



**GRUPO V  
GRUPO DE ESTUDOS DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E  
COMUNICAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA – (GPC)**

**AS (IN)CERTEZAS DO SISTEMA DE ONDAS PORTADORAS DIGITAL PARA  
DISTÂNCIAS ACIMA DE 300 km – A EXPERIÊNCIA DA ELETRONORTE**

**Arnaldo Cursino Guimarães Miguel Dias Teodoro Nagib Bechara Pardaulil (\*)**

**- CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL- ELETRONORTE -**

**RESUMO**

O resultado dos testes efetuados, a experiência da Eletronorte e as perspectivas com a utilização de equipamentos de ondas portadoras digital, para distancias acima de 300 km, na interligação entre subestações ao longo da rota de 500 kV, são apresentados ao longo deste trabalho.

Os testes foram efetuados utilizando-se equipamentos de fabricação alemã, no trecho entre Tucuruí e Vila do Conde, e espanhola, no trecho entre Imperatriz e Presidente Dutra .

**PALAVRAS CHAVE**

Ondas portadoras, OPLAT, Sistema digital, Linhas de transmissão

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Apesar da digitalização crescente dos seus sistemas de telecomunicações, a Eletronorte depara-se com um problema imediato: a necessidade de ampliar a canalização existente, na interligação entre as subestações de Vila do Conde, Tucuruí, Marabá, Imperatriz, Presidente Dutra e São Luís II, associadas ao Sistema Norte/Nordeste em 500 KV, onde o sistema de telecomunicações é calcado em ondas portadoras analógico.

Como a implantação dos sistemas ópticos não ocorrerá no prazo requerido, apesar do projeto encontrar-se em andamento, optou-se pela realização de testes com equipamentos de ondas portadoras digital, especialmente para distâncias superiores a 300 Km, verificadas nos trechos entre Tucuruí e Vila do Conde

e entre Imperatriz e Presidente Dutra e, a partir dos resultados obtidos, implantar estes equipamentos nos demais trechos .

O resultado destes testes, efetuados com equipamentos de fabricação alemã, no trecho de Tucuruí e tecnologia espanhola, no trecho de Imperatriz, a experiência obtida pela Eletronorte, bem como as perspectivas do sistema digital e as (in)certezas da sua utilização, para longas distâncias serão apresentados ao longo do trabalho.

**2.0 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE ONDAS PORTADORAS**

Como mencionado anteriormente, foram instalados equipamentos nos trechos compreendidos entre as subestações de Tucuruí e Vila do Conde, e entre Imperatriz e Presidente Dutra. Para melhor compreensão, as principais características do sistema de ondas portadoras, atualmente em operação nestes trechos, são apresentadas nas tabelas a seguir.

A Tabela 1, apresenta algumas características das linhas de transmissão, enquanto as Tabelas 2 e 3, apresentam as características do equipamentos de acoplamento e de ondas portadoras

Tabela 1- LINHAS DE TRANSMISSÃO

Características	Tucuruí/VConde	Imperatriz/PDut
Distancia (Km)	329	388
Tensão (KV)	500	500
Transposições	3	3
No. de circuitos	1	2
Cabos por fase	4	4

Tabela 2- OPLAT - L.T. TUCURUÍ/VCONDE

Circuito 1 - Tucuruí/Vila do Conde		
Características		
Acoplamento	Fase/Fase (B / V)	
Bobina bloqueio	ER (52 a 192 KHz)	
Caixa sintonia	Alspa	
Equipamentos / Banda Ocupada (KHz)	CPL 201 (1cn)	40/44 - 44/48
	CPL 201 (1cn)	52/56 - 56/60
	TPHF209 (2cn)	72/74 - 74/76
	TPHF209 (2cn)	84/86 - 86/88
	CPL 203 (2cn)	96/56 - 116/124
	CPL 201 (1cn)	140/144 - 144/148
	CPL 205 (1cn)	160/164 - 164/168
CPL 201 (1cn)	84/188 - 188/192	

