

## PROJETO CONSGRID: RESUMO E PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

Este relatório apresenta uma descrição dos trabalhos desenvolvidos dentro da atividade CONSGRID, no âmbito do Projeto META, a qual tinha como objetivo a elaboração do projeto básico do laboratório de Redes Elétricas Inteligentes do CEPEL.

Neste documento são apresentados os principais conteúdos dos relatórios técnicos desenvolvidos pelo Instituto Fraunhofer dentro desta atividade, executados com o financiamento do Contrato de Empréstimo n.º 8095-BR, formalizado entre a República Federativa do Brasil e o Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento - BIRD, a 1 de março de 2012.

**Rio de Janeiro  
Setembro/2017**



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

## Sumário

1. Introdução .....	2
1.1 Contextualização .....	2
1.2 Projeto META - Consgrid .....	4
2. Produto #1- Estudo dos principais laboratórios existentes e das normas técnicas relevantes da rede elétrica inteligente.....	6
2.1 Pesquisa dos laboratórios de REI existentes.....	6
2.1 Escopo do laboratório do CEPEL .....	18
2.2 Outros temas do produto #1 .....	19
3. Produto #2 - Âmbito de atividades e características básicas do laboratório de redes elétricas inteligentes do CEPEL .....	21
3.1 Introdução .....	21
3.2 Descrição do Primeiro Workshop .....	21
4. Produto #3- Esquema básico do laboratório .....	24
4.1 Especificação dos requisitos do laboratório .....	24
4.1.1 Área de aplicação 1: Ensaios de certificação e referência .....	24
4.1.2 Área de aplicação 2: Verificação e ensaios de protocolos e padrões de comunicação .....	28
4.1.3 Área de aplicação 3a: Pesquisa experimental Hardware-in-the-loop .....	30
4.1.4 Área de aplicação 3b: Bancada experimental para ensaios de sistemas híbridos .....	32
4.1.5 Interfaces elétricas entre as áreas de aplicação .....	34
4.2 Outros temas do produto #3 .....	34
5. Produto #4 - Especificação detalhada do laboratório .....	35
5.1 Introdução .....	35
5.2 Situação Inicial .....	36
5.3 Especificação detalhada de cada Área de Aplicação.....	36
6. Produto #5 – Relatório com as especificações detalhadas dos principais equipamentos .....	38
7. Considerações finais.....	41

## **1. Introdução**

### **1.1 Contextualização**

As redes elétricas inteligentes (REI) ou (“smart-grids”) são definidas pela plataforma europeia de smart-grids como redes elétricas que integram de forma eficiente os agentes conectados à mesma: consumidores, distribuidores, transmissores e geradores e alguns que exercem a função de consumo e de geração. Esta integração é feita de maneira a permitir, através do uso de diversas tecnologias, uma maior economicidade de recursos, sustentabilidade para o meio ambiente, qualidade e segurança nos serviços prestados e nos produtos resultantes do fornecimento de energia elétrica.

As REI representam uma oportunidade de enfrentar os desafios relacionados ao aquecimento global e suas consequências, pois permitem integrar de forma eficiente diversos tipos de energias renováveis. Nestas redes são agregadas as principais inovações tecnológicas nas áreas de medição, telecomunicações, tecnologia da informação e automação, permitindo que a operação do sistema elétrico de distribuição torna-se mais moderna, eficiente e complexa. Na prática, a nova rede permitirá ao cliente um maior controle do consumo de energia e à empresa acessar o sistema à distância, identificando e solucionando processos operacionais.

Conforme indicado pela experiência internacional, as tecnologias de informações e comunicações (TIC) permitem um maior grau de segurança e flexibilidade na operação de sistemas elétricos de grande porte, apoiando, de forma aperfeiçoada, na identificação de potenciais situações de risco para a segurança dinâmica do sistema, sua prevenção e na condução de rápidas ações corretivas da operação. De maneira a se atingir estes objetivos nas redes elétricas de distribuição, diversas iniciativas de grandes mudanças tanto do ponto de vista tecnológico, como também comercial (promoção de novas oportunidades de negócios e serviços) estão sendo observadas em todo o mundo. Exemplos podem ser citados como a conexão de medidores de energia inteligentes, que permitem um grande número de funções de monitoramento e de comando dentro das unidades consumidoras, reconfiguração das redes de forma rápida e automática após algum desligamento devido a curtos-circuitos, melhoria no combate a perdas não técnicas na distribuição, possibilidade de adequação da demanda dos consumidores às características das redes através de gerenciamento adequado, entre outras funções.

Dentre os novos tipos de cargas se destacam às que fazem uso de inversores de frequência com conexão direta ao sistema da distribuidora de maneira que alguns tipos de controles podem ser realizados de forma a conjugar benefícios para os consumidores sem encarecer os investimentos a serem realizados por parte das distribuidoras. Os sistemas baseados em inversores oferecem amplas aplicações e

diversas possibilidades de conexão sendo citadas as seguintes: sistemas fotovoltaicos incluindo ou não baterias para armazenamento de energia, conjunto turbina-gerador eólico, carregadores de diversos tipos de baterias ou outras fontes de armazenamento, o que faz parte do cardápio das redes elétricas inteligentes.

Em vista do grande interesse internacional na aplicação das redes elétricas inteligentes, que tem proporcionado vários avanços em termos tecnológicos e de metodologias para seu uso em sistemas elétricos, há um constante trabalho laboratorial e de pesquisa que contribui na definição, verificação e análise de um conjunto mais efetivo de especificações e normas técnicas para os equipamentos conectados nestas REIs; para os quais infraestruturas laboratoriais de ensaios e pesquisa experimental são fundamentais.

No Brasil, diversas iniciativas têm sido realizadas ao longo da última década para se estudar, verificar e quantificar os benefícios das REIs associados aos impactos econômicos, pesquisando as principais tecnologias e suas aplicações. Vários livros foram escritos sobre o assunto, dezenas ou centenas de projetos de pesquisa e desenvolvimento têm sido executados, vários grupos de trabalho com características multidisciplinares têm sido criados, tanto por parte de órgãos ligados ao governo como por iniciativas de instituições ligadas às distribuidoras de energia, fabricantes de equipamentos, instituições de ensino e pesquisa. Muitos destes estudos e projetos continuam em andamento com destaque aos relacionados à demonstração de redes elétricas inteligentes em uma determinada sub-região da área de concessão da distribuidora de forma a se verificar o impacto tanto do ponto de vista qualitativo como quantitativo. Algumas iniciativas já estão sendo tomadas como, por exemplo, o advento da integração de medidores inteligentes principalmente nos consumidores que têm consumo expressivo. O uso cada vez maior de inversores de frequência para conexão de energias renováveis à rede com destaque aos aerogeradores em parques eólicos e aos painéis fotovoltaicos a serem colocados no telhado das edificações ou integrando uma instalação de maior porte como as usinas fotovoltaicas.

Por seu lado, o CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) vem acumulando experiência no assunto, mediante estudos teóricos sobre o funcionamento e as aplicações das redes elétricas inteligentes. Participou junto com a Eletrobras do projeto de demonstração de redes elétricas na ilha fluvial de Parintins no Amazonas tendo participado ativamente nas provas de conceito do Sistema Avançado de Medição (AMI), na especificação de painéis fotovoltaicos e inversores de frequência e nos estudos de fluxo de potência envolvendo a operação da distribuição em presença da geração distribuída de natureza fotovoltaica. Além disto, há alguns anos participa de campanhas de medição de qualidade da energia elétrica em aerogeradores de parques eólicos e em subestações que suprem os mesmos. Participa também de diversos grupos de estudos que discutem os problemas das distorções harmônicas em

presença de conversores e inversores ligados a fontes alternativas. Por último destaca-se seu papel no Programa de Desenvolvimento de Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) do MME, onde contribuiu na análise teórica dos impactos técnicos que um alto grau de penetração de geração distribuída ocasionaria nos sistemas de distribuição.

## **1.2 Projeto META - Consgrid**

Face aos requisitos e novos desafios concernentes ao contexto das Redes Elétricas Inteligentes, o CEPEL identificou a necessidade da criação de uma infraestrutura laboratorial adequada para suportar as atividades de pesquisa, bem como aquelas referentes à prestação de serviços técnicos de alta complexidade. O foco principal deste futuro laboratório está nas aplicações voltadas para as redes de distribuição verificando novos conceitos e produtos, realizando pesquisa experimental, propondo novos requisitos/características para estes produtos e realização de provas de conceito.

Neste sentido, o CEPEL, na qualidade de centro de referência no setor elétrico brasileiro, procurou contratar uma empresa de consultoria para ajudá-lo a elaborar um projeto para seu Laboratório de Redes Inteligentes. Tais esforços foram direcionados ao projeto META do MME com recursos do Banco Mundial. Após diversas fases e contando com o apoio do MME, o CEPEL efetuou a seleção da empresa consultora através de processo seletivo internacional baseado em qualidade e custo (SBQC). A empresa de consultoria vencedora foi FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT zur FÖRDERUNG der AngewandtenForschung e. V. da Alemanha, o contrato foi assinado em 10/05/2016. As atividades previstas deveriam ser executadas entre 01/06/2016 e 30/06/2017.

Nove instituições com sede na Europa e América do Norte responderam à consulta do CEPEL manifestando interesse em participar do processo seletivo, compondo a chamada "lista longa". O passo seguinte constou da preparação da chamada "lista curta" constituída pelas instituições cuja "Manifestação de Interesse" atendessem aos requisitos mínimos de expertise exigidos. Seis instituições foram selecionadas

A seguir o CEPEL preparou a "Solicitação de Proposta" que foi enviada para as seis instituições. As propostas foram submetidas em duas partes: proposta técnica e proposta financeira, que foram enviadas em envelopes separados e lacrados. A proposta financeira só foi aberta nos casos em que a proposta técnica correspondente atingiu a pontuação mínima exigida. Como resultado deste processo, a proposta vencedora foi a do Instituto Fraunhofer da Alemanha.

A proposta técnica do Instituto Fraunhofer incluiu a elaboração de cinco produtos que constavam de relatórios escritos no idioma inglês com tradução para o português. Estavam também previstos uma videoconferência para o início do projeto, três

workshops a serem realizados no CEPEL e uma teleconferência para o fechamento do projeto. Além disso, durante a realização do projeto foram previstas e realizadas diversas teleconferências necessárias para a interação entre as equipes do Instituto Fraunhofer e do CEPEL.

Os capítulos a seguir apresentam alguns detalhes de cada um dos cinco produtos desenvolvidos ao longo do projeto.

## **2. Produto #1- Estudo dos principais laboratórios existentes e das normas técnicas relevantes da rede elétrica inteligente**

Neste primeiro relatório foi realizado um levantamento dos principais laboratórios de redes elétricas inteligentes existentes ao redor do mundo, assim como das principais normas técnicas relacionadas. O conteúdo do relatório foi o seguinte:

- Visão geral de laboratórios de redes elétricas a nível mundial e descrição de alguns laboratórios selecionados.
- Descrição de algumas abordagens internacionais para procedimentos de certificação.
- Descrição das funcionalidades a serem consideradas para os testes de certificação e de referência para interconexão de redes.
- Padrões e protocolos de comunicação no contexto das redes elétricas inteligentes.
- Exemplos de instalações para teste de verificação de operação conjunta no contexto das REI.

### **2.1 Pesquisa dos laboratórios de REI existentes**

O relatório apresentou um catálogo de laboratórios de pesquisa relevantes no contexto das REI. A Figura 1 mostra a distribuição global dos laboratórios considerados dentro deste estudo. A Tabela 1 correlaciona estes laboratórios com as suas principais áreas de pesquisa.

