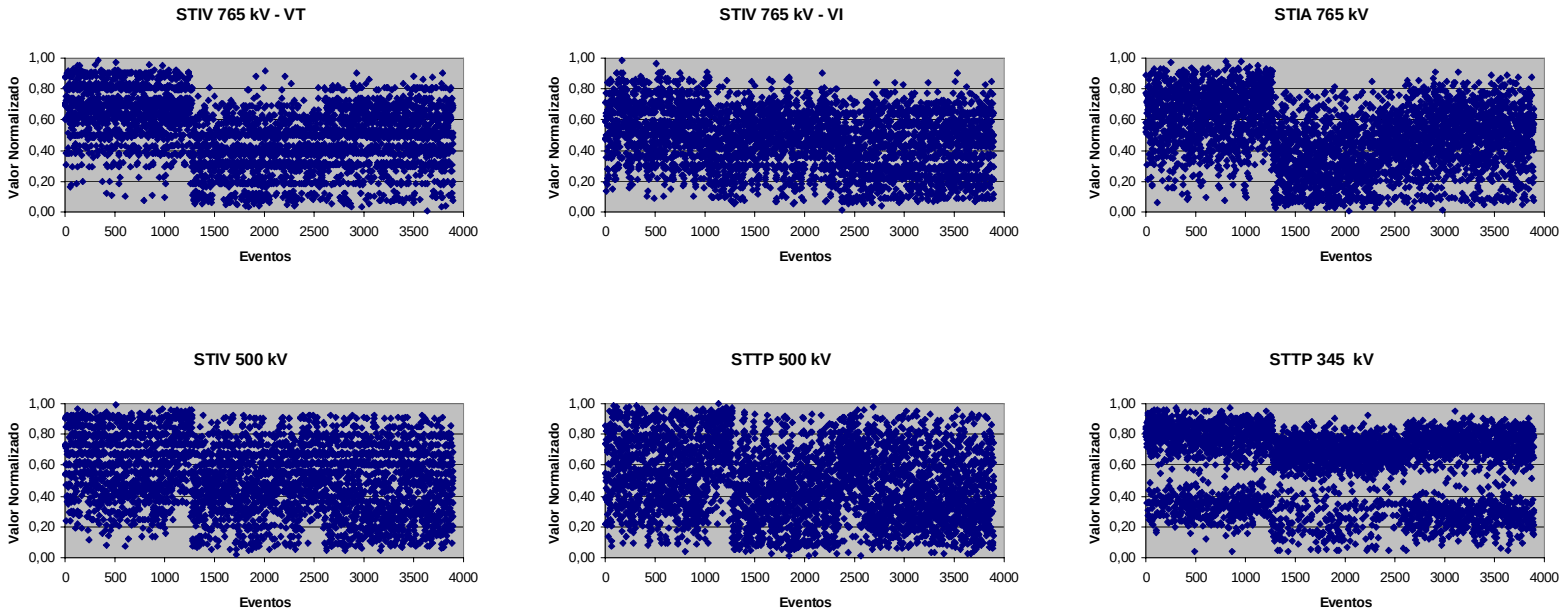

Figura 27 – Todos os valores das tensões, normalizados de forma ajustada, referentes aos eventos do agrupamento BR(1 e 2) da STIV

Após as análises resultantes do Pré-processamento dos dados de entrada, as variáveis de entrada do SADECT, para este estudo de caso específico, apresentadas na Tabela 12, sofreram alterações. As novas variáveis são listadas na Tabela 25, totalizando quatorze (14).

A análise da relevância dessas variáveis foi feita durante os testes das diferentes configurações do módulo de Classificação dos eventos, conforme descrito na seção 4.3.

Tabela 25 – Novas variáveis de entrada do SADECT para o estudo de caso, após o pré-processamento dos dados de entrada

Blocos	Variáveis
Agrupamentos de equipamentos ou recursos de controle de tensão (ECTs) Total = 7	BC da STTP BR(1 e 2) da STIV BR(3) da STIV BR(5) da STTP T1 da STIV T2 da STTP T3 da STTP
Tensões Total = 6	STIV 765 kV – VT (medida nos capacitores série com saída para STFI) STIV 765 kV – VI (medida nos capacitores série com saída para STIA) STIA 765 kV STIV 500 kV STTP 500 kV STTP 345 kV
Hora	Hora associada as valores das demais variáveis

