



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GMI 17  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## **GRUPO XII**

### **GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS – GMI**

#### **SISTEMA DE MONITORAÇÃO REMOTA DE BATERIA CHUMBO-ÁCIDA**

**M. Fátima N. C. Rosolem \* Raul F. Beck Luiz A. Soares Paulo E. dos Reis Cardoso  
CPqD – CENTRO DE PESQUISA E DESINVOVIMENTO EM TELECOMUNICAÇÕES**

## **RESUMO**

A bateria chumbo-ácida inventada por Planté em 1860 continua sendo a solução dominante em aplicações estacionárias, do ponto de vista técnico e financeiro, na utilização como reserva de energia para momentos de falha ou transitório no suprimento da energia em corrente alternada, constituindo-se em elemento vital na confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos eletroeletrônicos existentes nas empresas de energia elétrica. Para tanto, a bateria deve estar sempre em condição de operação adequada, sendo imprescindível conhecer o seu estado de degradação. Este trabalho apresentará um sistema de avaliação remota de bateria desenvolvido pelo CPqD.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Baterias Chumbo-ácidas Estacionárias; Medições de Resistência Interna de Baterias, condutância, impedância, monitoração remota

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

A bateria chumbo-ácida inventada por Planté em 1860 continua sendo a solução dominante em aplicações estacionárias, do ponto de vista técnico e financeiro, na utilização como reserva de energia para momentos de falha ou transitório no suprimento da energia em corrente alternada, constituindo-se em elemento vital na confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos eletroeletrônicos existentes nas empresas de energia elétrica. pois é através da mesma que todo o comando, proteção, controle, telecomunicação e supervisão são alimentados numa falha de energia CA que alimenta os serviços essenciais. Para tanto, a bateria deve estar sempre em condição de operação adequada, sendo imprescindível conhecer o seu estado de degradação.

Para garantir a confiabilidade dos Sistemas de Energia, isto é, saber antecipadamente o momento de troca da bateria sem condições de uso, usualmente é realizado o ensaio de capacidade, no qual a bateria é descarregada completamente. Este ensaio revela a quantidade de energia armazenada na bateria e, em campo, a descarga dura cerca de 3 horas. Após o ensaio são necessárias 24 horas de recarga, para que a bateria esteja novamente apta a fornecer energia, caso seja solicitada. O ensaio de capacidade deve ser executado por um técnico experiente e exige a desconexão da bateria, deixando vulneráveis os sistemas que dependem dela.

Nos últimos anos vem se consagrando a técnica de medição ôhmica interna, como uma metodologia alternativa para avaliar o estado de degradação de baterias chumbo-ácidas estacionárias. Atualmente no mercado há diversas opções de instrumentos portáteis para esta finalidade. A grande dificuldade desta técnica está na análise dos dados, que pode ser árdua, devido à necessidade de valores iniciais de referência, o que nem sempre está

disponível, e da possibilidade da grande quantidade de dados gerados por estes instrumentos e também pela necessidade de se ter um operador para realizar estas medições.

Partindo da necessidade de um equipamento que realizasse continuamente e de forma autônoma e remota a monitoração de baterias, em 2002 foi iniciado um projeto de pesquisa que visava a obtenção de um sistema automatizado de medição, análise e transmissão remota dos dados e resultados, denominado TECBAT. Ao longo de dois anos foram pesquisadas as diversas metodologias de avaliação de baterias, concluindo-se que a mais adequada para implementação eletrônica, com o melhor custo/benefício, foi a avaliação por meio da resistência interna. Desta forma as técnicas de medição da resistência interna e seus diversos componentes foram estudadas e implementadas em um protótipo do equipamento de medição.

O Sistema de Monitoração Remota de Bateria, desenvolvido pelo CPqD, determina o estado de degradação/envelhecimento remotamente a partir das condições de operação, tais como tensão de flutuação, corrente de carga e temperatura, das solicitações de uso, como corrente e tensão final de descarga e principalmente, da medida da resistência interna de cada elemento constituinte da bateria.