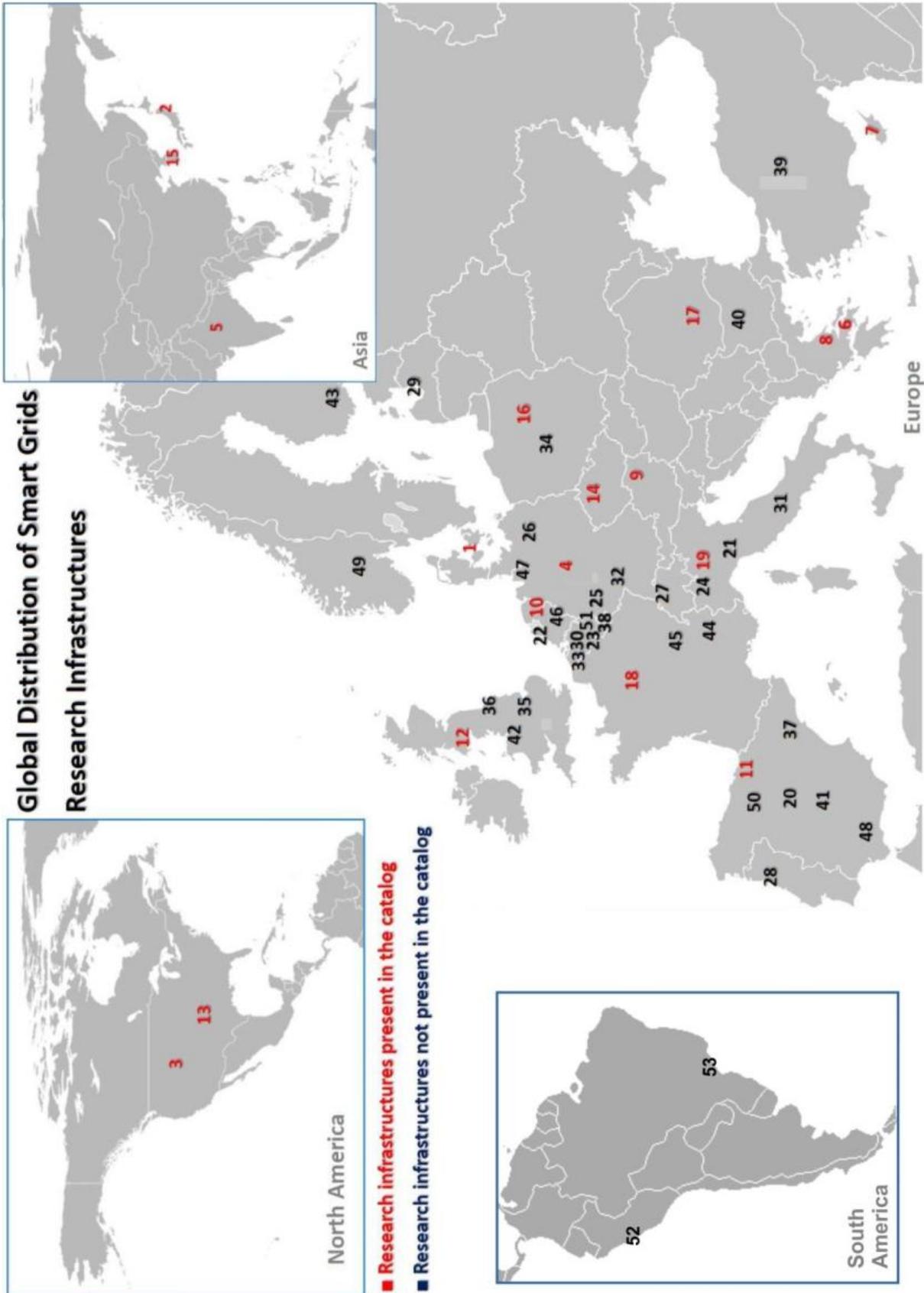


Figura 1 – Distribuição geográfica das infraestruturas de pesquisa em REI.

**Tabela 1 – Áreas de pesquisa cobertas pelos laboratórios da Figura 1.**

No.	Instituição	Alta tensão e alta potência	Modelagem e simulação de sistema de potência	Automação	Eletrônica de Potência	Microredes	Qualidade de Energia/EMC	Sistemas Fotovoltaicos	Sistemas Eólicos	Sistemas de Armazenamento	Sistemas de célula combustível	Sistemas de biomassa/ Cogeração	Mobilidade elétrica	Segurança cibernética	Comunicações / Medição Inteligente	Prédios/casas inteligentes	Resposta da Demanda	Integração de DER	Soluções da rede de distribuição	Educação/ Treinamento	Hardware-in-the-Loop	Co-simulação
1	Technical University of Denmark (DTU) [DK]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	Fukushima Renewable Energy Institute, AIST (FREAI) [JP]		✓			✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		✓				
3	National Renewable Energy Laboratory (NREL) [US]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	Fraunhofer Institute of Wind Energy and Energy Systems Technology (IWES) [DE]		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
5	Central Power Research Institute (CPRI) [IN]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
6	National Technical University of Athens (NTUA-ICCS) [EL]		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	
7	Research Centre for Sustainable Energy (FOSS) [CY]		✓		✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓		✓		✓		
8	Centre for Renewable Energy Sources and Saving (CRESS) [EL]		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓							✓	✓			
9	Austrian Institute of Technology (AIT) [AT]	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	DNV GL [NL]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

No.	Instituição	Alta tensão e alta potência	Modelagem e simulação de sistema de potência	Automação	Eletrônica de Potência	Microredes	Qualidade de Energia/EMC	Sistemas Fotovoltaicos	Sistemas Eólicos	Sistemas de Armazenamento	Sistemas de célula combustível	Sistemas de biomassa/ Cogeração	Mobilidade elétrica	Segurança cibernética	Comunicações / Medição Inteligente	Prédios/casas inteligentes	Resposta da Demanda	Integração de DER	Soluções da rede de distribuição	Educação/ Treinamento	Hardware-in-the-Loop	Co-simulação
11	TECNALIA [ES]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12	University of Strathclyde (UST) [UK]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
13	Sandia National Laboratories (Sandia) [US]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	Brno University of Technology [CZ]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15	Korea Electrotechnology Research Institute (KERI) [KR]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	Institute of Power Engineering (IEN) [PL]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17	Politehnica University of Bucharest (UPB) [RO]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	Électricité de France (EDF) [FR]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
19	Ricerca sul Sistema Energetico (RSE) [IT]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
20	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) [ES]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

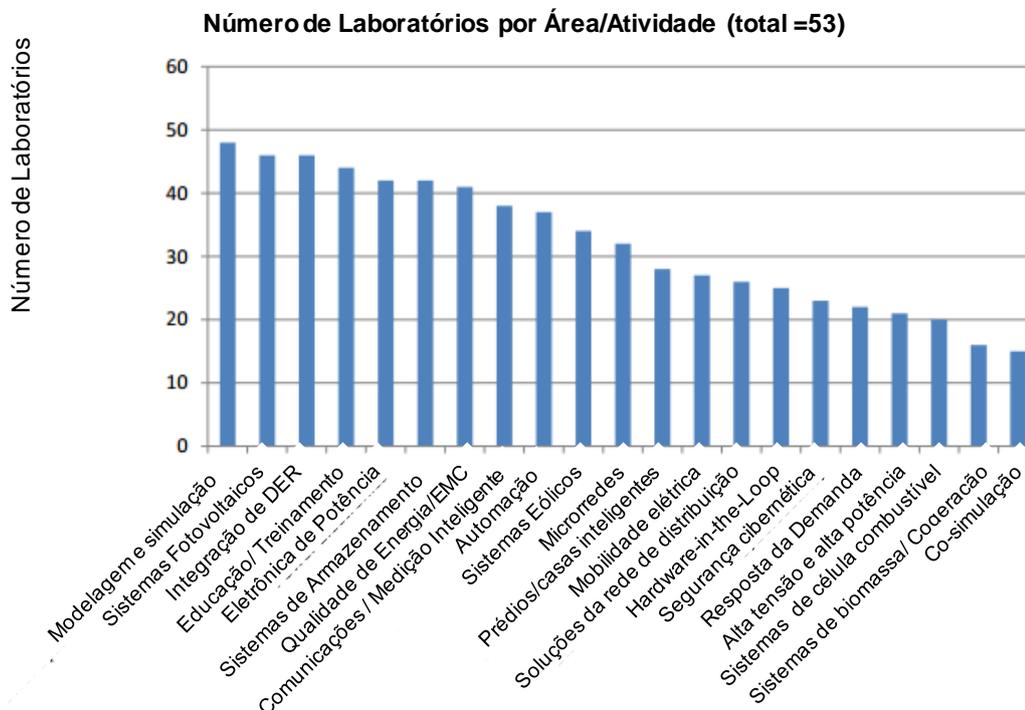
No.	Instituição	Alta tensão e alta potência	Modelagem e simulação de sistema de potência	Automação	Eletrônica de Potência	Microrredes	Qualidade de Energia/EMC	Sistemas Fotovoltaicos	Sistemas Eólicos	Sistemas de Armazenamento	Sistemas de célula combustível	Sistemas de biomassa/ Cogeração	Mobilidade elétrica	Segurança cibernética	Comunicações / Medição Inteligente	Prédios/casas inteligentes	Resposta da Demanda	Integração de DER	Soluções da rede de distribuição	Educação/ Treinamento	Hardware-in-the-Loop	Co-simulação
21	Enel [IT]		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
22	Energy Research Center of the Netherlands (ECN) [NL]		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓						✓				
23	EnergyVille (BE): VITO & KU Leuven		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓		✓		✓	✓	
24	European Commission Joint Research Centre (JRC) [IT]		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		
25	Forschungszentrum Juelich [DE]		✓				✓	✓		✓	✓				✓					✓		
26	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH (HZB) [DE]						✓	✓		✓								✓		✓		
27	University of Applied Sciences Western Switzerland (HES-SO) [CH]	✓	✓	✓	✓		✓	✓					✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓
28	Institute for Systems and Computer Engineering, Technology and Science (INESC Porto) [PT]		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

No.	Instituição	Alta tensão e alta potência	Modelagem e simulação de sistema de potência	Automação	Eletrônica de Potência	Microrredes	Qualidade de Energia/EMC	Sistemas Fotovoltaicos	Sistemas Eólicos	Sistemas de Armazenamento	Sistemas de célula combustível	Sistemas de biomassa/ Cogeração	Mobilidade elétrica	Segurança cibernética	Comunicações / Medição Inteligente	Prédios/casas inteligentes	Resposta da Demanda	Integração de DER	Soluções da rede de distribuição	Educação/ Treinamento	Hardware-in-the-Loop	Co-simulação
29	Institute of Physical Energetics (IPE) [LV]		√		√		√	√	√			√						√		√		
30	Interuniversitair Micro-Electronica Centrum (imec) [BE]				√			√		√										√		
31	Energy and sustainable economic development (ENEA) [IT]		√	√				√		√	√	√						√		√		
32	Karlsruhe Institute of Technology (KIT) [DE]	√	√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
33	LABORELEC [BE]		√	√			√	√	√			√						√	√	√		
34	Lodz University of Technology, Institute of Electrical Power [PL]	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
35	Loughborough University - Centre for Renewable Energy Systems Technology (CREST) [UK]		√				√	√	√	√					√		√	√	√	√	√	√
36	National Renewable Energy Centre [UK]		√		√			√	√	√		√				√		√		√		
37	Renewable Electrical Energy Systems Research Center (SEER) [ES]		√	√	√	√	√	√	√	√	√		√		√	√		√		√	√	