4.2.2. Pré-processamento dos Dados de Saída

Todo evento está associado à ação de Manobrar ou Não manobrar um equipamento. Os eventos para cada um dos ECTs são apresentados na , conforme descrito no Capítulo 3. Analisando-se a tabela, verifica-se que, para um dado ECT, existem três (3) eventos possíveis.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Como o evento para cada um dos ECTs acontece de forma isolada, não sendo possível a ocorrência de mais de um evento ao mesmo tempo, é possível a divisão dos eventos em três classes. Conforme descrito no capítulo 3, os eventos “Elevar a corrente de excitação”, “Elevar o tape” ou “Ligar o banco” são ações com “intenção positiva”, denominados de Classe 1. Os eventos “Reduzir a corrente de excitação”, “Reduzir o tape” ou “Desligar o banco” recebem a denominação Classe -1. Finamente, os eventos “Não alterar a corrente de excitação”, “Não manobrar o tape” ou “Não manobrar o banco” são ações com “intenção nula” e, desta forma, são chamados de Classe 0. A faz o resumo das classificações.

Para os tapes, em virtude das manobras se concentrarem na alteração de uma e quatro posições e da pequena diferença de influência entre as mesmas, optou-se em não definir a quantidade a ser elevada ou reduzida, ficando esta decisão a cargo do operador.

Como exemplo do procedimento descrito, é apresentado na o Pré-processamento dos eventos 1, 2 e 12 referentes, respectivamente, aos eventos de Elevar, Reduzir e Não manobrar os tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Tabela 26 – Eventos e Classes

ECTs	Eventos	Classe 1	Classe -1	Classe 0
Unidades geradoras ou Compensadores síncronos	Elevar a corrente de excitação, Elevar o tape ou Ligar o banco	1	0	0
Tapes de transformadores	Reduzir a corrente de excitação, Reduzir o tape ou Desligar o banco	0	1	0
Banco de capacitores ou reatores em paralelo	Não alterar a corrente de excitação, Não manobrar o tape ou Não manobrar o banco	0	0	1

Tabela 27 – Pré-processamento da amostra de eventos dos tapes dos transformadores 765/500 kV da STTP

EVENTO	DIA	MÊS	ANO	HORA	EVENTO	Classe 1	Classe -1	Classe 0
1	1	6	2004	07:27	Elevar	1	0	0
2	1	6	2004	09:36	Reduzir	0	1	0
12	5	6	2004	01:46	Não manobrar	0	0	1

Os dados pré-processados de entrada e de saída formam o banco de dados utilizado para o treinamento das RNAs presentes nos três modelos propostos para o SADECT. Tais RNAs compõem o módulo de classificação dos eventos.

4.3. Classificação dos eventos

De posse do banco de dados já criticado e pré-processado, é possível realizar o treinamento das RNAs que constituem o módulo de Classificação dos eventos. O banco de dados é dividido em três conjuntos: Treinamento (60 % dos dados), Validação (20 %) e Teste (20 %). Os dois primeiros conjuntos servem para o processo de escolha do melhor modelo.

Após definidos os Conjuntos de Treinamento, Validação, Teste e os parâmetros iniciais da RNA, treina-se as RNAs com o Conjunto de Treinamento. O Conjunto de Validação é utilizado para interromper o processo de treinamento, evitando o super treinamento (*overfitting*) da RNA e garantindo a generalização dos resultados [HAYKIN, 1999 e MITCHEL, 1997].

O Conjunto de Teste, por fim, é utilizado para medir o erro da RNA, comparando as saídas da RNA treinada com as saídas esperadas. O erro da RNA foi obtido pela média dos erros de três testes utilizando-se a mesma configuração, com a inicialização aleatória dos pesos.

O treinamento das RNAs deste módulo do SADECT foi realizado no MATLAB®. Em todas as RNAs *MLP* deste trabalho foi realizado o treinamento *Back-propagation* com taxa de aprendizado (η) adaptativa e momento (α). Conforme mencionado acima, para o término do treinamento foi utilizado o critério de validação cruzada.