Tabela 3- OPLAT - L.T. IMPERATRIZ/P. DUTRA

Circuito 1 - Imperatriz/Presidente Dutra		
Características		
Acoplamento	Fase/Fase (A / V)	
Bobina bloqueio	ER (36 a 120 KHz)	
Caixa sintonia	Siemens	
Equipamentos / Banda Ocupada (KHz)	ESB 400 (2cn)	37,5/40 - 45/47,5
	ESB 400 (2cn)	52,5/55 - 60/62,5
	ESB 400 (2cn)	67,5/70 - 88/90,5
Acoplamento	Fase/Terra (B )	
Bobina bloqueio	ER (120 a 330 KHz)	
Caixa sintonia	Auso	
Equipamentos / Banda Ocupada (KHz)	STN 140 (1 cn)	104/108 - 108/112
	STN 140 (1 cn)	116/120 - 128/132
	STN 140 (1 cn)	144/148 - 160/164
	STN 140 (1 cn)	168/172 - 184/188
Circuito 2 - Imperatriz/Presidente Dutra		
Características		
Acoplamento	Fase/Fase (B / V)	
Bobina bloqueio	ABB (36 a 413 KHz)	
Caixa sintonia	Alspa	
Equipamentos / Banda Ocupada (KHz)	TPHF209 (1cn)	40/41 - 41/42
	TPHF209 (1cn)	48/49 - 49/50
	TPHF209 (2cn)	84/86 - 86/88

Dos dados apresentados depreende-se que, em função do espectro de RF ocupado, a implantação de outros

equipamentos de ondas portadoras implicara na desativação de equipamentos hoje em operação.

### 3.0 - TESTES REALIZADOS

Pela extensão das linhas em questão, decidiu-se pela realização de testes, utilizando-se equipamentos cedidos por fabricantes de equipamentos de ondas portadoras digital. Assim sendo, foram consultados os fabricantes Siemens, alemã, e Dimat, espanhola, que concordaram em instalar e realizar testes de desempenho nas linha já mencionadas. Optou-se então, pela instalação do equipamento Siemens, na linha Tucuruí/Vila do Conde e do equipamento Dimat, na linha Imperatriz/Presidente Dutra.

#### 3.1 – Características dos Equipamentos

As principais características dos equipamentos Siemens e Dimat são apresentados na tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – EQUIPAMENTOS: SIEMENS / DIMAT

Características	Siemens	Dimat
Modelo	ESB 2000i	OPD-1
Modulação	Delta	4 a 128 QAM
Largura de Banda	8 KHz em cada sentido	16 KHz em cada sentido
Separação entre Bandas	Distanciadas (8KHz) ou superpostas	Distanciadas (16 KHz) ou superpostas
Máxima Potência de Transmissão	80 W	80 W
Limiar de Recepção	- 32 dBm	- 10 dBm
Mínima Relação Sinal/Ruído (taxa máxima transm.)	36 dB (TEB = $10^{-7}$ )	25 dB (TEB = $10^{-9}$ )
Taxa Máxima de Transmissão	64 Kbps	81 Kbps

Alem das informações apresentadas, tecemos a seguir alguns comentários a respeito dos equipamentos

#### Equipamento Dimat

- apesar de apresentar taxa máxima de transmissão de 81 Kbps, a taxa útil é de 79 Kbps; à medida que a relação Sinal/Ruído diminui, a taxa de transmissão também diminui para valores prefixados: 40,5 Kbps (39,5 Kbps útil) ou 27 Kbps (26,3 Kbp útil);

- o equipamento básico, é composto de duas portas de dados síncrono (72 Kbps) e assíncrono (28,8 Kbps);
- opcionalmente, o equipamento pode ser equipado com módulos para nove canais de voz e/ou dados, de forma a completar a taxa útil de transmissão; a taxa de compressão para as portas de voz variam de 4,8 a 32 Kbps, sendo típica a de 16 Kbps;
- independentemente da taxa de transmissão, pode enviar comandos de teleproteção analógicos, também através de módulos opcionais.

#### Equipamento Siemens

- a taxa de transmissão também varia em função da relação sinal/ruído em degraus de 0,4 Kbps; por exemplo com relação sinal/ruído de 36 dB, a taxa de transmissão será de 64 Kbps, enquanto que para relação sinal/ruído de 24 dB, a taxa reduz-se para 40 Kbps;
- opcionalmente, acoplado-se equipamento multiplex, pode transmitir canais de voz e/ou dados, de forma a completar a taxa de transmissão; a taxa de compressão para as portas de voz variam de 4,8 a 16 Kbps;
- independentemente da taxa de transmissão, pode enviar comandos de teleproteção analógicos, através de equipamento específico para esta finalidade.

### 3.2 - Testes Realizados na Linha Tucuruí / Vila do Conde com equipamento Siemens

Estes testes foram realizados no período de 09 a 19 de novembro de 1998, em linha energizada, sendo precedidos das seguintes atividades:

- inspeção e realinhamento do sistema de acoplamento;
- levantamento da curva de atenuação da LT.