No.	Instituição	Alta tensão e alta potência	Modelagem e simulação de sistema de potência	Automação	Eletrônica de Potência	Microrredes	Qualidade de Energia/EMC	Sistemas Fotovoltaicos	Sistemas Eólicos	Sistemas de Armazenamento	Sistemas de célula combustível	Sistemas de biomassa/ Cogeração	Mobilidade elétrica	Segurança cibernética	Comunicações / Medição Inteligente	Prédios/casas inteligentes	Resposta da Demanda	Integração de DER Soluções da rede de distribuição	Educação/ Treinamento	Hardware-in-the-Loop	Co-simulação	
38	Interdisciplinary Centre for Security, Reliability and Trust (SnT) [LU]				✓			✓		✓			✓	✓	✓	✓				✓		
39	The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) [TR]		✓	✓	✓		✓			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓		
40	Technical University of Sofia - Research & Development Sector (TUS-RDS) [BG]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓			✓		✓		
41	Universidad Politécnica de Madrid, Instituto de Energía Solar (IES-UPM) [ES]				✓			✓										✓		✓		
42	University of Manchester [UK]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						✓			✓		✓	✓	✓
43	Technical Research Centre of Finland (VTT) [FI]		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓			✓		✓	✓	✓
44	G2Elab [FR]		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓		✓		✓	✓	
45	The National Solar Energy Institute (CEA-INES) [FR]		✓		✓	✓		✓		✓			✓	✓		✓		✓		✓		

No.	Instituição	Alta tensão e alta potência	Modelagem e simulação de sistema de potência	Automação	Eletrônica de Potência	Microredes	Qualidade de Energia/EMC	Sistemas Fotovoltaicos	Sistemas Eólicos	Sistemas de Armazenamento	Sistemas de célula combustível	Sistemas de biomassa/ Cogeração	Mobilidade elétrica	Segurança cibernética	Comunicações / Medição Inteligente	Prédios/casas inteligentes	Resposta da Demanda	Integração de DER	Soluções da rede de distribuição	Educação/ Treinamento	Hardware-in-the-Loop	Co-simulação	
46	Delft Institute of Technology (TU Delft) [NL]		✓		✓		✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
47	Institut für Informatik (OFFIS) [DE]		✓	✓										✓	✓					✓			
48	ORMAZABAL Corporate Technology A.I.E. (ORMAZABAL) [ES]	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓			✓	✓				
49	SINTEF [NO]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓		
50	University of Seville - Electrical Energy Systems Group (EES-US group) [ES]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						✓		✓		✓			
51	Electrotechnical Research and Power Quality Facility of Ghent University (Lemcko) [BE]		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓		✓		✓			
52	Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) [PE]																			✓			
53	Universidade de São Paulo (USP) [BR]		✓	✓			✓								✓				✓	✓	✓		

Um resumo estatístico das principais competências dos laboratórios considerados nesta pesquisa é apresentado a seguir:



**Figura 2 – Principais competências dos laboratórios considerados na pesquisa.**

Para os primeiros 20 laboratórios da Tabela 1 (destacados com cor vermelha na Figura 1) foi realizada uma descrição mais detalhada da infraestrutura e atividades desenvolvidas. Com o objetivo de exemplificar esta descrição, a seguir é mostrado detalhamento para o caso do laboratório da Fraunhofer IWES (informação que permite destacar a experiência dos consultores na área de REI).

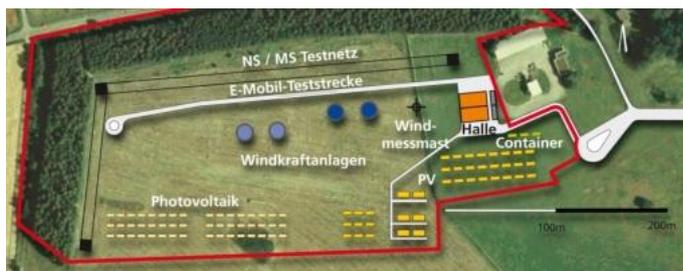
**Tabela 2 – Descrição do laboratório Fraunhofer IWES em Kassel, Alemanha.**

<p>A atividade do Instituto Fraunhofer de Energia Eólica e Tecnologia de Sistemas de Energia - IWES Alemanha, concentra-se em duas unidades: uma de energia eólica (localizada no Noroeste da Alemanha) e outra de tecnologia de sistemas de energia (localizada em Kassel), tendo sido fundado em 2009, a partir do antigo Centro Fraunhofer de Energia Eólica e Tecnologia Marítima (CMWT) em Bremerhaven, bem como do antigo Instituto de Tecnologia de Sistemas de Energia Solar (ISET) em Kassel.</p> <p>O IWES em Kassel concentra-se nas tecnologias de sistemas de energia para a integração no sistema da energia elétrica das energias renováveis eólica, solar e de</p>	<p><b>Website:</b> www.energiesystemtechnik.iwes.fraunhofer.de</p> <p><b>Temas de investigação:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes elétricas</li> <li>• Tecnologia de dispositivos e sistemas</li> <li>• Engenharia de processos energéticos</li> <li>• Informática da energia</li> <li>• Meteorologia energética e recursos renováveis</li> <li>• Economia da energia e <i>design</i> de sistemas</li> </ul> <p><b>Financiamento:</b> Público e Privado</p> <p><b>Gestão da Qualidade:</b> ISO 17025</p> <p><b>Acreditação e Certificação:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidade Eletromagnética (EN 61000-6-1 a -6-4)</li> </ul>
--	---

<p>biomassa. O trabalho do instituto encontra-se atualmente centrado na realização da transformação do sistema energético alemão «Energiewende».</p> <p>Cerca de 300 investigadores, conduzidos pelo Prof. Dr. Clemens Hoffmann, trabalham atualmente em Kassel. O volume de negócios é de cerca de 20 milhões de euros por ano.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diretriz Técnica TR3 da FGW [Fördergesellschaft Windenergieundandere Erneuerbare Energien]</li> </ul> <p><b>Membro de:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• DERlabe.V. [European Distributed Energy Resources Laboratoire.V.]</li> <li>• IEA [International Energy Agency] ISGAN [International Smart Grid Action Network] Anexo 5 – SIRFN [Smart Grid International Research Facility Network]</li> <li>• EERA [European Energy Research Alliance]</li> <li>• IEEE [Institute of Electrical and Electronics Engineers]</li> <li>• CIGRÉ [Conseil International des Grands Réseaux Électriques (International Council on Large Electric Systems)]</li> <li>• VDE e.V. [Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnike. V]</li> <li>• CEN / CENELEC</li> </ul>
--	--

**Infraestrutura relevante**

SysTec



Na SysTec, o IWES Fraunhofer desenvolve e testa novos equipamentos e estratégias de operação para redes elétricas inteligentes de baixa e média tensão. Além disso, investiga a integração de redes elétricas e a ligação das fontes de energia renováveis, bem como das tecnologias de armazenamento de energia. Essas investigações são efetuadas em condições controladas e realistas.

A SysTec conta com um grande terreno ao ar livre, com cerca de 80 000 m<sup>2</sup>, dedicado a testes de energia solar e eólica, dentro de uma rede de distribuição flexível e configurável (baixa e média tensão). Além disso, a SysTec é composta por outros dois laboratórios: O SysTec PNI e o SysTec TPE.

SysTec PNI [Prüflabor Netzintegration (Testlab Grid Integration, SysTec, Fraunhofer IWES)]

Conversores de baixa e média tensão e equipamentos da rede de distribuição são testados no SysTec PNI. Além disso, há a possibilidade de desenvolver e testar as propriedades elétricas e, em particular, os serviços auxiliares/complementares de geradores de distribuição no intervalo de potência até 6 MVA para média tensão e de 1,25 MVA para baixa tensão. Os seguintes testes são

**Funcionários do Laboratório:**

- 2 técnicos
- 4 Engenheiros

**Faixa de potência:**

- Baixa Tensão 1,25 MVA
- Média Tensão 6 MVA

**Níveis de tensão:**

- Baixa Tensão (BT) (254 - 690 Volts)
- Média Tensão (MT) (20 kV)

**Área:** 80 000 m<sup>2</sup>

**Foco do Laboratório:**

- Redes elétricas inteligentes e mobilidade elétrica.
- Código e requisitos da rede elétrica
- Integração da rede elétrica
- Veículos elétricos
- BIPV
- Armazenamento de energia
- Qualidade da Energia
- Sistema híbrido
- Micro-rede

**Normas:**

- EN 50530
- EN 62109-1/-2
- Norma científica norte-americana UL 1741
- EN 61427

realizados de acordo com a diretriz técnica TR3 [Technische Richtlinie] da FGW [Fördergesellschaft Windenergieundandere Erneuerbare Energien]: controle de potência ativa, controle de potência reativa, capacidade Fault-Ride-Through/ suporte de rede por alimentação de corrente reativa.

O barramento de teste para Baixa Tensão (BT) é dividida em 2 ramais para permitir investigações de reguladores de linha (controlador Volt/VAR). A técnica de controle secundário (relés de proteção e controladores) das unidades geradoras ou outros ativos da rede podem ser testados na baía de teste de média tensão. Além disso, há um contentor de teste móvel (unidade de teste de LVRT [Low-Voltage-Ride-Through]) capaz de investigar a capacidade de fault-ride-through de geradores/centrais. Este equipamento produz afundamentos de tensão de curta duração na média tensão do equipamento sob teste sem perturbar a rede elétrica pública. A unidade de testes de LVRT [Low-Voltage-Ride-Through] pode gerar falhas trifásicas, bem como bifásicas.

SysTec TPE [Test- und Prüfzentrum für Elektromobilität (Testlab Electromobility, SysTec, Fraunhofer IWES)]

A integração de veículos elétricos e dispositivos de armazenamento de energia é feita no SysTec TPE [Test- und Prüfzentrum für Elektromobilität (Testlab Electromobility, SysTec, Fraunhofer IWES)]. Este laboratório está equipado com simuladores de hardware para baterias, controladores de carregamento bidirecionais, colunas de carga e simulador de rede trifásico com 270 kVA. As rotas podem ser simuladas por meio de um banco de testes dinâmométrico.

Um terceiro laboratório para testes de máquinas elétricas e drives encontra-se atualmente em desenvolvimento. Assim, a integração de drives elétricos e suas interações com a rede elétrica podem ser investigadas no futuro.

Equipamentos:

- Fotovoltaica
- Fotovoltaica Integrada a Edificações (BIPV)
- Conversor(es) de energia eólica [Planeado]
- Cogeração de Energia (CHP) com ligação de gás natural (2,5 MW)
- Simulador de rede CA (100-900 V<sub>AC</sub>, 45-65 Hz, 1 MVA)
- Fontes CC (configuração modular, máx. 3 000 A<sub>DC</sub>, 1 000 V<sub>DC</sub>, 3 MW)
- Cargas programáveis (Resistiva: 3 x 200 kW, Indutiva: 3 x 200 kVAr, capacitiva: 3 x 200 kVAr, passos: 1 kW ou kVAr)
- Dinamómetro de chassis
- Câmara de temperatura
- Controladores bidirecionais de carregamento

- EN 62509

**Cumprimento do código da rede elétrica:**

- VDE-AR-N 4105
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW)
- Itália: Electrotechnical Italian Committee (CEI) CEI-0-16, CEI 0-21, CEI C.1058
- EUA: American National Standards Institute C62.41; Protocolo de Desempenho do Inversor do Clean Energy Council (USA CEC); Federal Communications Commission (EUA) parte 15 Classe A; Norma científica norte-americana UL 1741
- Áustria: Norma austríaca OEVE [Österreichischer Verband für Elektrotechnik] /OENORM E 8001-4-712
- Bélgica: C10/11
- Espanha: Normas espanholas RD 436/2004; RD 1663/2000; PVVC; P.O. 12.3

**Destques:**

- [www.grid-compliance-testing.de/](http://www.grid-compliance-testing.de/)
- Rede elétrica de teste de tensão média
  - 2 estações de Média Tensão (MT) ligadas com diferentes comprimentos de linha (20 e 500 m)
  - Inversor fotovoltaico, gerador a diesel, sistema de armazenamento, carga elétrica de teste e pequena turbina eólica (planeado)
  - Emulação de hardware da linha de média tensão
- Rede elétrica de teste de baixa tensão
  - 5 segmentos de linha com diferentes possibilidades de ligação
- 3 casas de teste
  - Equipamento fotovoltaico integrado no telhado, armazenamento elétrico, bomba de calor, diferentes cargas domésticas
  - Equipamento de medição
  - 5 segmentos de linha com