A função de ativação utilizada para todos os neurônios da camada intermediária de todas as RNAs foi a tangente hiperbólica (*tansig* – equação (6)). Para os neurônios da camada de saída foi utilizada a função de ativação logarítmica (*logsig* - equação (7)). Nas referidas equações *f(v)* é a função de ativação, *v* é potencial de ativação do neurônio, *a* é o parâmetro de inclinação da curva e *b* é uma constante.

$$f(v) = a\tanh(bv) \tag{6}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

$$f(v) = \frac{1}{1+e^{-av}} \quad (7)$$

Para a escolha da quantidade de neurônios na camada intermediária foram realizados testes utilizando os três modelos propostos. Variou-se esta quantidade entre cinco (5) e quinze (15) neurônios e, para todos os modelos, os melhores resultados foram obtidos utilizando-se de oito (8) a dez (10) neurônios. Para efeito de comparação entre os modelos, adotou-se a quantidade de oito (8) neurônios.

Os modelos utilizados neste módulo do SADECT, descritos anteriormente no Capítulo 3, foram testados na seguinte ordem: RNA CENTRAL, RNA ÚNICA e RNA DUPLA. A ordem apresentada indica a evolução da modelagem, ou seja, os modelos RNA ÚNICA e DUPLA foram construídos, respectivamente, para solucionar problemas encontrados durante os testes na RNA CENTRAL e RNA ÚNICA

A seguir são apresentados os resultados de cada modelagem.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

4.3.1. Modelo RNA CENTRAL

Este modelo possui uma RNA especializada em indicar se deve haver manobra ou não de um equipamento. No caso de necessidade de manobra, um segundo módulo, com uma RNA para cada ECT, indica qual deve ser a manobra. Para o estudo de caso, este modelo é composto de seis (6) RNAs.

Para realizar o treinamento da primeira RNA são utilizados dados de entrada de todos os ECTs e os dados de saída possuem seis (6) classes (Não manobrar nenhum ECT, Manobrar o T2 da STTP, Manobrar o T3 da STTP, Manobrar o BC da STTP, Manobrar o BR(5) da STTP ou Manobrar o BR (1 e 2) da STIV).

As cinco (5) classes referentes aos eventos de manobrar os ECTs são obtidas dos eventos de Classes 1 e -1 resultantes do pré-processamento dos dados de saída dos ECTs, conforme descrito na seção 4.2.2. A classe Não manobrar é obtida dos eventos Classe 0.

Para o correto treinamento da RNA, a quantidade de eventos por ECT deve ser semelhante. Esta quantidade é limitada pelo ECT que possui menos manobras; porém pode-se aumentar a quantidade de manobras de um ECT através da duplicação ou triplicação destas. Para o T3 da STTP foi realizada a duplicação dos

dados de manobra, pois, como pode ser visto na , este ECT possui a menor quantidade de dados (apenas 203, enquanto os outros possuem mais de 500).

Desta forma, para cada ECT foram usadas 406 manobras e, para manter o equilíbrio dos dados, foram adicionados mais 406 eventos onde não ocorreram manobras de nenhum dos ECTs, totalizando 2436 eventos.

Os dados de entrada utilizados são os valores normalizados do estado operativo do agrupamento de equipamentos, dos valores das tensões, e da hora do dia, conforme descrito na seção 4.2.1, totalizando quatorze (14) possíveis entradas para a primeira RNA.

Como dito anteriormente, a primeira RNA possui seis (6) saídas que indicam, com o valor 1, a manobra de um dos cinco (5) ECTs ou não manobrar nenhum destes. A Tabela 28 apresenta os possíveis eventos indicados por esta RNA e a Tabela 29 a separação, já pós-processada, destes eventos nas suas seis (6) classes ou saídas. As cinco colunas sombreadas são as saídas referentes aos ECTs. Caso uma destas saídas seja ativada, uma segunda RNA classificará qual manobra será sugerida pelo SADECT.

Supondo que a saída ativada seja a referente ao BC da STTP, a segunda RNA indicará se o mesmo deve ser Ligado ou Desligado.