O equipamento foi desenvolvido focando-se no baixo custo, facilidade de operação, possibilidade de comandos e leituras remotas, além de atender aos requisitos da técnica de monitoração remota de baterias. Este equipamento é constituído por unidades, sendo: várias Unidade de Medida, que realizam as medições em até quatro elementos da bateria e uma Unidade de Controle, que controla todas Unidades de Medida, coletando seus dados, processando-os e enviando-os ao software. A transmissão de dados e comandos entre as unidades de medida e a unidade de controle é realizada via RF, eliminando uma infinidade de cabos sobre a bateria.

O software pode comandar diversos equipamentos, em vários locais, pela internet. O usuário do software pode visualizar informações completas de todas as baterias sob monitoração, tais como ultimas medidas de resistência interna, tensão e temperatura, além de todo o histórico de medidas realizadas.

Este sistema de monitoração remoto foi desenvolvido para agregar confiabilidade à bateria e permitir que o usuário tenha remotamente todo o histórico de eventos, auxiliando-o na difícil tarefa de manutenção dos sistemas de energia. Este trabalho apresentará os resultados obtidos de avaliação de baterias utilizando o sistema de monitoração remota TECBAT, bem como a comparação com outros equipamentos portáteis.

## 2.0 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE TÉCNICA DE RESISTÊNCIA INTERNA

O termo resistência interna é empregado para representar um fenômeno físico que causa uma não idealidade na bateria, o qual é modelado por um circuito elétrico, formado por alguns componentes elétricos, como apresentado na Figura 1.

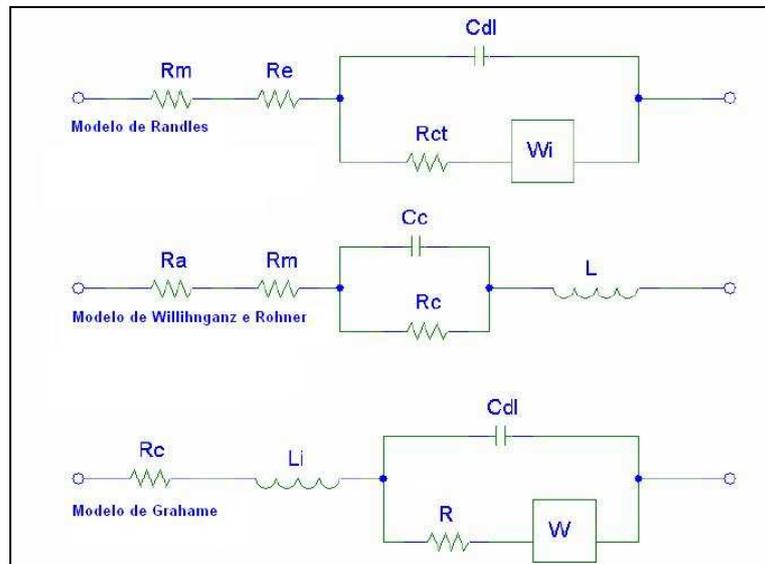


FIGURA 1: Modelos Elétricos da Resistência Interna de Baterias

Este circuito, do ponto de vista elétrico, apresenta uma característica denominada Impedância, que é uma grandeza complexa relacionando a intensidade de corrente com a diferença de potencial elétrico, sendo representada pela letra  $Z$  e cuja unidade de medida é o Ohm ( $\Omega$ ). É formada por um termo real, que corresponde a Resistência  $R$ , e por um termo imaginário, a Reatância  $X$ , assim:

$$Z = R + jX$$

A Reatância está relacionada a capacitores e indutores, e depende da frequência. Quando é causada por um capacitor  $C$ , diz-se que é uma reatância capacitiva e é dada pela equação:

$$X = -\frac{1}{2\pi fC}$$

e quando é causada por um indutor  $L$ , diz-se que é uma reatância indutiva e é dada pela equação:

$$X = 2\pi fL$$

O inverso da impedância é denominado Admitância, representada pela letra  $Y$ , cuja unidade de medida é o Siemens (S), que é formada por um termo real, a Condutância  $G$  e um termo imaginário, a Susceptância  $B$ , assim:

$$\frac{1}{Z} = Y = G + jB$$

Em vários artigos há confusão entre estas unidades, tal como dizer que a Condutância é o inverso da Impedância, quando na verdade a Condutância é parte real do inverso da Impedância. Outro engano comum é tratar a Impedância somente como a parte real  $R$ .