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emulador de bateria virtual</li> <li>• Simulador de rede trifásica (270 kVA)</li> </ul> <p><u>Configuração PHIL/CHIL:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Simulador em Tempo Real:</i> OPAL RT</li> <li>• <i>Amplificadores de potência:</i> 90 kVA Ametek RS90</li> </ul> <p><u>Ferramentas de simulação e análise:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MATLAB/Simulink, PLECS</li> <li>• Power Factory</li> <li>• Ansys/Ansoft</li> <li>• Pacote CST Studio</li> <li>• CONCEPT II</li> <li>• COMSOL Multiphysics</li> </ul> <p><u>Testes realizados:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medições sobre a qualidade da rede elétrica e análises de desempenho</li> <li>• Exame de centrais geradoras de acordo com diferentes códigos de rede</li> <li>• Exame metrológico de desempenho dos dispositivos de proteção na rede de distribuição</li> <li>• Determinação dos rendimentos energéticos e caracterização abrangente dos módulos e sistemas fotovoltaicos em condições operacionais realistas</li> <li>• Sistemas de testes para áreas e laboratórios (como por exemplo, sistemas híbridos) e componentes individuais (como por exemplo, geradores de energia eólica), bem como testes com emulações de hardware em perfis operacionais definidos</li> <li>• Investigações e exames completos com vista à integração da rede elétrica e da gestão da energia de veículos elétricos (EV)</li> <li>• Investigações do funcionamento de Veículos Elétricos, em combinação com baterias virtuais</li> <li>• Simulações em tempo real da rede de distribuição, para testar a integração de geradores distribuídos, de veículos elétricos e de armazenamento de energia na rede elétrica. Isto se refere ao teste de um componente de hardware (gerador distribuído, tal como um inversor fotovoltaico, conversor eólico, unidade de cogeração de energia, veículo elétrico, sistema de armazenamento) com uma rede elétrica simulada (ou seja, <i>power hardware in the loop</i>).</li> <li>• Investigações de estratégias de desempenho operacional para centrais individuais e sistemas híbridos</li> <li>• Investigações de sistemas de transferência de energia indutiva</li> </ul>	<p>diferentes possibilidades de ligação</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SysTec PNI [Prüflabor Netzintegration (Testlab Grid Integration, SysTec, Fraunhofer IWES)]             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fontes de CC (3 MW)</li> <li>○ Simulador de rede CA (1 MVA)</li> <li>○ Carga programável resistiva, capacitiva e indutiva (RLC [Resistor, Indutor, Capacitor]) (600 kW/kVAr)</li> <li>○ Equipamento de teste LVRT [Low-Voltage-Ride-Through] (6 MVA)</li> </ul> </li> </ul>
--	--

**Destaques da Infraestrutura de Pesquisa**

**Recentes Projetos Relevantes**

- [NETZ:KRAFT](#): (Jan. 2015 – Jun. 2018)  
O projeto NETZ:KRAFT visa acelerar o processo de restauração (no caso de apagão) da rede elétrica do futuro, com alta percentagem de recursos de distribuição de energia, bem como definir o papel dos recursos energéticos renováveis neste processo.

- DEA-Stabil [Estabilidade de Recursos Energéticos Descentralizados]: (Abr. 2013 – Mar. 2016)  
A Estabilidade de Recursos Energéticos Descentralizados visou determinar, avaliar e assegurar a estabilidade da rede elétrica de integração alemã para cenários futuros. O projeto visa aumentar a contribuição de recursos de energia renovável distribuída e manter a estabilidade da rede elétrica.
- Transstabil-EE: [Energia Renovável com Trans-estabilização] (Abr. 2015 – Mar. 2018)  
O principal objetivo do projeto é desenvolver um método de controle para recursos e cargas de geradores de energia renovável, de forma a garantir uma rede estável, mesmo em proporções muito elevadas de energia renovável.

#### **Recentes publicações selecionadas**

- D. Geibel et al., "Active intelligent distribution networks — Coordinated voltage regulation methods for networks with high share of decentralised generation," Integration of Renewables into the Distribution Grid, CIRED [Congrès International des Réseaux Électriques de Distribution (International Conference on Electricity Distribution)] 2012 Workshop, Lisboa, 2012, pp. 1-4.
- Arnold, G., Craciun, D., Heckmann, W., & Schäfer, N. Utility-scale PV installations and their challenges in grid-code compliance testing. Armazenamento e redes elétricas: Technical Briefing, PV-Tech Power Volume 2, abril de 2015, pp. 74-78.

### **2.1 Escopo do laboratório do CEPEL**

A partir da informação coletada na pesquisa dos laboratórios de REI mundiais, foram identificadas as seguintes principais atividades:

- Testes de Acreditação e Certificação: Testes de dispositivos para conformidade com diretrizes e normas.
- Pesquisa e Desenvolvimento industrial (P&D): Atividades de apoio à investigação e ao desenvolvimento.
- P&D público: Projetos e estudos de investigação financiados publicamente.
- Plataforma de pesquisa /Programas de Intercâmbio: Oportunidade para que outras equipes de investigação utilizem a infraestrutura laboratorial.
- Formação e apresentação em salões de exposição: Formação sobre as funcionalidades das redes elétricas inteligentes, como por exemplo, para funcionários e salão de exposição para novos produtos das REI.
- Desenvolvimento de código das redes elétricas: Estudos e testes relacionados com a alteração dos códigos de rede elétrica.

Assim sendo, a definição do objetivo do laboratório (feita no produto #3) consiste em definir a largura de cada uma das fatias da Figura 3.



**Figura 3 –Principais atividades abrangidas por laboratórios de REI**

## **2.2 Outros temas do produto #1**

O relatório discutiu também os seguintes assuntos:

- Práticas de certificação na Alemanha, Japão e Estados Unidos para os geradores conectados na rede elétrica em baixa e media tensão.
- Exemplo de projetos focados em verificar de forma experimental a operação em conjunto de equipamentos no contexto de REI. Estes ensaios são fundamentais para garantir funcionalidades avançadas e interoperabilidade no contexto das REI. Uma vez que até agora não existem procedimentos de ensaio normalizados, esta área representa atualmente um campo de pesquisa.
- Análise dos testes de conformidade requeridos pelos códigos de rede elétrica em países com alto grau de penetração de geração distribuída (Alemanha, Itália, Holanda, Espanha e EUA), assim como os requisitos das normas internacionais relevantes IEC e CEN/CENELEC.

Foi verificado que os principais requisitos exigidos pelas normas técnicas para os geradores conectados na rede são: a) qualidade de energia elétrica, b) controle de potência ativa, c) controle de potência reativa, d) condições de conexão, e) proteções, f) anti-ilhamento, g) capacidade de suportabilidade diante afundamentos de tensão (FRT –Fault Ride Through).

- Normas e protocolos de comunicação para interoperabilidade dos componentes das redes elétricas inteligentes e grupos de trabalho internacionais responsáveis pelo desenvolvimento de protocolos nesta área.

Além de o modelo SGAM, desenvolvido pelo CEN, CENELEC e ETSI, de arquitetura de Rede Elétrica Inteligente, nesta seção do laboratório foram

descritas as principais características das normas: i) IEC 60870 – Equipamentos e sistemas de tele-controle, ii) IEC 61850 – Sistema de automação em subestações, iii) IEC 61724 – Monitorização do desempenho do sistema fotovoltaico, iv) IEC 61968 – Modelo de Informação Comum (CIM), v) IEEE 1815 –Protocolo de rede distribuída, vi) IEEE C37.111.

### **3. Produto #2 - Âmbito de atividades e características básicas do laboratório de redes elétricas inteligentes do CEPEL**

#### **3.1 Introdução**

A principal atividade realizada no âmbito do produto #2 foi um workshop de 4 dias, entre 30 de agosto de 2016 e 2 de setembro de 2016 no Rio de Janeiro, na sede do CEPEL. O objetivo principal deste primeiro workshop foi a definição dos requisitos mínimos do laboratório. As principais conclusões do workshop, assim como as conclusões para as próximas etapas de trabalho, foram registradas no relatório do Produto #2.

#### **3.2 Descrição do Primeiro Workshop**

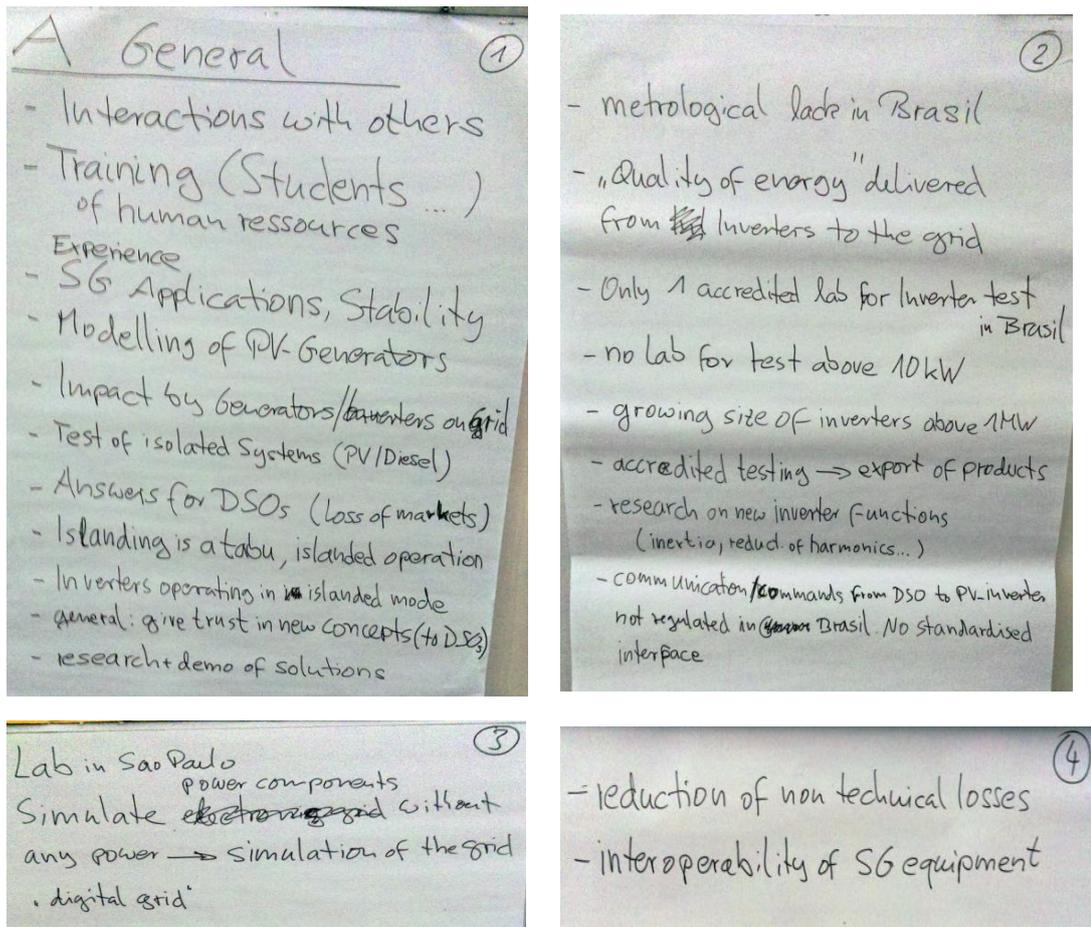
O primeiro workshop foi constituído de três principais atividades:

- Reuniões e debates entre os membros das equipes de pesquisadores do CEPEL e de consultores dos Institutos Fraunhofer (IWES e FOKUS), com duração de dois dias;
- Oficina de trabalho com membros das chamadas partes interessadas (que ficou conhecido como “workshop dos stakeholders”), que incluem profissionais de diversas áreas, tais como governo, concessionárias de energia, fabricantes de equipamentos, universidades, centros de pesquisa, grandes consumidores e sociedade em geral, com duração de um dia;
- Visita ao campus Adrianópolis do CEPEL, para verificação das áreas construídas candidatas à instalação do futuro laboratório, com duração de um dia.