Tabela 28 – Eventos possíveis para a primeira RNA do modelo RNA CENTRAL

Número de evento	**Evento**
1	Não manobrar nenhum ECT.
2	Manobrar o T2 da STTP
3	Manobrar o T3 da STTP
4	Manobrar o BC da STTP
5	Manobrar o BR(5) da STTP
6	Manobrar o BR (1 e 2) da STIV

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Tabela 29 – Classificação dos possíveis eventos para a primeira RNA do modelo RNA CENTRAL

Número de evento	Saídas da primeira RNA do modelo RNA CENTRAL					
	Não manobrar (Classe 0)	T3 da STTP (Classes 1 e -1)	T2 da STTP (Classes 1 e -1)	BC da STTP (Classes 1 e -1)	BR(5) da STTP (Classes 1 e -1)	BR(1 e 2) da STIV (Classes 1 e -1)
1	1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	1

Buscando o melhor desempenho da primeira RNA do modelo, esta foi treinada com todos os dados e com a retirada de uma das entradas. Porém, em todos os testes realizados este modelo de RNA não apresentou bons resultados após o pós-processamento, conforme indicado na Tabela 30. Analisando os resultados antes do pós-processamento, verificou-se que as saídas da RNA em questão apresentaram poucos valores acima de 0,5. Para comprovar o fato são apresentados na Figura 28 os resultados para a saída Não manobrar.

Tabela 30 – Resultados dos testes da primeira RNA do modelo RNA CENTRAL

Teste	Entradas	Quantidade de neurônios na camada intermediária	Acerto
1	Todas	15	42 %
2	Todas	8	36 %
3	Todas	12	40 %
4	Todas exceto BR07 de STIV	10	39 %

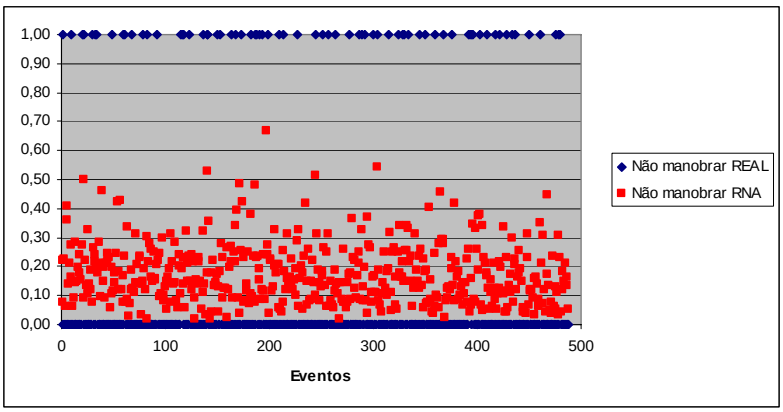

Figura 28 – Valores encontrados na saída “Não manobrar” da primeira RNA do modelo RNA CENTRAL

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Tentando resolver o problema citado, e como uma segunda alternativa de treinamento, utilizou-se a saída pós-processada para avaliar o desempenho de generalização, isto é, o objetivo durante o treinamento era determinar o menor erro de classificação, com a saída já pós-processada. Embora fosse esperada uma melhora, os resultados pioraram, ficando a média do acerto em 38 %.

Também se tentou usar um modelo apenas para os ECTs da STTP, diminuindo as entradas para cinco (5); porém a média de acerto ficou em 50 %. Em virtude do baixo desempenho, este modelo foi abandonado.

O principal motivo para os baixos desempenhos das RNAs testadas neste modelo foi a semelhança dos valores de tensão para os eventos de Manobrar ou Não manobrar os ECTs. Este fato pode ser constatado na Figura 29, onde são apresentados os valores normalizados da tensão STIV 765 kV-VT, separados por classe de saída. A Figura 30 apresenta o mesmo tipo de gráfico para as demais tensões.

Como solução deste problema optou-se por um modelo que possua uma RNA para cada ECT. Este modelo é apresentado na seção a seguir.

