



Projeto de P&D

# Sistema Híbrido Ultrassônico-Capacitivo para Análise de Óleo Combustível de Motogeradores

## **Relatório Atividades**

### **Descrição:**

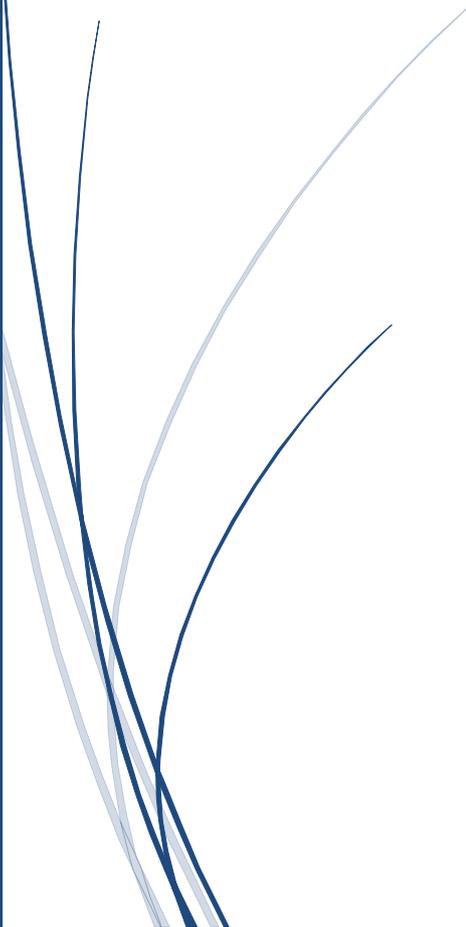
Relatório Final das Atividades Realizadas no Projeto

### **Relatório MARACANAÚ**

F01-00 / Revisão 00

### **Código ANEEL**

PD-06472-0318/2018



# Projeto de P&D

Sistema Híbrido Ultrassônico-Capacitivo para Análise de Óleo Combustível de  
Moto geradores

Relatório Final

Atividades Realizadas no Projeto

**Relatório MARACANAÚ**  
F01-00 / Revisão 00

Relatório Elaborado por:

---

**Erik Leandro Bonaldi**  
Coordenador do Projeto  
Instituto Gnarus

---

**Germando Araújo da Costa**  
Gerente do Projeto  
Maracanaú Geradora de Energia

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ENTIDADES E RESPECTIVAS EQUIPES EXECUTORAS .....	1
1.2	HISTÓRICO DA LINHA DE PESQUISA.....	3
<b>2.</b>	<b>Apresentação do Projeto .....</b>	<b>4</b>
2.1	JUSTIFICATIVA DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO .....	4
2.2	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA .....	5
2.3	OBJETIVOS DO PROJETO .....	6
2.4	RESULTADOS PRETENDIDOS .....	7
2.5	PALAVRAS-CHAVES .....	7
<b>3.</b>	<b>Etapas Desenvolvidas neste Projeto .....</b>	<b>9</b>
3.1	CRONOGRAMA DE ATIVIDADES .....	9
3.2	DESCRIÇÃO MENSAL DAS ETAPAS .....	11
3.2.1	Etapa 1 - Estudo das Técnicas Ultrassônicas e do Projeto Capacitivo para Caracterização do Óleo Combustível .....	11
3.2.2	Etapa 2 - Desenvolvimento de Hardware e Software .....	13
3.2.3	Etapa 3 - Ensaios Eletrônicos de Bancada e Testes de Validação .....	17
3.2.4	Etapa 4 - Ensaios Laboratoriais de Contaminação e para Medição de Vazão .....	21
3.2.5	Etapa 5 - Desenvolvimento do Protótipo do Sistema de Monitoramento .....	25
3.2.6	Etapa 6 - Instalação do Protótipo no Campo.....	29
3.2.7	Etapa 7 - Acompanhamento do Desempenho do Protótipo no Campo.....	32
3.2.8	Etapa 8 - Ajustes Finais.....	34
3.2.9	Etapa 9 - Preparação da Documentação Final.....	35
3.2.10	Etapa 10 - Transferência Tecnológica.....	35
<b>4.</b>	<b>Fundamentação Teórica dos Desenvolvimentos Realizados .....</b>	<b>36</b>
4.1	ÓLEO COMBUSTÍVEL E A ANP .....	36
4.1.1	Óleo Combustível.....	36
4.1.1.1	Principais componentes e características .....	38
4.1.1.2	Principais contaminantes.....	40
4.1.1.3	Tipos de óleos combustíveis .....	41
4.1.2	Resoluções ANP.....	42
4.1.2.1	Resolução ANP No 3 DE 27/01/2016.....	42
4.1.2.2	Adulteração .....	44
4.2	TÉCNICAS ULTRASSÔNICAS.....	45
4.2.1	Acústica.....	45
4.2.1.1	Tipos de ondas.....	45
4.2.1.2	Ondas periódicas .....	47
4.2.1.3	Descrição matemática das ondas.....	48
4.2.1.4	Velocidade e aceleração de uma partícula em uma onda senoidal.....	49
4.2.1.5	Velocidade das ondas mecânicas .....	50

