



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO - 10**

**GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS**

**Desafios para a Implantação de uma Rede de Qualimetria Utilizando Equipamentos de Medição e Faturamento**

**Ribeiro, N. S. S. (\*)      Assis, C. S.      Fernandes, O. A.  
ELETROBRAS – ELETRONORTE   ELETROBRAS – ELETRONORTE   ELETROBRAS – ELETRONORTE  
Filho, A.D.L.F.  
UnB**

**RESUMO**

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados obtidos com a utilização da ferramenta computacional para análise de grandezas relacionadas com a qualidade da energia utilizando a potencialidade dos equipamentos de medição e faturamento instalados em seu sistema de transmissão e a estrutura da rede de faturamento da Eletrobrás – Eletronorte, além de discutir os desafios quanto à operacionalização do software no ambiente corporativo na sede da Empresa, em Brasília.

**PALAVRAS-CHAVE**

Qualidade da Energia, Harmônicas, Desequilíbrio, Afundamentos de Tensão

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, com a evolução da eletrônica de potência, tem surgido uma nova geração de equipamentos elétricos, trazendo enormes benefícios no desempenho e na confiabilidade dos sistemas de transmissão. No entanto, estes dispositivos podem comprometer a Qualidade da Energia Elétrica – QEE.

Considerando-se que atualmente o ambiente de competitividade está consolidado no setor elétrico brasileiro e os aspectos concernentes à operação com qualidade tornaram-se prementes, o assunto tem se tornado alvo de pesquisas e estudos em diversos congressos e encontros técnicos da área. Assim, são necessárias a definição e apuração de indicadores de desempenho e índices de referência capazes de refletir corretamente a degradação da QEE, cobrindo os inúmeros aspectos envolvidos no seu contexto, e que tenham um bom nível de consenso entre os agentes atuantes.

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e o Operador Nacional do Sistema (ONS), em parceria com universidades, centros de pesquisa, agentes do setor elétrico, fabricantes de equipamentos e consumidores, têm executado algumas campanhas de medição e coordenado diversos fóruns de debates destinados à elaboração e à adaptação dos documentos que comporão a resolução brasileira que versa sobre a qualidade da energia elétrica no sistema de distribuição [1].

Por se tratarem de questões envolvendo comportamentos aleatórios no tempo, função inclusive de conexões e desligamentos de cargas do sistema, conforme atestam algumas publicações [2] e [3], torna-se indispensável uma investigação minuciosa que avalie se tais características têm sido contempladas pelas metodologias empregadas. Neste caso, medições de campo que evidenciem a realidade dos nossos sistemas nos dias atuais, caracterizam-se como ações providenciais.

(\*)Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A - Eletronorte - SCN Quadra 06 Conj. A, Blocos C, Asa Norte - Cep 70.716-901 - Brasília/DF - tel. (61)3429-5153– Email: niloribeiro@eln.gov.br

As primeiras ações adotadas foram as campanhas de medição em alguns pontos do Sistema Interligado Nacional (SIN), coordenadas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). Porém, devido aos elevados custos envolvidos nas referidas campanhas (estimativa de R\$ 20.000,00 por ponto de medição), tais ações se tornaram onerosas, considerando sistemas com vários pontos de medição (Pontos de Acoplamento Comum).

Como são demandados, em geral, diversos dias de monitoração para uma análise que culmine em resultados representativos dos níveis dos distúrbios presentes no local em avaliação, o volume de informações coletadas é grande. Logo, para se obter conclusões de forma simples e prática com base nos dados armazenados, tornam-se necessárias metodologias alicerçadas na aplicação de técnicas estatísticas, capazes, inclusive, de gerar resultados considerando-se os métodos empregados pelas normas sobre o assunto.

Frente a estes fatos, a Eletronorte, em parceria com a Fundação Empreendimentos Científicos e Tecnológicos - FINATEC e Universidade de Brasília – UnB, realizou um projeto de P&D, aprovado pela ANEEL, denominado “Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para análise e avaliação das grandezas relacionadas à qualidade da energia elétrica”. Este projeto de P&D contribuiu com investigações que culminaram na elaboração de uma ferramenta de análise de grandezas relacionadas à qualidade da energia elétrica [4], [5], [6], [7], e [8]. Tal aplicativo permite uma análise global dos afundamentos e elevações momentâneos de tensão, das harmônicas, da cintilação luminosa (flicker), do desequilíbrio e dos níveis de tensão em regime permanente, detectados e registrados a partir de instrumentos de medição instalados em pontos estratégicos do sistema Eletronorte.