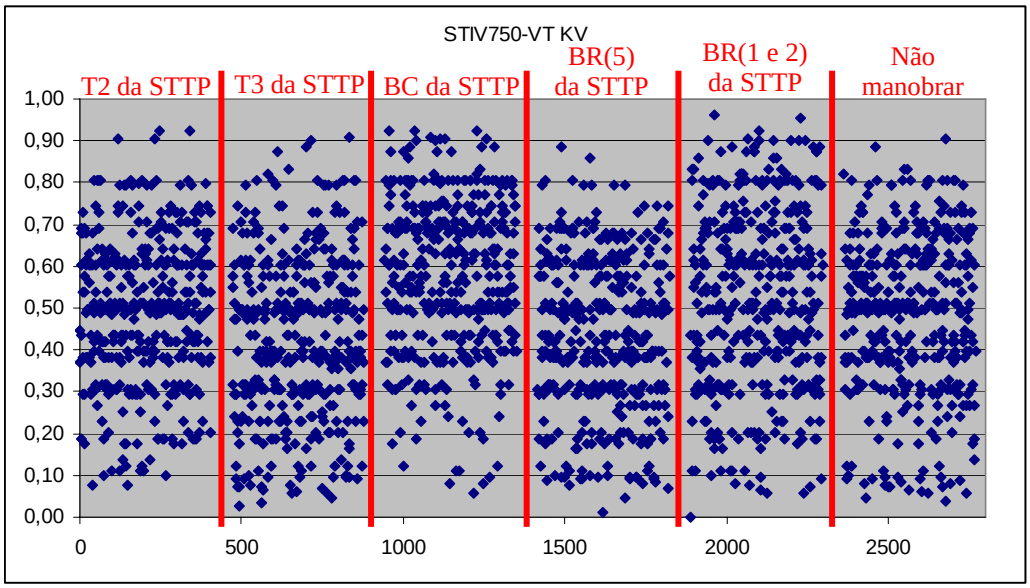

Figura 29 – Valores normalizados da tensão STIV 765 kV – VT ordenados por saída da primeira RNA do modelo RNA CENTRAL

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

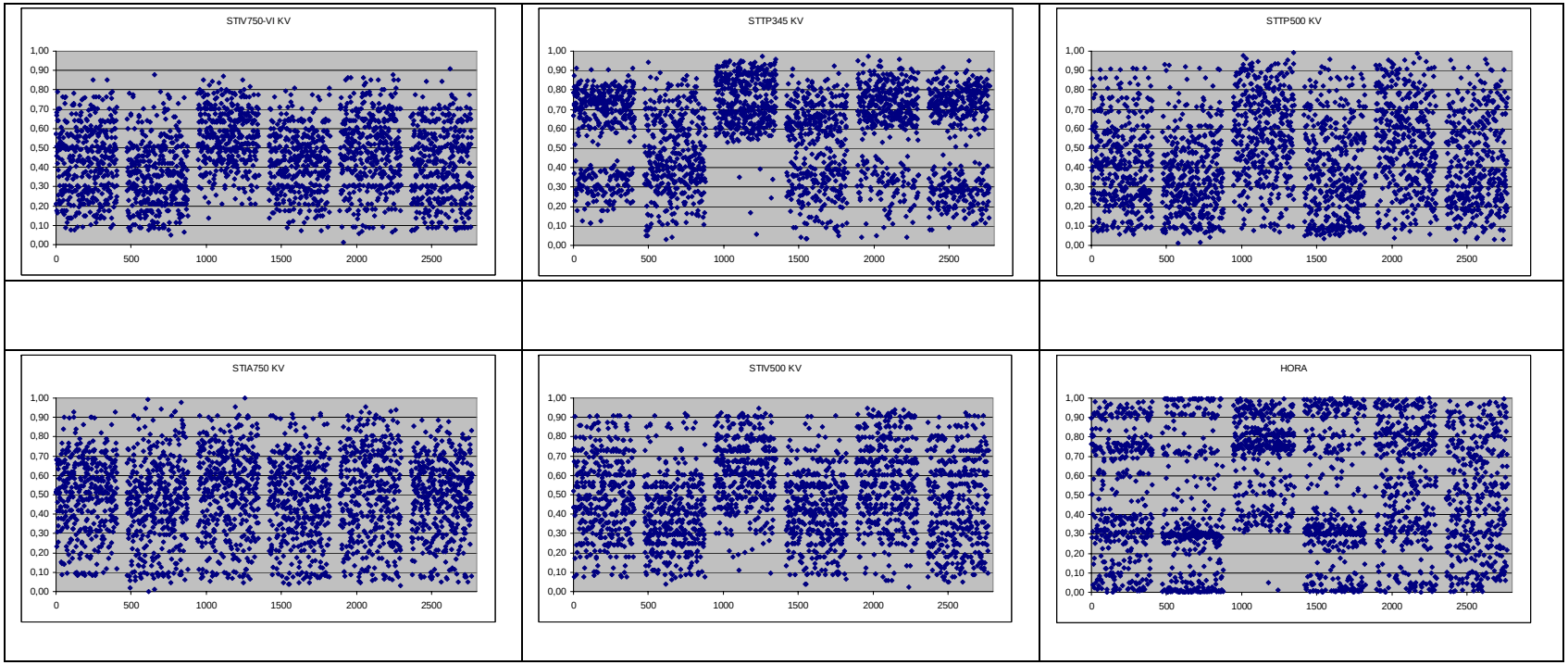

Figura 30 – Valores normalizados de tensão ordenados por saída da primeira RNA do modelo RNA CENTRAL