### 3.0 - PROTÓTIPO DO SISTEMA DE MONITORAÇÃO REMOTA

Partindo da necessidade de um equipamento que realizasse continuamente e de forma autônoma a monitoração de baterias, em 2002 foi iniciado um projeto de pesquisa que visava à obtenção de um sistema automatizado de medição, análise e transmissão remota dos dados e resultados, denominado TECBAT. Ao longo de dois anos foram pesquisadas as diversas metodologias de avaliação de baterias, concluindo-se que a mais adequada para implementação eletrônica, com o melhor custo/benefício, foi à avaliação por meio da resistência interna. Desta forma as técnicas de medição da resistência interna e seus diversos componentes foram estudadas e implementadas em um protótipo do equipamento de medição, que pode ser observado nas Figuras 2 e 3.



FIGURA 2: Protótipo do Equipamento de Medição (Unidade de Controle)

Além da resistência interna de cada elemento ou monobloco, o protótipo do equipamento coleta a tensão individual dos elementos ou monoblocos, a corrente que percorre o banco, seja de carga, descarga ou de flutuação e a temperatura de alguns elementos piloto. O equipamento é composto por duas unidades distintas: a Unidade de Controle, apresentada na Figura 2 e a Unidade de Medida, que coleta os dados dos elementos ou monoblocos da bateria, apresentada na Figura 3. O desenvolvimento foi orientado para que uma Unidade de

Medida realize a medição de até quatro elementos ou monoblocos, enviando estas informações à Unidade de Controle.



FIGURA 3: Protótipo da Unidade de Medida

A comunicação entre as Unidades de Medida e a Unidade de Controle é realizada via rádio, evitando uma grande quantidade de cabos para a interconexão de cada elemento ou monoblocos. A partir das medições coletadas pelas Unidades de Medida, a Unidade de Controle pode estimar o estado de degradação, as condições de operação e as solicitações de uso da bateria, permitindo uma avaliação completa da bateria.

A Figura 4 apresenta um esquemático do Sistema de Monitoração Remota.

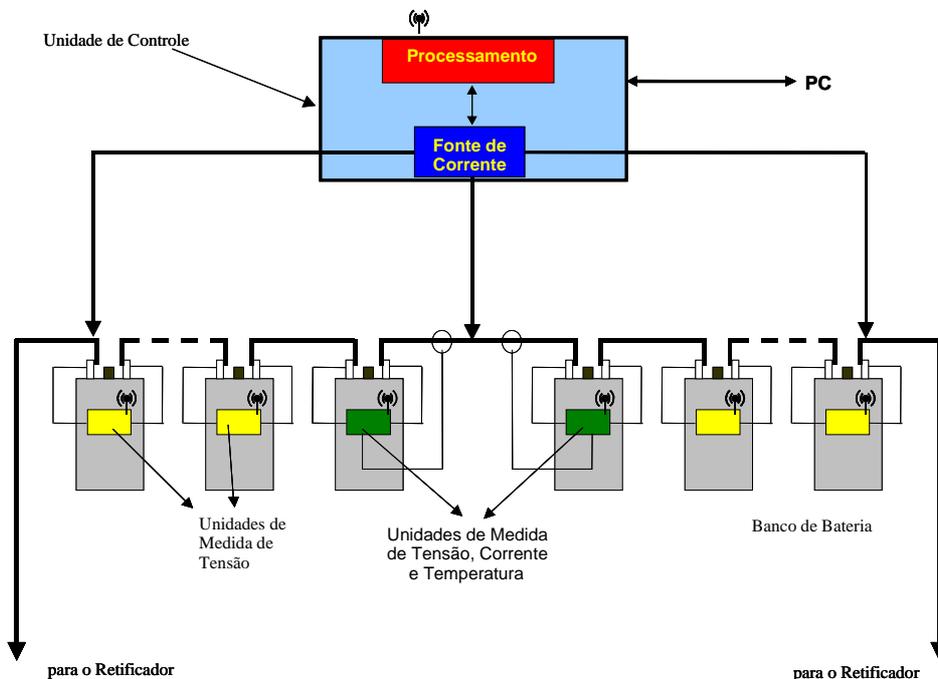


FIGURA 4: Esquemático do Sistema de Monitoração

A solução apresentada tem como objetivo obter as seguintes informações da Bateria sob monitoração:

- Resistência interna individual de cada elemento/monobloco da bateria;
- Tensão total de cada banco que compõe a bateria;

- Tensão individual de cada elemento/monobloco da bateria;
- Corrente que percorre cada banco que compõe a bateria, seja de carga ou descarga;
- Temperatura de dois elementos/monoblocos de cada banco que compõe a bateria.