## 2.0 - SISTEMA COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO

Todo o sistema é constituído por um conjunto de programas que compõem a ferramenta computacional para análises de grandezas relacionadas à qualidade da energia elétrica. O sistema é composto por um banco de dados desenvolvido em PostgreSQL, uma rotina de atualização desenvolvida em Java, e a ferramenta computacional propriamente dita, desenvolvida em C++.

### 2.1 Ferramenta Computacional

Na época do desenvolvimento do programa, para atender à critérios de segurança e custos de desenvolvimento, todo sistema foi baseado na plataforma Linux, distribuição debian, desenvolvida em linguagem de programação “C++”. Tal algoritmo é dotado de vários recursos destinados a fornecer opções simples e objetivas na análise de grandezas relacionadas à qualidade da energia elétrica. Este sistema especialista disponibiliza uma avaliação integrada e simultânea de todos os parâmetros medidos, mesmo estando os medidores instalados em inúmeros e diferentes sítios. Esta característica permite ao usuário observar o impacto de um evento de qualidade da energia em distintos pontos do sistema. A Figura 1 apresenta algumas telas principais do programa.

O uso ferramenta computacional acima descrita permite realizar análises das grandezas relacionadas à qualidade da energia elétrica abaixo. Devido à forma com a qual o programa foi estruturado, ou seja, em módulos, as análises podem ser feitas independentemente, e de forma simultânea. Com essa possibilidade, o responsável pelas análises da qualidade da energia pode sistematizar todo o processo de aquisição de dados para uma análise completa dos indicadores ou analisar apenas um indicador que se tenha interesse. A seguir, apresentam-se os módulos disponíveis na ferramenta computacional desenvolvida, com a descrição das funcionalidades que cada um dos módulos apresenta.

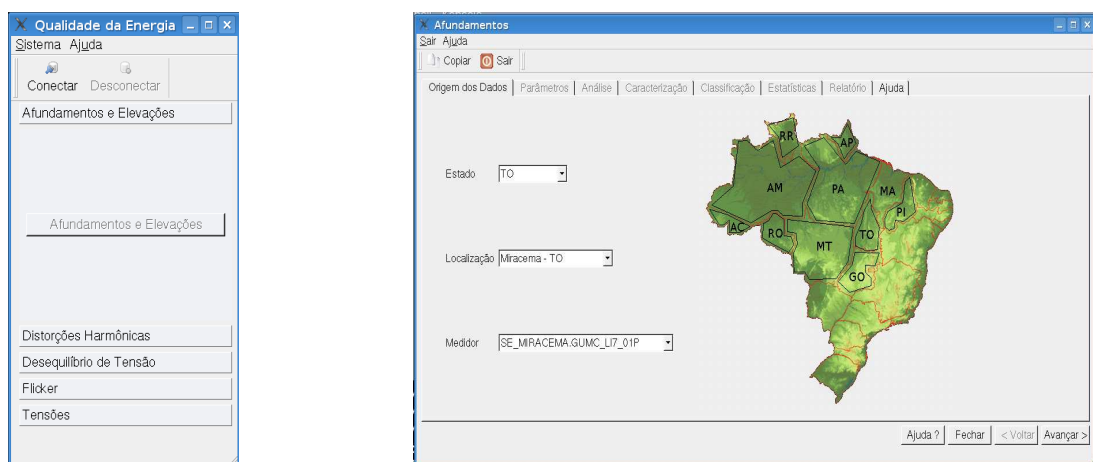


FIGURA 1 – Telas Iniciais do Programa

## 2.2 Afundamentos e Elevações Momentâneas de Tensão

No módulo de análise de “Afundamentos e Elevações de tensão”, têm-se 4 opções de análise, sendo elas: Caracterização, Classificação, Estatísticas e curvas CBEMA e ITIC. Das análises descritas pode-se optar por ter como referência os limites os Procedimentos de Rede, do ONS, UNIPED, norma Sul-Africana NRS-48, e critérios utilizados na IEEE 1159. A Figura 2 exibe a forma de onda de um dos eventos, classificado como afundamento de tensão.