4.3.2.
Modelo RNA ÚNICA

Este modelo possui uma RNA para cada ECT e é especializada em indicar se o mesmo deve ser ou não manobrado e, em caso de manobra, qual deve ser a manobra. Desta forma, para o estudo de caso, o modelo possui cinco (5) RNAs e os eventos são separados em cada RNA em três classes: Ligar / Elevar, Desligar / Reduzir e Não manobrar.

Para realizar o treinamento de cada RNA são utilizados dados de manobras do ECT em questão e os dados onde não ocorreram manobras do mesmo, não existindo limitação da quantidade de dados já que as RNAs são treinadas separadamente. Os dados de cada ECT devem estar equilibrados, ou seja, apresentar a mesma quantidade de dados para a três classificações: Ligar / Elevar (eventos Classe 1), Desligar / Reduzir (eventos Classe -1) e Não manobrar (eventos Classe 0) obtidas no pré-processamento dos dados de saída.

Para o treinamento também são usadas as mesmas 14 variáveis de entrada utilizadas no modelo anterior, sendo que as saídas são reduzidas para 3.

A Tabela 31 apresenta os possíveis eventos indicados pela RNA referente ao BR(1 e 2) de STIV do modelo RNA ÚNICA e a Tabela 32 a separação, já pós-processada, destes eventos nas suas três (3) classes ou saídas. A mesma transformação deve ser realizada para os demais ECTs.

Tabela 31 – Eventos possíveis para a RNA referente ao BR(1 e 2) de STIV do modelo RNA ÚNICA

Número de evento	Evento
1	Não manobrar o BR(1 e 2) de STIV
2	Ligar o BR(1 e 2) de STIV
3	Desligar BR(1 e 2) de STIV

Tabela 32 – Classificação dos eventos possíveis para a RNA referente ao BR(1 e 2) de STIV do modelo RNA ÚNICA

Número de evento	Saídas da RNA referente ao BR(1 e 2) de STIV do modelo RNA ÚNICA		
	Não manobrar (Classe 0)	Ligar (Classe 1)	Desligar (Classe -1)
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Da mesma forma que na modelagem anterior, foram realizados diversos testes buscando o melhor desempenho da RNA alterando a quantidade de entradas.

A apresenta o aumento gradual no percentual da média de acerto para a RNA referente ao BR(1 e 2) da STIV, conforme foram inseridas novas entradas. Assim como na modelagem anterior este percentual de acerto foi considerado insuficiente.

Tabela 33 – Testes da Rede Neural para o BR de STIV

Teste	Entradas	Acerto
1	6 Tensões	64 %
2	6 Tensões e Hora	67 %
3	6 Tensões e Hora e Quantidade de BR de STIV ligados	71 %

Durante os testes também se utilizou apenas uma saída, com função de ativação *tansig*, para representar a decisão do operador em Ligar (1), Não Manobrar (0) e Desligar (-1) um dos reatores do BR(1 e 2) de STIV; esta opção foi descartada em virtude de apresentar baixo percentual de acerto, da ordem de 50 %.

Analisando os valores da tensão STIA 765 kV na Figura 26 e as demais tensões nas Figura 27 e Figura 28, percebe-se que os dados referentes à manobra de Desligar e de Não manobrar possuem valores muito próximos. Esta proximidade dos valores, verificada também para os demais ECTs, dificultou o treinamento das RNAs deste modelo.

Desta forma, o modelo em questão não foi testado para os demais ECTs, sendo substituído pela terceira modelagem, apresentada na seção seguinte, que tem como objetivo criar uma RNA especializada em identificar a diferença entre os eventos Classe 0 e -1.

4.3.3. Modelo RNA DUPLA

Esta modelagem possui duas RNAs para cada ECT, a primeira (RNA-1) especializada em indicar se o ECT deve ser Ligado (ou Elevado) ou Não ligar (ou

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Não elevar). Caso esta primeira RNA indique que o ECT não deva ser ligado, uma segunda Rede Neural (RNA-2) é acionada, especializada em indicar se o ECT deve ser Desligado (ou Reduzido) ou Não manobrado. Esta segunda RNA ficará responsável em separar os dados que a segunda hipótese teve dificuldades.