Os equipamentos estavam equipados com amplificador de 80 W e sintonizados para operar na faixa de:

- Tucuruí/Vila do Conde = 136 a 144 KHz
- Vila do Conde/Tucuruí = 160 a 168 KHz

Em função disto, como pode-se observar da Tabela 2, dois enlaces de ondas portadoras analógicos, foram desligados durante a realização dos testes.

Durante a realização dos trabalhos, procurou-se obter a máxima taxa de transmissão, para diversas situações ambientais, com a medição das correspondentes relações sinal/ruído e da atenuação do meio de transmissão, utilizando-se sempre da máxima potência do transmissor (80 W).

De modo a simular aumento de atenuação do meio, foram realizados ensaios, reduzindo-se a potência de transmissão de 6 a 8 dB, bem como, medidos os níveis de interferência ("crosstalk"), provocados pelos enlaces de ondas portadoras do trecho Tucuruí/Marabá, tendo sido encontrado o valor de 60 dB.

Os resultados dos testes, apresentados parcialmente no Anexo 1, indicaram uma capacidade máxima de transmissão de 19,2 Kbps, em conformidade com os parâmetros de desempenho do fabricante.

Desta forma, poder-se-iam transmitir, por exemplo:

- três canais a 1,2 Kbps;
- três canais de voz (compressão de 4,8 Kbps);
- frame de gerência de 0,8 Kbps.

De posse dos dados obtidos, chega-se à conclusão que, em função da atenuação da linha ser menor para frequências baixas (a atenuação varia em até 15 dB para a faixa de interesse), ao modificar-se a faixa de operação dos equipamentos para estas frequências, a taxa de transmissão deverá elevar-se para 28,8 Kbps (expectativa do fabricante). Esta modificação ainda não foi processada, estando prevista para ser realizada no primeiro semestre de 1999.

### 3.3 - Testes Realizados na Linha Imperatriz / Presidente Dutra com equipamento Dimat

Os testes foram efetuados no período de 22 de fevereiro a 09 de março de 1999, com linha desenergizada, adotando-se procedimento preliminares semelhantes aos testes anteriores.

Os equipamentos estavam equipados com amplificador de 80 W e sintonizados para operar na faixa de:

- Imperatriz/Presidente Dutra = 124 a 140 KHz
- Presidente Dutra/Imperatriz = 192 a 208 KHz

Em função da ocupação dos circuitos, ver Tabela 3, optou-se por iniciar os testes no circuito 2. Para tanto, houve necessidade de resintonizar as caixas de sintonia Alspa, faixa estreita, para as frequências de interesse, não se obtendo entretanto, o sucesso esperado.

Com a substituição por caixas de sintonia Siemens faixa larga, foi possível obter a sincronização dos equipamentos porém, apesar de Ter sido obtida a taxa máxima de 81 Kbps, em determinados horários, principalmente a tarde, os equipamentos estabilizavam-se na taxa de 27 Kbps. Parte deste problema é resultado de outros enlaces de ondas portadoras, em operação, na interligação de Presidente Dutra com outras subestações.

Face aos valores encontrados, optou-se por realizar os mesmos testes no circuito 1, acoplamento fase/terra, no qual a caixa de sintonia não apresenta impedimento ao sinal, alterando-se as frequências de operação dos equipamentos para:

- Imperatriz/Presidente Dutra = 96 a 104 KHz
  - Presidente Dutra/Imperatriz = 128 a 144 KHz,
- sendo desligados equipamentos em operação.

Os resultados foram satisfatórios, obtendo-se sincronização na taxa de transmissão de 81 Kbps, com taxa de erro de  $10^{-4}$ , porém com taxa de transmissão de 40,5 Kbps, a taxa de erro reduzia-se para  $10^{-6}$ . Entretanto, ainda assim, em alguns horários, principalmente no período vespertino, a sincronização torna-se instável.

Desta forma seria possível transmitir, por exemplo:

- dois canais de dados de 4,8 Kbps;
- seis canais de voz (compressão de 4,8 Kbps);
- frame de gerência de 1 Kbps.

De modo a melhorar a performance do enlace sob teste, sugeriu-se a utilização de acoplamento fase/fase intercircuitos, caixas de sintonia faixa larga e a não utilização de híbridas, de maneira a aumentar a relação sinal/ruído em até 6 dB. Havendo assim, a expectativa do fabricante em conseguir a taxa de 81 Kbps. Estas implementações deverão ocorrer nos meses de abril e/ou maio.