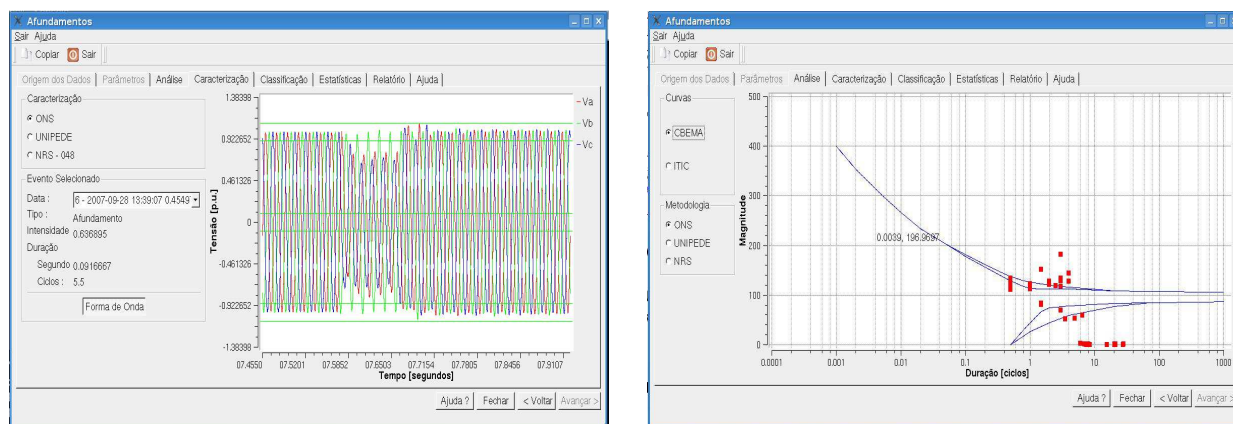


FIGURA 2 – Forma de onda do evento em análise e sua classificação sobre a curva “CBEMA”.

## 2.3 Desequilíbrio de Tensão

No módulo de análise de desequilíbrio de tensão têm-se 4 opções de análise, a saber: quantificação, análise de similaridade entre dias, análise das componentes de sequência, e qualificação. Na quantificação do desequilíbrio é possível calcular o fator de desequilíbrio pelos métodos das componentes simétricas, do Cigré, do Nema e do IEEE.

## 2.4 Distorções Harmônicas

No módulo de análise das distorções harmônicas de tensão têm-se 3 opções de análise, a saber: análise de similaridade entre dias, análise de similaridade entre fases, e qualificação. Existe ainda a possibilidade de qualificação das distorções harmônicas pelos métodos das normas do IEC, do PRODIST, do IEEE, e dos Procedimentos de Rede do ONS. O módulo de similaridade entre dias oferece os mesmos recursos apresentados no tópico de desequilíbrio de tensão.

## 2.5 Cintilação Luminosa

No módulo de análise das cintilações luminosas (flicker) têm-se 3 as opções de análise de similaridade entre dias, entre fases, e qualificação. Encontram-se também disponíveis os gráficos com a probabilidade acumulada e o histograma de ocorrências, tanto para o PST (short-term probability, um índice de quantificação estatística da sensação instantânea de flicker) como para o PLT (long-term probability, média cúbica de 12 valores consecutivos de PST). Os módulos de similaridade entre dias e fases possuem os mesmos recursos já apresentados nos tópicos de distorções harmônicas e desequilíbrio.

## 2.6 Tensões

No módulo de análise das tensões têm-se as opções de estudos de tensão e carga, de similaridade entre dias, e qualificação e perfis das tensões de linha do local em estudo. Neste mesmo tópico de análise é possível obter não só as formas de onda, bem como o gráfico de barras e as estatísticas nas 3 fases das correntes, das tensões de fase, das potências ativa, reativa e aparente, do fator de potência e das frequências. Encontram-se também disponíveis os gráficos com a probabilidade acumulada inversa no tempo e distribuição de probabilidades dos níveis de tensão. O módulo de similaridade entre dias assemelha-se aos existentes na análise das distorções harmônicas e desequilíbrio.