Para o SADECT do estudo de caso este modelo será constituído por dez (10) RNAs. Os eventos para cada RNA-1 são separados em duas classes: Não Ligar / Não Elevar (eventos Classe 0 e -1) e Ligar / Elevar (eventos Classe 1). Em cada RNA-2 os eventos são separados em outras duas classes: Desligar / Reduzir (eventos Classe -1) e Não manobrar (eventos Classe 0). As classes apresentadas são obtidas através do pré-processamento dos dados de saída.

Assim como no modelo anterior, são utilizados dados de manobras do ECT em questão e dados onde não ocorreram manobras do mesmo, não existindo limitação da quantidade de dados.

Para o treinamento da RNA-1 de cada ECT foi necessária a duplicação dos dados referentes ao evento Ligar / Elevar (Classe 1), já que a quantidade de dados referentes aos eventos de Não Ligar / Não Elevar (Desligar / Reduzir e Não manobrar) equivalem ao dobro dos dados do evento Ligar / Elevar. Esta medida teve como objetivo equilibrar os dados para os treinamentos das RNA-1.

Para o treinamento das RNA-1 e RNA-2 também serão usadas as mesmas 14 variáveis de entrada e as saídas serão elevadas para quatro (4) (duas em cada RNA).

A Tabela 34 apresenta a classificação dos eventos possíveis para as RNAs referentes ao BR(1 e 2) da STIV do modelo RNA DUPLA. Tais eventos foram apresentados previamente na Tabela 31.

Tabela 34 – Classificação dos eventos possíveis para as RNAs referentes ao BR(1 e 2) de STIV do modelo RNA DUPLA

Evento	**RNA-1**		**RNA-2**	
	Ligar (Classe 1)	**Não ligar (Classe o e -1)**	**Desligar (Classe -1)**	**Não manobrar (Classe 0)**
Não manobrar o BR(1 e 2) de STIV	0	1	0	1
Ligar o BR(1 e 2) de STIV	1	0	-	-
Desligar BR(1 e 2) de STIV	0	1	1	0

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Buscando o melhor desempenho das RNAs do modelo, foram realizados diversos testes retirando e inserindo variáveis de entrada. Os resultados encontrados durante estes testes para cada ECT são apresentados nas tabelas a seguir. Os testes sombreados apresentam o melhor conjunto de entradas para a RNA de acordo com o seguinte critério:

1º - Maior acerto;

2º - Maior quantidade de entradas referentes aos ECTs da mesma estação.

Tabela 35 – Resultados dos testes das RNA-1 e RNA-2 para o BR(1 e2) da STIV

Teste	**RNA**	**BR(1 e2) da STIV Variáveis de Entrada**	**Acerto**
1	RNA-1	6 Tensões	80 %
2	RNA-1	6 Tensões e Hora	82 %
3	RNA-1	6 Tensões, Hora e Estado do BR(1 e 2) da STIV	87 %
4	RNA-2	6 Tensões	73 %
5	RNA-2	6 Tensões e Hora	76 %
6	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estado do BR(1 e 2) da STIV	77 %

Tabela 36 – Resultados dos testes das RNA-1 e RNA-2 para o BC da STTP

Teste	**RNA**	**BC da STTP Variáveis de Entrada**	**Acerto**
1	RNA-1	Todas	88 %
2	RNA-1	6 Tensões, Hora e Estado do BR(1 e 2) da STIV e do BR(5) e BC da STTP	88 %
3	RNA-1	6 Tensões, Hora e Estado do BR(5) e BC da STTP	87 %
4	RNA-1	6 Tensões, Hora e Estados dos ECTs da STTP	88 %
5	RNA-2	Todas	85 %
6	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estados do BR(1 e 2) da STIV e do BR(5) e BC da STTP	86 %
7	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estados dos ECTs da STTP	86 %
8	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estados do BR(5) e BC da STTP	86 %
9	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estado do BC da STTP	86 %

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Tabela 37 – Resultados dos testes das RNA-1 e RNA-2 para o BR(5) da STTP