Cumprir destacar que para auxiliar as discussões do “workshop dos stakeholders” foi elaborado pelas equipes do CEPEL e do Fraunhofer um questionário para registrar a opinião do participante referente a diversos aspectos referentes ao tema “smart grids” que deveria ser preenchido durante o evento.

O referido questionário foi entregue na recepção aos participantes que tiveram a oportunidade de preenchê-lo durante a realização do evento.

Os requisitos de um laboratório de redes elétricas inteligentes foram discutidos com a audiência. As principais questões foram listadas em quatro flip charts (fotos abaixo).



**Figura 4 – Principais temas registrados em “flip charts”**

Alguns comentários da audiência durante os debates foram:

- Deve ser estabelecida uma rede de cooperação com universidades e a indústria.
- Deve ser constituída uma rede de infraestruturas de investigação.
- São esperadas grandes mudanças na rede de distribuição, não na rede de transmissão. As microrredes devem ser instaladas de forma interligada, com possibilidade de funcionamento ilhado.

Além disso, foi possível identificar atividades acadêmicas relacionadas com as redes elétricas inteligentes algumas universidades brasileiras:

- Energia solar fotovoltaica
- Cursos sobre energia, incluindo recursos energéticos distribuídos («DER»)
- Sistemas de simulação em tempo real, cluster para processamento em tempo real
- Análise da dinâmica em produção distribuída
- Teste de campo de isolamento em alguns alimentadores
- Experiência em medições
- Universidade de São Paulo:
  - Constituição do laboratório de qualidade de energia há 5 anos

- Há simuladores da rede elétrica disponíveis
- As redes de BT/MT são representadas digitalmente (Control Hardware-in-the-loop - CHIL)
- O desempenho dos sistemas de energia pode ser simulado reproduzindo condições defeituosas, como curto-circuitos, fase aberta etc.
- O Sistema SCADA está disponível através de um barramento de interoperabilidade simulando o DMS de uma empresa distribuidora

Após as discussões internas (CEPEL e Instituto Fraunhofer) e também com as chamadas partes interessadas chegaram-se as seguintes conclusões no que se refere às funções prioritárias do Laboratório:

- Teste de componentes (especialmente de inversores) num intervalo de potência de 10 kW até 2 MW. O limite superior de 2 MW resulta das respostas ao questionário.
- Teste de sistemas híbridos e de microrredes.
- Demonstração das características dos componentes por meio de testes PHIL (Power Hardware-in-the-loop) / CHIL (Control Hardware-in-the-loop).
- Teste baseados em normas de comunicação (visando interoperabilidade)

#### **4. Produto #3- Esquema básico do laboratório**

Dando continuidade às conclusões do produto #2, neste relatório foi definido o esquema básico do laboratório do CEPEL, considerando:

- Definição das principais áreas com as atividades associadas
- Especificações básicas dos principais equipamentos do laboratório.
- Diagramas elétricos do laboratório
- Estrutura espacial das áreas do laboratório (plantas)

Os aspectos acima foram descritos para todas as áreas de aplicação do laboratório, sejam estas:

- Área de Aplicação 1: «Ensaio de Certificação e Referência»
- Área de Aplicação 2: «Verificação de Padrões e Protocolos»
- Área de Aplicação 3a: «Pesquisa Experimental: Hardware-in-the-Loop»
- Área de Aplicação 3b: «Pesquisa Experimental: Bancada de Ensaio de Sistemas Híbridos»

Destaca-se que dentro das atividades realizadas para a definição deste relatório houve a realização do segundo workshop no CEPEL (29 de novembro de 2016 a 2 de dezembro de 2016).

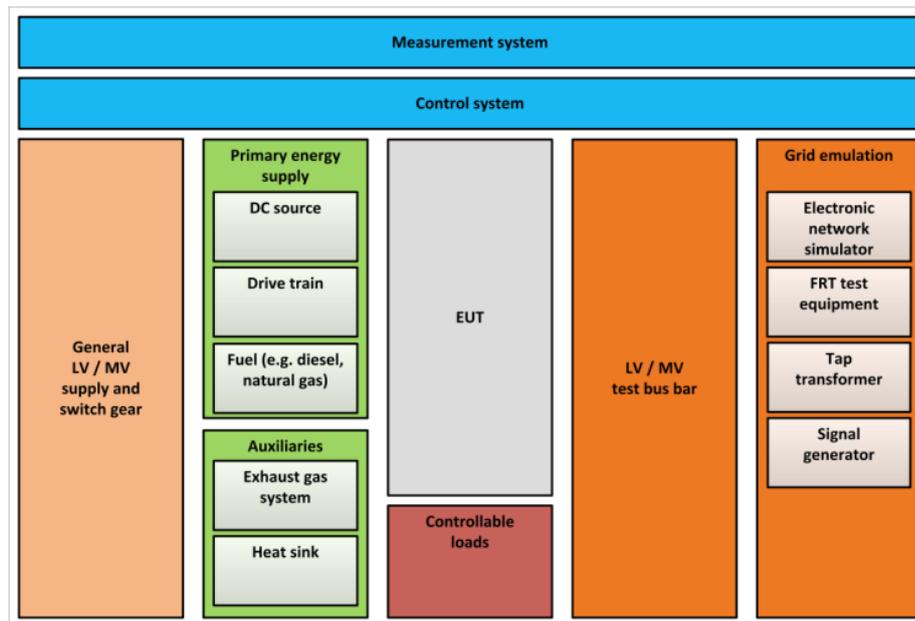
##### **4.1 Especificação dos requisitos do laboratório**

Os requisitos gerais para o laboratório são as seguintes:

- O laboratório será implantado nas instalações do CEPEL em Adrianópolis, numa área interior, complementada por uma área exterior.
- Os requisitos têm flexibilidade para permitir a sua construção e evolução por fases, de acordo com recursos disponíveis e os desafios.

##### **4.1.1 Área de aplicação 1: Ensaio de certificação e referência**

A Figura 5 mostra os componentes funcionais gerais da área de aplicação 1. O EUT (equipamento a testar) encontra-se no centro do laboratório, mas não faz parte da infraestrutura do laboratório. No entanto, as características do EUT como, por exemplo, potência nominal, nível de tensão e fonte de energia primária determinam todos os componentes funcionais.



**Figura 5 – Possíveis componentes fundamentais da área de aplicação 1.**

Através dos barramentos de BT/MT, os terminais CA do EUT podem ser conectados à rede local ou a um tipo de simulador eletrônico da rede elétrica ou, também, ao equipamento FRT (Fault Ride Through), possivelmente utilizando um transformador com taps. Com relação ao simulador da rede elétrica, existem requisitos fundamentais em função do uso do mesmo (por exemplo, pesquisas com dinâmica muito rápida exigirão amplificadores de alto desempenho dinâmico). O gerador de sinais pode ser utilizado para alimentar os terminais de teste do EUT, em ensaios nos quais os terminais de potência deste EUT estejam conectados à rede.

Os barramentos BT/MT também permitem a ligação do EUT a outros componentes, tais como cargas controláveis, que podem ser necessárias para ensaios especiais de inversores fotovoltaicos (por exemplo, proteção anti-ilhamento).

O fornecimento de energia primário depende dos tipos de EUT que serão ensaiados no laboratório e das suas diferentes tecnologias de conversão de energia. Para testar um inversor fotovoltaico, de bateria ou de célula de combustível será necessária uma fonte de CC. Adicionalmente pode ser necessária a emulação de uma fonte CC com função de perfil fotovoltaico. Ensaios de EUT com motores de combustão (por exemplo, conjuntos de geradores a Diesel ou unidades combinadas de calor e energia (CHP) que funcionem com gás natural ou biogás) exigem um abastecimento de combustível. Além disso, será necessário o tratamento do calor disponível/residual e dos gases de escape.

O sistema de controle e supervisão do laboratório SCADA permite o monitoramento e o comando dos disjuntores de BT e MT, tanto nos barramentos de teste, como da distribuição geral. O sistema de controle pode ser baseado em protocolos típicos de

automação de subestações como, por exemplo, o IEC 61850. Adicionalmente o controle pode ser necessário para gerenciar a operação dos simuladores fotovoltaicos, unidades de teste FRT, cargas de ensaios e outros. Finalmente, na maioria dos casos também pode ser necessário controlar o próprio EUT, por exemplo, enviando ordens de ligar/desligar, enviando pontos de operação, etc.

Deve existir um sistema de medição ligado ao sistema de controle central, que pode ter características especiais de desempenho, tais como alta taxa de amostragem, ou outros. Em geral, os dispositivos portáteis de medição podem ser utilizados de forma mais flexível, em comparação com uma aquisição central de dados de medição.

### **Decisões tomadas durante o segundo workshop de Nov/Dez de 2016**

A partir de duas versões para esta área de aplicação do laboratório, preparadas pela equipe do Fraunhofer, foram tomadas as seguintes decisões:

- Normas: A unidade de laboratório deve permitir os ensaios de certificação e referência relativos aos padrões de ligação da rede (Norma FGW TR Parte 3, Norma IEC61400-21, ABNT NBR 16149:2013, ABNT NBR 16150:2013 e ABNT NBR IEC 62116:2012).
- Localização: A unidade de laboratório deve estar localizada no hall ao lado do laboratório de motores em Adrianópolis.
- Cogeração: Está atualmente fora do escopo do laboratório.
- Não é necessário planejar abastecimento de combustível, sistemas de gases de escape e dissipadores de calor, uma vez que as unidades de CHP/CCHP não estão incluídas no âmbito da unidade de laboratório.
- Fornecimento de energia primária e auxiliares: Nenhuma unidade acoplando motores e geradores deve ser planejada. Se necessário, no futuro pode-se fazer uso das instalações existentes no laboratório de motores.

Com relação à potência máxima dos ensaios que serão realizados, foram obtidas as seguintes conclusões.

- EUT de baixa tensão até uma potência de 200 kVA na fase inicial do laboratório. Um conjunto de dispositivos, por exemplo, fontes, cargas, transformadores, equipamento de comutação e outros equipamentos devem estar disponível para a realização destes ensaios.
- De acordo com a visão do CEPEL, numa fase posterior do Laboratório será possível testar EUT de média tensão até uma potência de 2 MVA. Um conjunto de fontes, cargas, transformadores, equipamentos de comutação e outros equipamentos devem estar disponíveis para a realização dos mesmos.
- Ambos os conjuntos de dispositivos (200 kVA e 2 MVA) devem estar disponíveis na fase final e, assim, o laboratório poderia testar EUT menores utilizando dispositivos de até 200 kVA, e EUT maiores utilizando um dispositivo de 2 MVA.

Ambos ensaios podem ser realizados concomitantemente.

- Existem alguns componentes do laboratório que podem ser utilizados tanto para ensaios de componentes de EUT de 200 kVA como de 2 MVA.