Das quais podem ser inferidas os seguintes dados:

- Curva de degradação individual de cada elemento/monobloco da bateria;
- Relatórios de solicitação da bateria;
- Histórico de todas as informações sobre cada elemento/monobloco da bateria.

### 3.1 Ensaio de Envelhecimento da Bateria

Além do desenvolvimento do protótipo, foi estudado em laboratório o comportamento da resistência interna da bateria em relação a sua capacidade. Assim um grupo de baterias foi submetido a um processo de envelhecimento através de ensaios laboratoriais. Por quase um ano foram realizados ciclos diários de descarga e recarga, com medição da capacidade e da condutância. A Figura 5 mostra a curva obtida neste ensaio de envelhecimento.

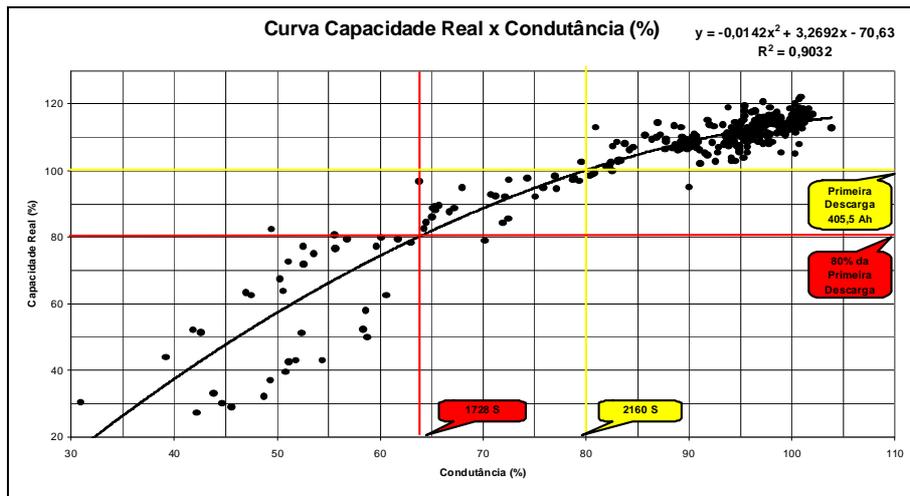


FIGURA 5: Curva de Correlação entre Condutância e Capacidade

Como pode-se observar a variação da capacidade da bateria não apresenta um relação diretamente proporcional com sua resistência interna.

### 3.2 Testes Funcionais

As funcionalidades do Protótipo de Laboratório foram confrontadas com os requisitos da Técnica de Monitoração e comprovou-se a eficácia da Técnica, conforme Indicador 5.

A fim de comprovar a Técnica de Monitoração o banco teste foi medido pelo equipamento BITE (Megger) e pelo protótipo TECBAT, os resultados foram comparados, como pode ser observado pela Figura 5.