#### 4.0 - CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos com os testes realizados, chegam-se as seguintes conclusões:

- os equipamentos de ondas portadoras digital podem ser utilizados em linhas com extensão superiores a 300 km;
- desde que existam sistemas de ondas portadoras analógicos em operação, a utilização destes equipamentos, tornam-se viáveis, posto que não será necessário investimento em infra-estrutura;
- a taxa de transmissão, não atende as necessidades de digitalização do sistema elétrico;
- modificações no sistema de acoplamento e reestudo do espectro de frequências, poderão contribuir para a melhoria da taxa de transmissão;
- o reestudo do espectro de frequências, torna-se imperioso, haja visto a faixa requerida para a transmissão.

Após a conclusão dos testes, os equipamentos serão submetidos a avaliação de sua performance sob condições operacionais normais dos sistemas.

Como informação suplementar, no decorrer do primeiro semestre deste ano, a Eletronorte, estará instalando diversos enlaces com equipamentos de ondas portadoras digital, nas seguintes linhas de transmissão:

- Um enlace, utilizando equipamento de fabricação Dimat, na linha de transmissão em 230 KV e 220 Km, entre Tucuruí e Cametá;
- Nove enlaces, utilizando equipamentos de fabricação Siemens, nas linhas de transmissão em 230 KV, interligando as subestações de Coxipó/Rondonópolis (186 km), Coxipó/Nova Mutum (224 km), Nova Mutum/Sorriso (152 km) e Sorriso/Sinop (80 km)

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SIEMENS. Descritivo Técnico de Equipamento.
- (2) DIMAT. Descritivo Técnico de Equipamento.
- (3) ELETRONORTE. Sistema de Ondas Portadoras Norte/Nordeste.
- (4) SIEMENS AG. Results of the Test-measurements with PLC ESB2000i and DP2000 - Tucuruí/Vila do Conde (1998).
- (5) ELETRONORTE/SIEMENS. Relatório dos Testes com Equipamento de Ondas Portadoras Digital SIEMENS ESB2000I - Tucuruí/Vila do Conde (Belém, 1998).
- (6) ELETRONORTE/PLANGEL. Relatório dos Testes com Equipamentos de Ondas Portadoras Digital DIMAT OPD-1 - Imperatriz/Presidente Dutra (Imperatriz, 1999).
- (7) ELETROBRÁS. Cadastramento de Frequências Oplat (1998).

## Anexo 1 -

## DADOS OBTIDOS NOS TESTES NA LINHA TUCURUÍ/VILA DO CONDE

STATION	M E M O R Y 2				M E M O R Y 5			
	TUCURUÍ		VILA DO CONDE		TUCURUÍ		VILA DO CONDE	
KIND OF DP / NR / SW V.	DP-1 / SW V146				DP-1 / SW V146			
SPEED	32 kbit				19,2 kbit			
FILE-NAME	TU32_1.DP		VD32_1.DP		TU192_1.DP, TU192_1.TXT		VD192_1.DP, VD192_1.TXT	
	<b>long-time-measurement</b>							
TOTAL SECONDS	54533		54533		2297		2297	
LINE RATE	32000		32000		19200		19200	
BIT RATE	31999		31999		19199		19199	
BIT ERR RATIO	4,654E -7		2,081E -6		3,855E -7		0,000E 0	
TOTAL BITS	1,745E 9		1,745E 9		4,410E 7		4,410E 7	
BIT ERRORS	812		3631		17		0	
ERROR FREE SEC	54429	99,82943%	54516	99,97799%	2285	99,47758%	2297	100%
ERROR SEC	93	0,17057%	12	0,02201%	12	0,52242%	0	
SEV ERRORED SEC	1	0,00183%	7	0,01284%	0		0	
DEGR MIN	88	9,68097%	2	0,22002%	5	12,82051%	0	
AVAILABLE TIME	54522	100%	54528	100%	2297	100%	2297	100%
UNAVAILABLE TIME	0		0		0		0	
SLIP	6		4		0		0	
SYNCH LOSS	0		0		0		0	
SNR	see TU32_1.DP		see VD32_1.DP		25,95 - see TU192_1.TXT		32,69 - see VD192_1.TXT	
weather in Tucurui	sunny				cloudy			
weather in Vila do Conde	cloudy				sunny			
level in Tucurui	maximum				maximum - <b>8 dB</b>			
level in Vila do Conde	maximum				maximum - <b>8 dB</b>			
date	11/16/98				11/17/98			
time	16:55				13:50			

Remarks: At about 17:54 and 7:00 switching operations in VDC on 230 kV, at about midnight unknown errors in the high-voltage-network