4.2.2	Ondas Ultrassônicas .....	50
4.2.2.1	Efeito piezoelétrico.....	50
4.2.2.2	Velocidade e a equação das ondas ultrassônicas.....	52
4.2.3	Sistemas Ultrassônicos .....	53
4.2.3.1	Tipos de transdutores ultrassônicos piezoelétricos .....	54
4.2.3.2	Resposta em frequência de transdutores ultrassônicos .....	56
4.2.3.3	Modos de operação de um transdutor ultrassônico .....	57
4.2.3.4	Métodos de análise .....	60
<b>5.</b>	<b>Contribuições e Originalidade do Projeto .....</b>	<b>62</b>
5.1	ESTUDO DE ANTERIORIDADE.....	62
5.1.1	Busca na Base de Projetos da ANEEL.....	62
5.1.2	Busca no Banco de Patentes do INPI .....	63
5.1.3	Busca no Banco de Patentes dos Estados Unidos .....	65
5.1.4	Análise das Técnicas utilizadas nas Patentes Existentes.....	66
5.1.5	Produtos Existentes no Mercado .....	68
5.2	ORIGINALIDADE DO PROJETO .....	69
5.3	CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA AO ESTADO-DA-ARTE .....	70
5.3.1	Medição de Vazão .....	70
5.3.1.1	Técnica de medição de vazão por ultrassom .....	73
5.3.1.2	Transdutores ultrassônicos .....	73
5.3.1.3	Princípio de medição por tempo de trânsito .....	77
5.3.1.4	Medidores ultrassônicos de múltiplas trajetórias .....	79
5.3.2	Estimação do Conteúdo de Água .....	83
5.3.2.1	Técnica de estimação do conteúdo de água por capacitância .....	83
5.3.2.2	Características ideais e não ideais de capacitores .....	83
5.3.2.3	Circuitos de excitação para medição de capacitância .....	84
5.3.2.4	Cálculo de presença de água .....	88
5.4	ORIGINALIDADE DOS PRODUTOS DESENVOLVIDOS .....	89
5.3.1	Modelagem das Partes Mecânicas.....	90
5.3.1.1	Corpo do transdutor central.....	90
5.3.1.2	Corpo do transdutor externo.....	91
5.3.1.3	Front piezo.....	91
5.3.1.4	Berço piezo.....	92
5.3.1.5	Atuador.....	92
5.3.1.6	Tampa.....	93
5.3.1.7	Esquema de montagem dos transdutores.....	93
5.3.1.8	Suporte .....	94
5.3.1.9	Esquema das etapas de fabricação do Carretel.....	95
5.3.1.10	O’rings.....	97
5.3.1.11	Conectores.....	98
5.3.2	Principais Detalhes de Fabricação das Partes Mecânicas .....	98
5.3.2.1	Corpo do transdutor central.....	99
5.3.2.2	Corpo do transdutor externo.....	99
5.3.2.3	Front piezo.....	100
5.3.2.4	Berço piezo.....	100
5.3.2.5	Atuador.....	101
5.3.2.6	Tampa.....	101