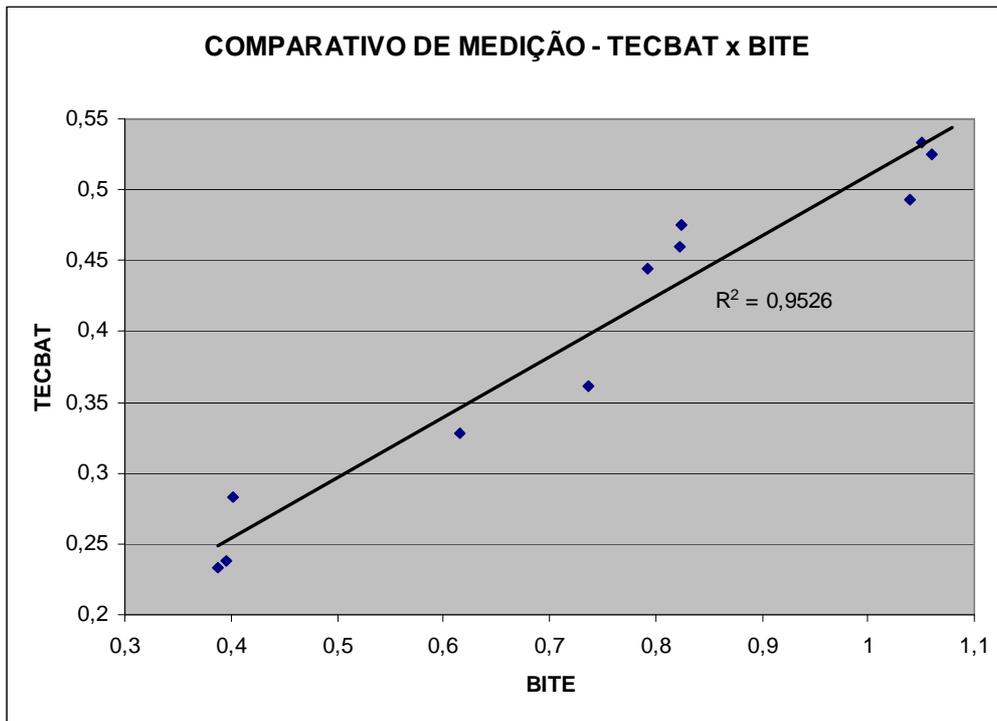


FIGURA 5: Comparação entre as medidas do equipamento da Megger e do TECBAT

O ensaio comparativo entre as duas técnicas revelou que a correlação entre as medidas do equipamento da Megger e do TECBAT foi de 95,26%.

### 3.3 Software de Gestão

O equipamento de medição remota será integrado com um software para gerenciamento e acesso remoto e automático aos dados coletados pelo equipamento.

As principais funcionalidades do software são:

- Acompanhamento do desempenho dos bancos de baterias instalados na empresa através da análise da tensão e de resistência interna de seus elementos, realizando assim a gestão do processo de manutenção
- Detecção de falhas no Banco de Baterias, possibilitando a manutenção corretiva
- Programação para substituição dos bancos de baterias
- Comparação do desempenho de baterias de fabricantes ou modelos diferentes
- A partir da terceira ou quarta avaliação, cuja periodicidade deve estar compreendida entre três a seis meses, é possível apresentar a tendência do estado de degradação dos bancos de bateria para os próximos dois anos (algoritmo a ser implementado)

### 4.0 - BENEFÍCIOS DO SISTEMA

A seguir são listados alguns benefícios que o sistema de Monitoração Remota proporcionará ao gerenciamento e manutenção preditiva e corretiva de baterias.

- Permite diagnóstico precoce do estado de degradação da bateria, antes do comprometimento do serviço, permitindo a adoção de medidas preventivas;
- Reduz a exposição da instalação a falhas (por falta de energia) durante a realização do ensaio de capacidade, ou da necessidade de deslocamento de banco de baterias suplementar;
- Evita o desgaste da bateria, provocado pelo ensaio de capacidade;
- Reduz significativamente a possibilidade de parada de sistemas por falha no banco de baterias no momento crítico, ou seja, na ausência da energia comercial;
- O acompanhamento de desempenho é realizado através de banco de dados, não sendo perdidas informações importantes na eventual substituição de técnicos e/ou empresas contratadas;
- Facilita a comparação de tecnologias de baterias de diferentes fabricantes;
- Simplifica a manutenção, reduzindo a necessidade de visitas e permite a manutenção preventiva;
- Redução do tempo de despacho de equipes de manutenção;