### 3.0 - BANCO DE DADOS

A Figura 3 ilustra um fluxograma com a estrutura do banco de dados desenvolvido para armazenar os dados provenientes do sistema de monitoração desenvolvido.

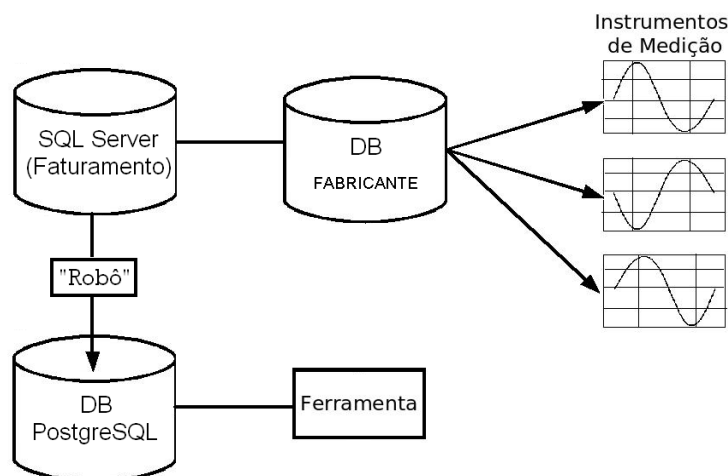


FIGURA 3 – Apresentação da estrutura do sistema de monitoração.

Da Figura 3 observa-se que o banco de dados é constituído com base nas informações oriundas dos instrumentos de medição e faturamento. Os dados dos medidores de faturamento são enviados, primeiramente, para o banco de dados proprietário do fabricante dos medidores, onde são sistematicamente armazenados. Logo após, os dados de qualidade da energia são armazenados em um banco SQL Server. Contudo, visando resguardar os dados de medição e faturamento da Eletronorte se fez necessário desenvolver um banco exclusivo para armazenamento de dados de interesse da medição de qualimetria.

Como nem todos os dados de qualidade da energia oriundos dos medidores são utilizados pela ferramenta, um aplicativo denominado “robô”, seleciona os dados que irão povoar o banco de dados PostgreSQL, que será acessado pelo programa de análise da qualidade da energia. Assim como pela escolha do sistema Linux, o sistema utilizado para o desenvolvimento do banco de dados foi o PostgreSQL, pela robustez, gratuidade, consagração mundial e vasta documentação, facilmente encontrada na internet.

Devido ao volume de dados armazenados no banco de dados, o servidor no qual o banco será instalado deve atender a requisitos de hardware que garantam um desempenho razoável quando das pesquisas nele realizadas.

#### 3.1 Sistema Autônomo – “Robô”

O sistema autônomo, no caso o robô, é responsável pela seleção das grandezas que irão compor o banco de dados de qualidade. Com o mesmo, torna-se factível o armazenamento de um conjunto de grandezas oriundas de um instrumento de medição, com características diferentes ao captado por outro medidor. O banco de dados de qualidade da energia é uma cópia simplificada do banco de dados do fabricante. Este é formado por vinte tabelas, com todos os dados disponibilizados pelo medidor de faturamento. A Figura 4 apresenta a estrutura das tabelas utilizadas pelo programa.

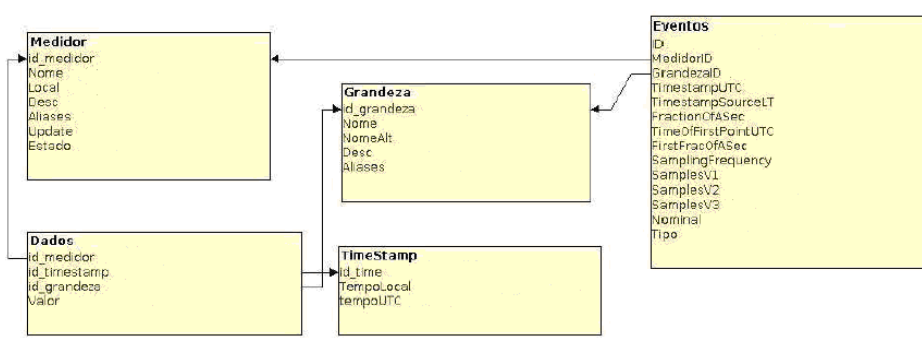


FIGURA 4 – Modelagem das tabelas do PostgreSQL.