5.3.2.7	Montagem dos transdutores .....	102
5.3.2.8	Suporte .....	102
5.3.2.9	Fabricação do Carretel.....	103
5.3.3	Sensor Capacitivo e Testes com os Transdutores Ultrassônicos.....	105
5.3.4	Apresentação do Hardware Desenvolvido .....	111
5.3.4.1	Hardware para Análise do Conteúdo de Água em Óleo Combustível .....	111
5.3.4.2	Hardware para Medição da Vazão de Óleo Combustível .....	114
5.3.4.3	Hardware para Alimentação dos Componentes do Sistema.....	119
5.3.4.4	Hardware para Controle do Sistema e Aquisição de Dados.....	121
5.3.4.5	Montagem e Teste dos Elementos de Hardware .....	122
5.3.5	Apresentação do Software Desenvolvido .....	126
5.3.5.1	Entrada de dados .....	126
5.3.5.2	Início e Visualização do Monitoramento .....	127
5.3.5.3	Histórico de coletas .....	129
5.3.5.4	Sobre o software.....	130
5.3.5.5	<i>Dashboard</i> .....	131
5.3.6	Inexistência de Produto Similar no Mercado .....	132
<b>6.</b>	<b>Aplicabilidade e Abrangência do Projeto .....</b>	<b>134</b>
6.1	ABRANGÊNCIA DA APLICAÇÃO .....	135
6.2	APLICABILIDADE DA TÉCNICA DESENVOLVIDA A OUTROS PROBLEMAS .....	136
6.3	TESTES DE FUNCIONALIDADE.....	137
6.3.1	Ensaio e Testes de Hardware .....	137
6.3.1.1	Ensaio e Testes com o Circuito Capacímetro .....	138
6.3.1.2	Ensaio e Testes com o Circuito Pulsador .....	142
6.3.1.3	Ensaio e Testes com o Circuito Temporizador.....	146
6.3.2	Ensaio Controlado em Laboratório .....	153
6.3.2.1	Ensaio de contaminação de óleo combustível .....	154
6.3.2.2	Ensaio de medição de tempo de trânsito.....	165
6.3.2.3	Ensaio de medição de vazão no laboratório de modelo reduzido.....	176
6.3.3	Testes em Campo .....	179
6.3.3.1	O Protótipo Finalizado .....	179
6.3.3.2	Detalhes da Instalação em Campo.....	183
6.3.3.3	Comunicação Remota e Calibração do Produto.....	185
6.3.3.4	Resultado dos Testes .....	186
<b>7.</b>	<b>Contribuições e Relevância do Projeto .....</b>	<b>191</b>
7.1	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS ECONÔMICOS .....	191
7.1.1	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Produtividade.....	191
7.1.2	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Qualidade do Fornecimento .....	192
7.1.3	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Gestão de Ativos .....	193
7.1.4	Contribuições e Impactos Econômicos ligados ao Mercado de Energia.....	193
7.1.5	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Eficiência Energética.....	194
7.2	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS TECNOLÓGICOS.....	195
7.2.1	Contribuições e Impactos Econômicos relacionados à Infraestrutura Laboratorial.....	195
7.2.2	Contribuições e Impactos Econômicos relacionados à Propriedade Industrial.....	196
7.2.4	Contribuições e Impactos Econômicos relacionados à Transferência de Conhecimento e à Capacitação Técnica e Tecnológica .....	200

7.3	CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS .....	202
7.3.1	Contribuições Científicas relacionadas à Produção Técnico-Científica .....	202
7.3.1.1	Artigo em Revista Internacional.....	202
7.3.1.2	Artigo em Congresso Internacional.....	204
7.3.2	Contribuições Científicas relacionadas à Titulação em Programas de Pós-Graduação .....	205
7.4	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS .....	206
7.4.1	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Riscos e Impactos Ambientais .....	206
7.4.2	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Riscos e Impactos Sociais .....	207
7.4.3	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados ao Desenvolvimento de Novas Atividades Socioeconômicas.....	207
7.4.4	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Benefícios para a Sociedade .....	208
<b>8.</b>	<b>Recursos Empregados e Justificativas .....</b>	<b>210</b>
8.1	RELAÇÃO DOS VALORES DAS RUBRICAS DAS EXECUTORAS.....	210
8.2	CARGA HORÁRIA DOS PESQUISADORES DO PROJETO DAS EXECUTORAS .....	211
8.3	DESPESAS DA RUBRICA DE MATERIAL DE CONSUMO .....	214
8.4	DESPESAS DA RUBRICA DE MATERIAL PERMANENTE E EQUIPAMENTOS .....	215
8.5	DESPESAS DA RUBRICA DE SERVIÇO DE TERCEIROS.....	215
8.6	DESPESAS DA RUBRICA DE VIAGENS E DIÁRIAS.....	216
8.6	DESPESAS DA RUBRICA OUTROS .....	217
8.7	RELAÇÃO DAS NOTAS FISCAIS EMITIDAS PELO INSTITUTO GNARUS E IATI .....	219
<b>9.</b>	<b>Razoabilidade dos Custos .....</b>	<b>221</b>
9.1	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	221
<b>10.</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>224</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>229</b>
11.1	PEDIDO DE PATENTE DE INVENÇÃO JUNTO AO INPI .....	229
11.2	SLIDES DO PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA .....	270
11.3	ARTIGO PUBLICADO EM REVISTA INTERNACIONAL.....	326
11.4	ARTIGO PUBLICADO EM CONGRESSOEVISTA INTERNACIONAL .....	334
11.5	TESE DE DOUTORADO (PÁGINAS INICIAIS) .....	341
11.6	NOTAS FISCAIS DA RUBRICA MATERIAL DE CONSUMO .....	357
11.7	NOTAS FISCAIS DA RUBRICA MATERIAL PERMANENTE E EQUIPAMENTOS.....	368
11.8	NOTAS FISCAIS DA RUBRICA SERVIÇOS DE TERCEIROS.....	372
11.9	NOTAS FISCAIS DA RUBRICA VIAGENS E DIÁRIAS.....	376
11.10	NOTAS FISCAIS DA RUBRICA OUTROS .....	402
11.11	NOTAS FISCAIS EMITIDAS PELO INSTITUTO GNARUS .....	410
11.12	NOTAS FISCAIS EMITIDAS PELO IATI .....	439