## 5.0 - CONCLUSÃO

O sistema de monitoração remota ainda está em fase de desenvolvimento, sendo necessárias algumas alterações na parte eletrônica do equipamento para melhoria das especificações gerais, além da integração do equipamento com o software gestão dos dados e acesso remoto e automático aos dados coletados pelo equipamento. Vários trabalhos nacionais e internacionais têm demonstrado que as técnicas de avaliação da resistência interna da bateria são ferramentas eficazes que agregam valor na sua manutenção corretiva e preditiva.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Souza, F.S.; Silva, J.R.A. e Rosolem, M.F.N.C. - "Medidas de Impedância como Método de Avaliação de Baterias Chumbo-Ácidas Reguladas por Válvulas"; CININTEL '97 – Fortaleza
- (2) Souza, F.S.; Silva, J.R.A. e Rosolem, M.F.N.C. - "Avaliação de Desempenho de Baterias VRLA das Estações Experimentais da Telesp"; CININTEL '98 – Fortaleza
- (3) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F. and Júnior, M.G.R. - "Evaluation Tools for Batteries Employed in Outdoor Cabinets - An Experience of a Brazilian Telecom Company"; INTELEC 2000 - Phoenix/EUA
- (4) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F and Soares, L.A. - "Failure Detection of Stationary Lead-acid Batteries in Service in Various Regions of Brazil", INTELEC 2002 - Montreal/Canadá
- (5) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F.; Tenório Junior, J.; Roza, P.M. - Metodologias Alternativas para Avaliação de Baterias: Uma Experiência na Light; SNPTEE 2003 - Uberlândia, MG;
- (6) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F.; Cardoso, P.E.; Soares, L.A.; Yamaguti, F. - Stationary VRLA Battery Evaluations: Internal Measurements and Capacity Test - an the Claro Celular Mobile Company; BATTCON 2004 - Florida, USA;
- (7) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F.; Cardoso, P.E.; Soares, L.A.; Nascimento, V.V.; Urso, J.E.; Soares, R.F.; Tenório Junior, J.; Roza, P. M.; Pensei, G.R. - Gerenciamento de Baterias Chumbo-ácidas Ventiladas Utilizadas nas Subestações da Light através de Banco de Dados de Medições de Condutância; T&D 2004 - São Paulo, SP;
- (8) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F.; Cardoso, P.E.; Soares, L.A. - Evaluation of the Relationship Between Conductance and Capacity Measurements of VRLA Batteries in Brazil; INTELEC 2004 - Chicago, USA;
- (9) D. C. Cox and R. P. Kite, "Battery State of Health Monitoring, Combining Conductance Technology with Other Measurement Parameters for Real - Time Battery Performance Analysis", Intelec 2001, Edinburg-Escócia.
- (10) - K. S. Champlin and K. Bertness, "A Fundamentally New Approach to Battery Performance Analysis Using DFRA™/DFIS™ Technology", Intelec 2001, Edinburg-Escócia.
- (11) P. E. Pascoe and A. H. Anbuky, "VRLA Battery Capacity Estimation Using Soft Computing Analysis of the Coup de Fouet Region", Intelec 2000, Phoenix-USA.
- (12) A. H. Anbuky and P.E. Pascoe and P. M. Hunter, " Knowledge Based VRLA Battery Monitoring and Health Assessment", Intelec 2000, Phoenix-USA.
- (13) P. K. Ng, M. Hirsch, G. Turner, G. Mathiesen, A. S. Herbert and M. Johnson, "A Battery State-of-Health Teste Utilizing a Universal Battery Reserve Time Prediction Algorithm", Intelec '99, Sydney - Austrália.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Maria de Fátima N. C. Rosolem

Nascido em Tanabi em 02 de julho de 1965.

MBA (2005): ESAMC, Mestrado (1990): USP S. Carlos e Graduação (1987) em Bacharelado em Química: UFSCAR

Empresa: CPqD desde 1989

Pesquisadora da Gerência de Infra-estrutura de Redes

Secretária do Comitê de Estudos da ABNT CB 03.21 – Bateria Chumbo-ácida Estacionária

Raul Fernando Beck

Nascido em Campinas em 30 de outubro de 1955.

Engenheiro Eletrônico (1980) Unicamp e Química Industrial (1973) Etecap

Empresa: CPqD desde 1980

Engenheiro da Gerência de Infra-estrutura de Redes

Paulo Eduardo dos Reis Cardoso

Nascido em Pedreira – SP em 06 de junho de 1978 -

Mestrado em Engenharia Elétrica - Unicamp (2005) e Graduação em Engenharia Elétrica - Unicamp (2002)

Empresa que atuou: ASE - DLIR - Fundação CPqD

Empresa que atua: Anatel - CMPRR - SCM

Especialista em Regulação

Luiz Antonio Soares

Nascido em Campinas – SP em 30 de outubro de 1963

Tecnólogo em Saneamento Ambiental – Unicamp (2006) e Técnico em Eletrônica – Cotuca (1984)

Empresa: CPqD desde 1986

Técnico da Área de Sistema de Energia do CPqD