O BD PostgreSQL é formado por apenas cinco tabelas. O povoamento dos registros dessas tabelas fica a cargo do sistema autônomo, que também é responsável por rodar um script com as configurações do atualizados, buscando os dados de interesse do SQL Server e armazenando no PostgreSQL.

#### 4.0 - IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA EM AMBIENTE CORPORATIVO

Após o desenvolvimento e testes do sistema nos laboratórios de engenharia da Universidade de Brasília, o sistema foi instalado nas dependências da ELETROBRAS-ELETRONORTE, em Brasília, o que possibilitou que testes sistêmicos fossem realizados.

Os dados provenientes do sistema de medição e faturamento, instalados nas subestações, são transferidos utilizando-se da infraestrutura da rede de medição e faturamento. Os dados selecionados pelo atualizador configurado no sistema autônomo são transferidos do BD SQL Server para o BD PostgreSQL em um horário pré-estabelecido, de forma a não sobrecarregar a rede com o tráfego dos dados de qualidade da energia.

O acesso do terminal do analista ao banco de dados de qualidade da energia é feito via rede corporativa. Por questões de segurança, o privilégio de acesso ao banco de dados é apenas de leitura.

##### 4.1 Desafios Relativos ao Sistema de Medição e Faturamento

Para que a ferramenta computacional para análise de grandezas relacionadas à qualidade da energia elétrica tenha todas as funcionalidades disponíveis, é premente que os medidores estejam corretamente configurados, com todas as grandezas especificadas. Para tanto, fica evidente que deve haver um comprometimento muito grande por parte de toda a equipe envolvida na cadeia de processo operar e manter dos medidores, no sentido de garantir a configuração dos mesmos, mesmo em caso de troca de unidade principal por unidade reserva. A configuração dos medidores não é trivial, devido a complexidade dos cálculos realizados.

##### 4.2 Desafios Relativos a Rede de Medição e Faturamento

A rede de medição e faturamento é um ambiente crítico, tendo em vista os cuidados no gerenciamento e na segurança das informações que por ela transitam. Várias entidades, por questões contratuais, partilham das mesmas informações da referida rede de medição, tais como a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE e o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

Problemas de acesso de algumas dessas entidades aos dados do Sistema de Medição e Faturamento poderão fazer com que o administrador da rede tenha que “dar preferência” aos agentes aqui citados. Neste contexto, é necessário que a equipe de manutenção e segurança da rede de medição e faturamento tenha conhecimento da rede de qualimetria, para que não aconteçam episódios de desconexão do servidor de qualidade da energia ao servidor de dados de medição e faturamento, e caso isso ocorra, que o restabelecimento da conexão do banco de dados de qualidade seja o mais rápido possível.

##### 4.3 Desafios Relativos à Manutenção da Ferramenta Computacional

É fundamental que, durante o desenvolvimento de programas de desenvolvimento e pesquisa (P&D) que tenham como produto final equipamentos ou softwares, uma equipe da empresa, formada por profissionais das áreas direta e indiretamente envolvidos participem de todas as etapas de desenvolvimento do produto final, de forma que toda a tecnologia desenvolvida com a pesquisa seja permanentemente transferida para a empresa, facilitando substancialmente o processo de implantação e manutenção do sistema, minimizando a dependência de terceiros, evitando, assim, custos adicionais.

##### 4.4 Desafios Relativos à Tecnologia Empregada nos Medidores

Sistemas desenvolvidos tendo como fonte de dados apenas um tipo específico de equipamento pode se tornar um problema no futuro, uma vez que alterações tecnológicas tais como alterações de software (atualizações do firmware, por exemplo) podem fazer com que o sistema não consiga funcionar corretamente. Para evitar esse tipo de problema, uma alternativa seria o desenvolvimento de rotinas que garantam o povoamento do banco de dados original independentemente da fonte de dados (mais de um tipo de medidor), de forma a garantir a continuidade dos trabalhos de análise das grandezas de qualidade da energia.