#### **4.1.1.1 Área de aplicação 1, versão 1: sistema com capacidade para ensaios de EUT de até 2 MVA em BT/MT**

Os principais componentes desta versão do laboratório são:

- Barramentos e disjuntores de BT
- Barramentos e disjuntores de MT
- Simulador de rede elétrica com potência nominal de 1 MVA
- Simulador de rede elétrica com potência nominal de 200 kVA
- Equipamento de teste FRT
- Transformador com taps de ampla faixa de tensões no secundário (MT/BT, 2000 kVA)
- Transformador com taps de ampla faixa de tensões no secundário (MT/BT, 200 kVA)
- Transformador de fornecimento (MT/BT, 3500 kVA)
- Transformador de acoplamento (BT/BT, 400 kVA)
- Gerador de sinais
- Fonte de CC unidirecional (1,6 kV, 2 MVA)
- Fonte de CC bidirecional (1,0kV, 250 kW)
- Sistema de controle
- Sistema de medição
- Cargas controláveis, RLC, cada uma com potência de 2000 kVA
- Cargas controláveis, RLC, cada uma com potência de 200kVA

#### **4.1.1.2 Área de aplicação 1, versão 2: sistema com capacidade para ensaios de EUT de até 200 kVA em BT**

Os principais componentes desta versão do laboratório são:

- Barramento e disjuntores de BT
- Barramento e disjuntores de MT
- Simulador da rede elétrica com alto desempenho dinâmico, 200 kVA
- Transformador com taps de ampla faixa de tensões no secundário (MT/BT, 200 kVA)
- Transformador de acoplamento (BT/BT, 400 kVA)
- Fonte de CC bidirecional (1,0kV, 250 kW)
- Sistema de controle
- Sistema de medição
- Cargas controláveis, RLC, cada uma com potência de 200kVA

#### 4.1.2 Área de aplicação 2: Verificação e ensaios de protocolos e padrões de comunicação

Considerando que os componentes do EUT podem ser divididos em dois grupos: os componentes de potência e os componentes eletrônicos de baixa potência, os testes realizados nesta área estão relacionados sempre ao segundo grupo. Assim, nesta seção será utilizado o termo IUT (implementação em teste) para o dispositivo /protocolo sendo testado.

Para poder testar os aspectos de comunicação de um EUT, o requisito mínimo consiste em que a parte relacionada com a IUT do EUT esteja operacional. Isto significa que precisa ser alimentada por uma fonte de energia e estar ligada à infraestrutura de comunicação do ambiente de teste. Dependendo da função ou da característica a ser testada num contexto específico ou modo de funcionamento do EUT, podem surgir requisitos adicionais.

A infraestrutura projetada para realizar o teste do IUT é apresentada na Figura 6. O IUT pode oferecer diferentes interfaces de comunicação e também diferentes protocolos, por exemplo, IEC 60870 e Modbus TCP. Para o laboratório é considerada uma interface Ethernet, bem como ligações de séries ponto a ponto, tais como RS232/485 ou controladores, como o Modbus.

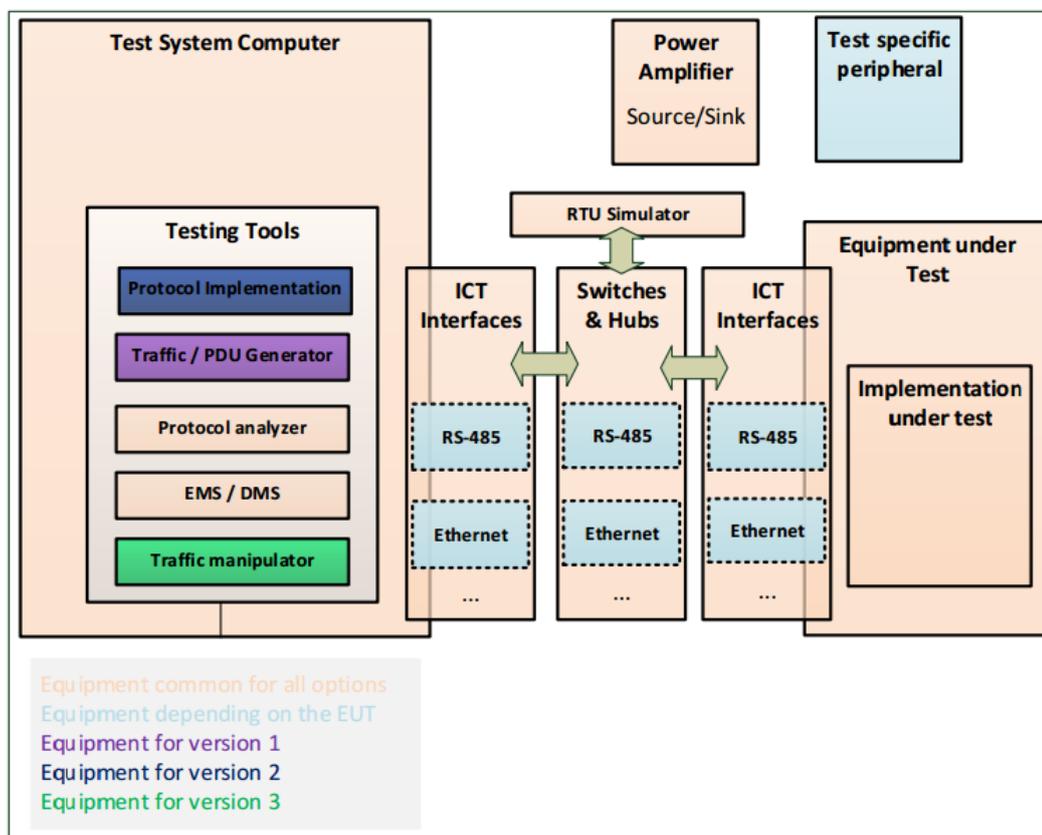


Figura 6 – Possíveis componentes fundamentais da área de aplicação 2.

Os principais componentes desta área de aplicação são:

- Simulador de Unidade Terminal Remota (RTU)
- Gerador de tráfego (PDU – Protocol Data Unit)
- Analisador de Protocolos
- SGE (Sistemas de Gestão de Energia) ou SGD (Sistemas de Gestão de Distribuição)
- Implementações de Protocolo
- Manipulador de Tráfego

### **Avaliação das diferentes versões:**

Nas versões apresentadas é considerado que uma é construída sobre a outra. Ou seja, fazer a versão 2 sem a versão 1 é tecnicamente possível, mas resultaria inadequado. A medida que cresce o número da versão, a operação da mesma é mais complexa.

### **Versão 1: Verificação da conformidade**

A verificação da conformidade abrange os ensaios necessários para assegurar a conformidade, ou a conformidade com uma norma/especificação. Um IUT que passou com êxito este ensaio deve considerar-se que funcionou da maneira para o que foi concebido, desde que as condições externas também sejam as especificadas.

Isso significa, por outro lado, que não é recolhido aqui nenhum conhecimento sobre o comportamento de um IUT em condições não ótimas.

Um exemplo para este tipo de ensaio é a IEC 60870-5-601.

Este ensaio pode ser realizado sem um conhecimento mais profundo dos protocolos de comunicação, e é aplicado em ensaios comerciais disponíveis de diferentes fornecedores.

### **Versão 2: Testes de Robustez de comunicação**

Em redes fechadas de curto alcance, a comunicação entre os componentes SCADA é assumida como determinística relativamente à perda de mensagens e latência. Passar dos sistemas de ilha para o controle de toda uma rede rompe com este conceito. As redes de área ampla irão acrescentar instabilidade à latência e também poderão causar perda de mensagens. Dependendo das funções-padrão específicas para retransmissão de pacotes e detecção de mensagens perdidas, também pode ocorrer perda de mensagens.

Além de fontes de erros técnicos, também o invasor pode causar problemas de comunicação. Um exemplo muito comum para um ataque é o chamado Negação de Serviço Distribuído, ou DDOS (sigla do inglês). Um DDOS é tão simples como é eficaz, pois é muito difícil de contornar. Um invasor abre, em suma, um grande número de

ligações a um sistema, até que este sistema não seja mais capaz de cumprir o seu objetivo. Como a maioria dos Dispositivos Eletrônicos Inteligentes estão apenas equipados com pequenos processadores de energia eficientes, são fáceis de atacar.

Ser capaz de estudar o efeito de diferentes tipos de erro num sistema de redes elétricas inteligentes é essencial para desenvolver medições de verificação e conceber a rede de uma forma mais robusta.

### **Versão 3: Testes de Robustez do Protocolo Implementado**

Para testar a robustez da implementação de um protocolo, o conjunto de ensaios deve ser flexível quanto a alterações dos diferentes aspetos do protocolo.

Isto permite que o examinador altere o comportamento da sua implementação do protocolo, para enviar mensagens não-conformes para o IUT. O comportamento desejado do IUT seria rejeitar mensagens não-conformes e continuar a funcionar.

Uma mensagem modificada pode, por exemplo, ser uma mensagem onde o comprimento de um campo na mensagem é maior do que o definido no padrão, ou onde os parâmetros obrigatórios estão em falta.

Estas coisas acontecem no mundo real geralmente devido a erros de implementação. Podem também ocorrer devido a problemas de comunicação, ou são criadas por um invasor.

De fato, problemas como este tornam-se cada vez mais importantes, ao passar de sistemas de comunicação isolados para redes de comunicação interligadas.

### **Sistemas AMI e Medidores Inteligentes**

Outro tópico desta área de aplicação do laboratório são os sistemas de Medição Avançada (AMI).

Os principais componentes contemplados para esta área de aplicação são:

- Software para o teste de comunicações (Eclipse NeoSCADA, DNV GL IEC 60870-5 Test suite, DNV IEC 60870-5 Rtu Simulator)
- Ethernet switch
- Computadores de área de trabalho
- Servidor
- Painel vertical de teste de medidores inteligentes
- Interfaces de comunicação (Modbus, RS485 / 422, Industrial Ethernet Switch)

#### **4.1.3 Área de aplicação 3a: Pesquisa experimental Hardware-in-the-loop**

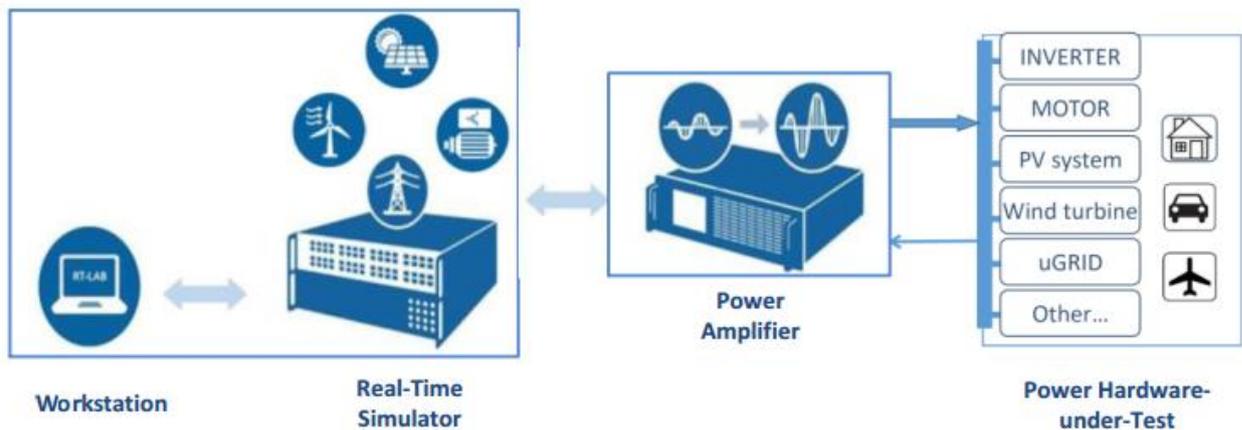
As tecnologias Hardware-in-the-Loop e Co-simulação lidam com o objetivo de

combinar diferentes modelos, conceitos e/ou dispositivos (baseados em software ou hardware) para construir um ambiente de ensaios e desenvolvimento abrangente.

### **Avaliação das diferentes versões:**

#### **Versão 1: Power Hardware-in-the-loop**

A simulação Power Hardware-in-the-Loop (PHIL) representa um ambiente de simulação em tempo real na qual existe uma troca de potência entre o Hardware a ser testado (HUT) e a simulação da rede elétrica. Para tornar isto possível, amplificadores de potência são inseridos entre os HUT e os terminais I/O do simulador (pontos de baixa potência). A troca de informações entre ambos os ambientes (simulação e hardware) é de grande importância para a veracidade dos resultados obtidos. Um esquema simplificado deste tipo de simulações é apresentado na Figura 7.