Teste	RNA	BR(5) da STTP Variáveis de Entrada	Acerto
1	RNA-1	Todas	90 %
2	RNA-1	6 Tensões, Hora e Estados dos ECTs da STTP	93 %
3	RNA-1	6 Tensões, Hora e Estados do BR(5) e BC da STTP	90 %
4	RNA-2	Todas	86 %
5	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estados dos ECTs da STTP	89 %
6	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estados do BR(5) e BC da STTP	86 %
7	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estados do BR(5) da STTP	82 %

Tabela 38 – Resultados dos testes das RNA-1 e RNA-2 para o T3 da STTP

Teste	RNA	T3 da STTP Variáveis de Entrada	Acerto
1	RNA-1	Todas	89 %
2	RNA-1	6 Tensões, Hora e Estados dos ECTs da STTP	90 %
3	RNA-1	6 Tensões, Hora e Estado do T3 da STTP	89 %
4	RNA-1	6 Tensões e Hora	73 %
5	RNA-2	Todas	75 %
6	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estados dos ECTs da STTP	77 %
7	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estado do T3 da STTP	73 %
8	RNA-2	6 Tensões e Hora	60 %

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

Tabela 39 – Resultados dos testes das RNA-1 e RNA-2 para o T2 da STTP

Teste	RNA	T2 da STTP Variáveis de Entrada	Acerto
1	RNA-1	Todas	88 %
2	RNA-1	6 Tensões, Hora e Estados dos ECTs da STTP	88 %
3	RNA-1	6 Tensões , Hora e Estado do T2 da STTP	87 %
4	RNA-1	6 Tensões e Hora	87 %
5	RNA-2	Todas	78 %
6	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estados dos ECTs da STTP	87 %
7	RNA-2	6 Tensões, Hora e Estado do T2 da STTP	74 %
8	RNA-2	6 Tensões e Hora	71 %

O resumo dos percentuais de acerto das RNAs escolhidas é apresentado na . É possível notar que para todos os equipamentos os resultados foram melhores para a RNA-1 em virtude da dificuldade em separar os eventos Não manobrar (eventos Classe 0) e Desligar / Reduzir (eventos Classe -1).

Tabela 40 – Resumo dos resultados dos testes das RNAs para o modelo RNA DUPLA

Grupo	RNA-1	RNA-2
T3 da STTP	90 %	77 %
T2 da STTP	88 %	77 %
BC da STTP	88 %	86 %
BR(5) da STTP	93 %	89 %
BR(1 e 2) da STIV	87 %	77 %

Os resultados dessa modelagem, superiores aos resultados das outras modelagens, foram considerados satisfatórios em virtude da complexidade do problema.

A próxima seção apresenta uma discussão sobre todos os resultados obtidos pelos modelos testados neste trabalho.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA

4.3.4.
Discussão dos Resultados

O modelo inicial testado para o SADECT, RNA CENTRAL, apresentava uma RNA principal responsável em identificar a manobra de todos os ECTs do SEP do estudo de caso. O principal motivo para o baixo percentual de acerto deste modelo, da ordem de 40 %, foi a semelhança da dispersão dos valores de cada tensão em relação às Classes de saída referentes às manobras dos ECTs (eventos Classe 1 e -1). O modelo RNA ÚNICA foi criado para solucionar este problema.

O modelo RNA ÚNICA representa, basicamente, a divisão da RNA principal do modelo anterior em várias, apresentando uma RNA para cada ECT. Com esta divisão os dados de entrada de cada ECT são separados dos demais, facilitando o treinamento das RNAs. Embora tenha apresentado melhores resultados, 70 % em média, os mesmos foram ainda considerados insuficientes. O fato principal que prejudicou os resultados deste modelo foi a semelhança da dispersão dos valores de cada tensão em relação às saídas referentes aos eventos Não Manobrar / Não Elevar (eventos Classe 0) e Desligar / Reduzir (eventos Classe -1).

Para a solução deste segundo problema foi realizada a divisão de cada RNA referente a um ECT em duas, criando um terceiro modelo, RNA DUPLA. Com esta segunda divisão os dados de entrada de cada ECT referentes aos eventos Não Manobrar / Não Elevar (eventos Classe 0) e Desligar / Reduzir (eventos Classe -1) são separados.

Das três modelagens apresentadas para o SADECT e testadas neste capítulo, a terceira apresentou os melhores resultados, com RNAs apresentando mais de 90 % de acerto.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521405/CA