## 5.0 - CONCLUSÃO

É Consenso geral que medidas de controle relativas à qualidade de energia elétrica em sistemas de transmissão sejam adotadas. Atualmente, campanhas de medição são realizadas em pontos previamente estabelecidos, onde equipamentos são instalados e ali permanecem por um tempo tal que uma quantidade mínima de dados sejam aquisitados (pelo menos sete dias), de forma que análises estatísticas garantam representatividade suficiente para o que acontece no ponto de medição durante a maior parte do tempo. Entretanto, campanhas de medição, devido aos elevados custos envolvidos (estimativa de R\$ 20.000,00 por ponto de medição), podem se tornar consideravelmente onerosas, tendo em vista sistemas com vários pontos de medição.

Com base nesta consideração, este trabalho teve como objetivo fomentar a discussão sobre sistemas remotos de medição de indicadores de qualidade da energia elétrica. Adicionalmente, foram levantados alguns pontos relevantes para o desenvolvimento e manutenção de sistemas de qualimetria que podem vir a se utilizar de dados de equipamentos de medição e faturamento, devido a grande capacidade e recursos disponíveis em tais equipamentos, no que diz respeito à aquisição de dados de qualidade da energia.

Por fim, conclui-se pela possibilidade de utilização de sistemas de medição e faturamento para desenvolvimento de um sistema de análise de indicadores de qualidade da energia elétrica, em alternativa às campanhas de medição, atualmente realizadas.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Contribuição para a Normalização da Qualidade da Energia Elétrica - Harmônicos e Desequilíbrios nas Redes Elétricas. Relatório Parcial 6 - Resultados das Medições e Tratamentos. Universidade Federal de Uberlândia.
- (3) Ribeiro, N. S. S., (2007). "Avaliação de filtros eletromagnéticos e sintonizados LC para minimização de correntes de sequência zero em sistemas de distribuição a quatro fios." Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, pp. 242.
- (4) Souto, O. C. N., (2001). "Modelagem e Análise do Desempenho Térmico de Motores de Indução Sob Condições Não Ideais de Alimentação." Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, pp. 399.
- (5) Amboni, G. P. M.; Leles, A. F. F.; Oliveira, M. A. G.; Freitas, P. O.; Oliveira, S. C. (2004). "Uma ferramenta Computacional Para Quantificação e Qualificação das Distorções Harmônicas". In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), São Paulo, Brasil.
- (6) Leles, A. F. F.; Oliveira, M. A. G.; Pinto, M. G. S. (2005). "Ferramenta Computacional Para a Quantificação e Qualificação do Desequilíbrio de Tensão", In: VI Seminário Brasileiro da Qualidade da Energia Elétrica (SBQEE), Belém, Brasil.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

### Nilo Sérgio Soares Ribeiro



Nascido em Brasília, DF em 28 de Novembro de 1978. É engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal de Mato Grosso (2004) e mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia e atualmente é engenheiro das Centrais Elétricas do Norte do Brasil – ELETRONORTE.

### Anésio de Leles Ferreira Filho

Nascido Patos de Minas, Minas Gerais, em 25 de dezembro de 1971. Doutorado (2008) em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília e Mestrado (1997) e Graduação (1994) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia UFU Professor da UnB, desde 1997. Área de atuação: Qualidade da Energia.

### Onivaldo Antônio Fernandes

Nascido em Gastão Vidigal – SP, em 17/08/1956. Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1982), pós-graduação em Gestão Organizacional pela Universidade de Brasília (1996), pós-graduação em Planejamento e Economia de Empresas de Energia Elétrica pela Universidade Mackenzie (1998). Admitido pela Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A – Eletronorte no dia 21/06/1989 e atualmente lotado na Superintendência de Engenharia de Operação de Sistema, prestando serviço na Gerência de Análise e Controle do Desempenho de Sistema. Área de atuação: Qualidade da energia elétrica; Desempenho Técnico de Sistemas Elétricos.

### Cleiner da Silva Assis

Contato: cleiner.assis@eletronorte.gov.br