**Figura 7 – Esquema Power Hardware-in-the-loop, fonte: Opal-RT.**

Principais benefícios do Power Hardware-in-the-Loop

- Cria cenários próximos à realidade para procedimentos de ensaios em laboratório.
- Permite testar uma ampla gama de características para analisar as funcionalidades dos componentes de potência
- Oferece novas possibilidades para métodos avançados de ensaios de padronização

#### **Versão 2: Controle Hardware-in-the-loop**

Similar ao PHIL, o conceito de Controle Hardware-in-the-Loop (CHIL) lida com a simulação híbrida entre componentes digitais e Hardware real, no entanto neste caso são utilizadas unicamente interfaces de sinal de baixa potência. Portanto, podem ser testadas placas controladoras, dispositivos de prototipagem rápida e controladores lógicos programáveis.

Benefícios do CHIL:

- Investigação de estratégias complexas de controle
- Abrange uma ampla gama de cenários
- Permite a análise do impacto das estratégias de controle no funcionamento do sistema de potência.
- Otimização rápida dos sistemas de controle

### **Versão 3: Co-simulação**

O conceito de Co-Simulação combina vários sistemas baseados em modelos dependentes. Em comparação com as tecnologias Hardware-in-the-Loop, a troca de dados baseia-se neste caso em dados de comunicação.

### **Decisões tomadas durante o segundo workshop de Nov/Dez de 2016**

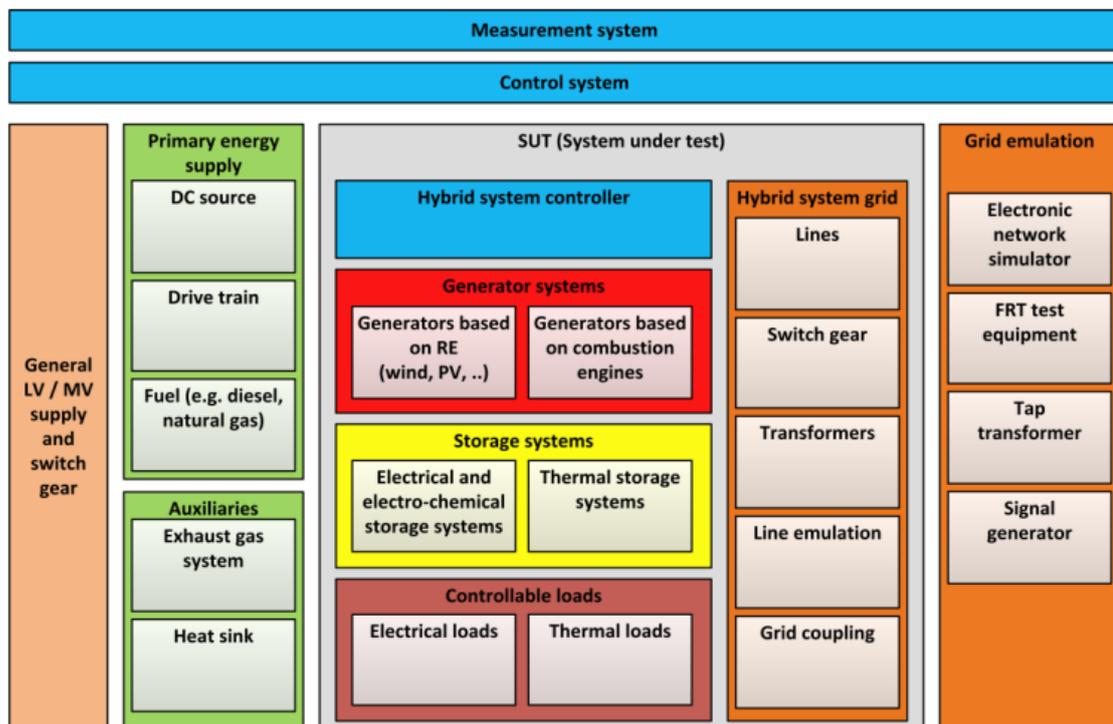
- Para a área de aplicação 3a foi escolhido um banco de ensaios do tipo Power Hardware-in-the-Loop.
- Localização: A área de aplicação deve estar localizada numa sala separada.
- A área de aplicação deve consistir em três configurações de ensaios, que podem funcionar em modo individual ou em conjunto.
- Tamanho do sistema: Foi decidido um sistema de baixa tensão 380 V/60 Hz.

Os principais equipamentos elétricos da área de aplicação 3a são:

- Simulador Digital em Tempo Real
- Amplificador de Potência
- Inversores Programáveis
- Equipamentos de Medição

#### **4.1.4 Área de aplicação 3b: Bancada experimental para ensaios de sistemas híbridos**

A bancada experimental de ensaios de sistemas híbridos é utilizada para testar a interoperabilidade dos diferentes componentes que podem fazer parte de sistemas de distribuição ou residenciais inteligentes do futuro, caracterizados por sua capacidade de operar conectado à rede ou ilhados, que são compostos por diferentes geradores, sistemas de armazenamento e controladores. Os principais componentes desta área de aplicação são mostrados na Figura 8.



**Figura 8 – Principais componentes da unidade laboratorial 3b**

Os sistemas híbridos ou microrredes oferecem a possibilidade de trabalhar conectados à rede ou ilhados. A interface com a rede pode ser feita por simuladores da rede elétrica, ou por ligações reais à rede de distribuição de BT ou MT. A utilização de simuladores de rede permite definir os parâmetros da rede, assim como a produção de distúrbios de rede controlados.

Os sistemas de geração utilizados nestas redes são tipicamente baseados em fontes de energia renováveis, tais como turbinas eólicas ou geração fotovoltaica, bem como geradores convencionais (por exemplo, geradores a Diesel). Em sistemas laboratoriais de sistemas híbridos podem ser utilizadas fontes controláveis para emular geradores de energia renovável. Isto permite executar experiências em condições passíveis de reprodução. Para operar geradores a base de motores de combustão, é necessário um abastecimento, por exemplo, tanques de gás ou de diesel e sistemas de gases de escape.

Os sistemas de armazenamento desempenham um papel fundamental em quase todos os sistemas híbridos. Estes são utilizados para compensar as variações de carga ou das flutuações causadas por geradores baseados em energia renovável. Normalmente são utilizados sistemas de armazenamento de bateria e inversores de bateria. Dependendo do tamanho e do tipo dos sistemas híbridos, podem ser utilizadas outras tecnologias de armazenamento, tais como sistemas de armazenamento térmico ou sistemas de armazenamento de hidrogênio ou gás. Como cargas do sistema, podem ser utilizadas tanto cargas reais, quanto cargas controláveis.

### **Decisões tomadas durante o segundo workshop de Nov/Dez de 2016**

- Sistema de baixa tensão 380 V/ 220 V/60 Hz.
- O sistema conterà um sistema fotovoltaico e um inversor fotovoltaico com uma potência nominal de 10-15 kWp.
- O sistema conterà um grupo gerador a Diesel.
- O sistema conterà um sistema trifásico de armazenamento por baterias, com uma potência aproximada de 12 kW, e capacidade utilizável aproximada de 12 kWh. Devem ser utilizadas as tecnologias de íon-lítio e de chumbo-ácido.
- Cargas elétricas RLC com potências de 15 kW (ôhmica) e de 15 kVAr (indutiva e capacitiva) devem ser integradas no sistema híbrido.
- Controlador de sistema híbrido do inversor de bateria.
- Uma fonte CC de aproximadamente 15 kW será utilizada.

#### **4.1.5 Interfaces elétricas entre as áreas de aplicação**

O projeto básico do laboratório contempla as seguintes interfaces de potência entre as áreas de aplicação do laboratório:

- Ligação em CC entre para alimentação CC dos conversores trifásicos.
- Duas ligações CA entre a área de teste de componentes (#1) e a área de PHIL (#3a), para alimentação e conexão de cargas.
- Ligação CA entre a área do sistema híbrido (#3b) e a área de PHIL (#3a), para incluir o ambiente de teste do sistema híbrido nos testes PHIL.
- Ligação CA entre a área do sistema híbrido (#3b) e a área de teste de componentes (#1) para alimentação.

#### **4.2 Outros temas do produto #3**

Neste relatório também foram desenvolvidos os diagramas de planta de cada área do laboratório, assim como o diagrama unifilar do laboratório para as duas versões de potência da área de aplicação #1 (200 kVA e 2MVA).

## **5. Produto #4 - Especificação detalhada do laboratório**

### **5.1 Introdução**

O trabalho realizado neste produto baseou-se nos resultados do Pacote de Trabalho #3 «Projeto Básico do Laboratório, que é a especificação básica dos principais equipamentos de teste. Uma vez que a especificação dos equipamentos de teste não pode ser completamente separada da disposição da interconexão elétrica no laboratório, as seguintes tarefas do PT #4 já tinham sido abordadas dentro do relatório #3:

- O diagrama monofásico das instalações elétricas do laboratório;
- A planta para a colocação dos equipamentos dentro do edifício laboratorial existente.

No relatório do Pacote de Trabalho #4 «Especificação Detalhada do Laboratório», é compilada uma especificação detalhada dos principais componentes do laboratório (ou seja, a infraestrutura laboratorial), com base no projeto básico do PT #3. Esta especificação contém todas as informações necessárias para os trabalhos de construção civil e elétricos do laboratório. Todas as áreas de aplicação são consideradas. Os aspectos mais importantes nesta fase de especificação detalhada são:

- Especificação do cabeamento para a alimentação da infraestrutura de teste (por exemplo, barras condutoras de MT e BT, transformadores de tomadas, fontes de CA e CC, cargas etc) em termos de comprimento dos cabos e secção transversal
- Dimensionamento de cabos, com base em estimativas de direcionamento que têm em conta as condições de agrupamento e temperatura ambiente.
- Especificação da infraestrutura de comunicação para monitorização remota e controle da infraestrutura do laboratório
- Condições de funcionamento dos componentes da infraestrutura, gestão do calor residual, arrefecimento do equipamento sob teste.
- Dimensões e peso dos componentes da infraestrutura, cargas de rolamento do chão exigidas.
- Aspectos de segurança, tais como a parada de emergência
- Especificação da sala de controle

O trabalho foi estruturado da seguinte forma:

1. Compromisso definitivo quanto à especificação básica (resultado do PT#3)
2. Especificação detalhada de cada área de aplicação
  - a. Alimentação elétrica
  - b. Requisitos mecânicos
  - c. Requisitos ambientais (por exemplo, umidade, temperatura, etc.)

3. Interação entre as áreas de aplicação
  - a. Análise do fluxo de potência

No âmbito deste pacote de trabalho, realizou-se o 3º workshop no Rio de Janeiro, de 25 a 27 de abril de 2017, onde foram discutidas as especificações laboratoriais. A planta e disposição elétrica (diagrama unifilar) foram revistas e foram concluídas algumas alterações em relação às versões do Relatório #3.

## **5.2 Situação Inicial**

A definição dos requisitos do laboratório baseia-se em resultados anteriores do projeto:

- Áreas de Aplicação conforme a definição do PT #3
- Equipamentos conforme as especificações do PT #3
- Planta do equipamento (tarefa do PT #4, já abordada no PT #3)
- Disposição elétrica (diagrama unifilar (tarefa do PT #4, já abordada no PT #3))

Durante o 3º workshop no Rio de Janeiro o projeto básico do laboratório e os itens acima mencionados foram finalmente fixados. As modificações em relação à situação apresentada no Relatório #3 foram consolidadas.

## **5.3 Especificação detalhada de cada Área de Aplicação**

As principais áreas do laboratório foram detalhadas, sendo elas:

- Sala de Controle
- Área de Aplicação 1: Testes de Certificação e Referência
  - Equipamentos finais, planta e interconexões elétricas
  - Requisitos sobre salas de laboratório e ambiente de funcionamento
  - Classificações elétricas e condições de potência
  - Dimensões e pesos
  - Condições ambientais, eficiência e perdas
  - Comunicação
  - Segurança
- Área de Aplicação 2: Verificação e testes de implementação de normas e protocolos
  - Requisitos sobre salas de laboratório e ambiente de funcionamento
  - Parede de teste de medidores inteligentes
- Área de Aplicação 3a: Investigação experimental: Hardware-in-the-Loop
  - Equipamentos finais, planta e interconexão elétrica
  - Requisitos sobre salas de laboratório e ambiente de funcionamento
  - Classificações elétricas e condições de potência
  - Dimensões e pesos

- Eficiência, perdas e condições ambientais
- Comunicação
- Área de Aplicação 3b: Investigação experimental: Bancada de Teste de Sistemas Híbridos
  - Equipamentos finais, planta e interconexão elétrica
  - Requisitos sobre salas de laboratório e ambiente de funcionamento
  - Classificações elétricas e condições de potência
  - Dimensões e pesos
  - Eficiência, perdas e condições ambientais

Após a especificação detalhada de cada área do laboratório foi possível definir uma planta com a localização dos principais componentes para cada área. A Figura 9 a seguir apresenta a planta do laboratório.



**Figura 9 – Planta do laboratório, incluindo as áreas de aplicação 1, 2, 3a e 3b.**

## 6. Produto #5 – Relatório com as especificações detalhadas dos principais equipamentos

Este relatório forneceu uma especificação técnica detalhada dos principais equipamentos necessários para o laboratório de Redes Elétricas Inteligentes do CEPEL. As informações nele apresentadas fornecem uma base para os processos de compra, que serão realizados por licitações. Assim, os equipamentos do laboratório, os componentes da infraestrutura e os serviços necessários para a instalação do laboratório foram agrupados de acordo com as funções e não de acordo com áreas de atuação do laboratório.

Visando organizar as licitações de forma eficiente, vários componentes individuais foram agrupados em lotes, de acordo com suas características técnicas. Destaca-se que para a formação dos lotes deve ser considerado que lotes com muitos componentes podem ser obstrutivos, pois é improvável que um mesmo fabricante possa oferecer todos os produtos. Por outro lado, a diversidade excessiva de fornecedores pode dificultar o funcionamento do laboratório.

Considerando que os testes realizados no laboratório devem ter elevada qualidade, os equipamentos devem estar sempre ou, pelo menos, quando estiverem sendo utilizados, calibrados. Portanto, os fornecedores dos equipamentos devem ter uma filial no Brasil ou, pelo menos, prestar serviços no Brasil. Isto também é benéfico para reivindicar a garantia, em caso de defeitos.

Além do próprio equipamento, o planejamento e execução da instalação elétrica são partes significativas dos custos de implantação do laboratório. No entanto, só é possível realizar um planejamento detalhado da execução, quando forem determinados quais os dispositivos que serão comprados. A tabela 3 apresenta, de maneira estruturada, os principais equipamentos necessários para a implementação do laboratório.

**Tabela 3 – Visão geral de equipamentos e instalações.**

N.º	Nome	Área de Aplicação	Lote N.
<b>Categoria: Alimentação e distribuição de energia elétrica</b>			
SD-1	Barramento de BT e dispositivos de comutação BT-AP4-001	1, F. 1	SD-A
SD-2	Barramento de BT e dispositivos de comutação (5000 A) BT-AP4-002	1, F. 2	SD-A
SD-3	Barramento de BT e dispositivos de comutação (1000 A) BT-AP4-003	1, F. 1	SD-A
SD-4	Barramento de BT e dispositivos de comutação (500 A) BT-AP4-004	1, F. 1	SD-A
SD-5	Barramento de MT e dispositivos de comutação MT-AP4-001	1, F. 1	SD-B
SD-6	Barramento de MT e dispositivos de comutação MT-AP4-002	1, F. 2	SD-B

<b>Categoria: Fontes de Alimentação</b>			
PS-1	Simulador de rede elétrica padrão, 1 MVA	1, F. 2	PS-A
PS-2	Simulador de rede elétrica com alta capacidade dinâmica 200 kVA	1, F. 1	PS-B
PS-3	Fonte de CC (1,6 kV, 2 MVA)	1, F. 2	PS-C
PS-4	Fonte de CC (1,2 kV, 200 kW)	1, F. 1	PS-D
PS-5	Amplificador de Potência CA, 3x 30 kVA	3a	PS-E
<b>Categoria: Transformador</b>			
TR-1	Transformador com taps (MT/BT, 1250 kVA)	1, F. 2	TR-A
TR-2	Transformador com taps (MT/BT, 250 kVA)	1, F. 1	TR-A
TR-3	Transformador de BT (BT/BT, 150 kVA)	1, F. 1	TR-B
TR-4	Transformador de alimentação 3,5 MVA; 13,8/0,48 kV	1, F. 1	TR-B
<b>Categoria: Equipamento de Teste FRT</b>			
FRT-1	Equipamento de teste FRT de MT	1, F. 2	FRT-A
<b>Categoria: Sistemas e Instrumentos de Medição</b>			
MS-1	Sistema de Medição	1, F. 1	MS-A
MS-2	Sistema de Medição	3a	
MS-3	Transdutores (Sondas de alta resolução 12x V, 12x I)	3a	
<b>Categoria: Gerador de sinal</b>			
SG-1	Gerador de Sinal	1, F. 2	SG-A
<b>Categoria: Sistemas de Controle</b>			
SC-1	Sistema SCADA	1, F. 1	SC-A
<b>Categoria: Cargas</b>			
LD-1	Cargas controláveis, RLC, 2000 kW / kVAr cada	1, F. 2	LD-A
LD-2	Cargas controláveis, RLC, 200 kW / kVAr cada	1, F. 1	LD-A
<b>Categoria: Equipamentos de TIC</b>			
ICT-1	Estação de trabalho + Monitor (2x)	2a	ICT-A
ICT-2	Monitor (2x)	2a	ICT-A
ICT-3	Modbus-RTU TCP GW (2x)	2a	ICT-A
ICT-4	RS485 / 422 Placa de Interface (2x)	2a	ICT-A
ICT-5	Comutador Ethernet (2x)	2a	ICT-A
ICT-6	Comutador Ethernet Industrial (1x)	2a	ICT-A
ICT-7	Instalação de cabos (1x)	2a	ICT-A
ICT-8	Simulador em Tempo Real	3a	ICT-B
<b>Categoria: Equipamento de Teste de Medidores Inteligentes</b>			
SM-1	Parede de teste de medidor inteligente (1x)	2b	SM-A
<b>Categoria: Componentes de Software</b>			
ICT-9	Eclipse NeoSCADA (1x)	2	ICT-C
ICT-10	Analisador de Protocolos Wireshark (1x)	2c	ICT-C

ICT-11	Simulador e analisador de Tele-controle CS101/104 de Rede Única (1x) CEI 608070-5-101 / 104	2c	ICT-C
ICT-14	Simulador de Cliente UniCA 61850 (1x)	2	ICT-C
ICT-15	Simulador de Cliente GOOSE 61850 (1x)	2c	ICT-C
ICT-16	Analisador UniCA 61850 (1x)	2c	ICT-C
ICT-17	Simulador Multi IED UniCA 61850 (1x)	2c	ICT-C
ICT-18	Laboratório de testes externo	2c	ICT-C
ICT-19	Licença Matlab/Simulink	3a	
<b>Categoria: Conversores</b>			
CV-1	Inversor CC-CA (programável, 2x 15 kVA)	3a	CV-A
CV-2	Inversor CA-CA (programável, 1x 15 kVA)	3a	CV-A
<b>Categoria: Controlador do Sistema Híbrido</b>			
HSC-1	Controlador do sistema híbrido	3b	HS-A
<b>Categoria: Geradores do Sistema Híbrido</b>			
HG-1	Inversor fotovoltaico (3 vezes, monofásico, 3kW)	3b	HS-A
HG-2	Inversor fotovoltaico (trifásico, 20 kW)	3b	HS-A
HG-3	Inversor fotovoltaico (trifásico, 10 kW)	3b	HS-A
HG-4	Sistema fotovoltaico (módulos monocristalinos Si-c )	3b	HS-E
HG-5	Sistema fotovoltaico (módulos policristalinos Si-c)	3b	HS-E
HG-6	Sistema fotovoltaico (módulos de dupla camada de junção dupla (a-Si / $\mu$ c-Si))	3b	HS-E
HG-7	Sistema fotovoltaico (módulos de camada fina (CdTe))	3b	HS-E
HG-9	Sistema fotovoltaico (5 kWp)	3b	HS-E
HG-10	Grupo gerador a Diesel	3b	HS-D
<b>Categoria: Armazenamento do Sistema Híbrido</b>			
HS-1	Inversor de bateria (15 KW, sistema de bateria Pb)	3b	HS-A
HS-2	Inversor de bateria (sistema de bateria Li-ion)	3b	HS-A
HS-3	Bateria Li-Ion	3b	HS-A
HS-4	Bateria Pb	3b	HS-B
HS-5	Bateria Pb (sistema de backup)	3b	HS-B
HS-6	Sistema de backup (5 kW)	3b	HS-F
<b>Categoria: Cargas do Sistema Híbrido</b>			
HL-1	Carga RLC passiva controlável (50 kVA)	3b	HS-C
HL-2	Carga R passiva controlável (carga de backup, 5 kW)	3b	HS-C

## 7. Considerações finais

Neste relatório foram agrupadas as informações mais relevantes do projeto Consgrid (Consultoria para elaboração do projeto do laboratório de redes elétricas inteligentes do CEPEL), executado no período de junho de 2016 a julho de 2017. O relatório começa descrevendo, de modo geral, o processo de seleção internacional baseado em qualidade e custo (SBQC) vencido pelo consorcio Fraunhofer IWES/ Fraunhofer FOKUS, que passou a ser responsável pela realização da atividade. Em seguida, foram descritos os conteúdos e principais conclusões dos cinco produtos desenvolvidos dentro desta consultoria. Estes produtos foram:

- Produto #1 – Estudo dos principais laboratórios existentes e das normas técnicas relevantes da rede elétrica inteligente
- Produto #2 – Âmbito de atividades e características básicas do laboratório de redes elétricas inteligentes do CEPEL. Dentro das atividades deste produto foi efetuado o primeiro workshop no Rio de Janeiro (30/08/16 – 2/09/16).
- Produto #3 – Esquema básico do laboratório. Foi efetuado o segundo workshop no Rio de Janeiro (29/11/16 – 2/12/16).
- Produto #4 – Especificação detalhada do laboratório. Foi efetuado o terceiro workshop no Rio de Janeiro (25/04/17 – 27/04/17)
- Produto #5 – Especificações detalhadas dos principais equipamentos

Além dos produtos e dos três workshops acima mencionados, o projeto Consgrid caracterizou-se pela frequente troca de informações entre os consultores e a equipe técnica do CEPEL, efetuada mediante e-mails, videoconferências, conferências telefônicas e a visita por parte de dois membros da equipe do CEPEL às unidades laboratoriais dos consultores na Alemanha. Desta forma, consideramos que os principais legados da atividade Consgrid para o CEPEL são:

- A especificação detalhada do laboratório de redes elétricas inteligentes do centro, incluindo o detalhamento dos requisitos dos principais equipamentos;
- A capacitação da equipe técnica do CEPEL tanto nos conceitos relacionados com a área de redes elétricas inteligentes, como no que se refere ao projeto de laboratórios voltados para esta área;
- Conclusões sobre a visão das partes interessadas (stakeholders) brasileiras referente à importância do laboratório do CEPEL no suporte às demandas atuais e futuras na área de redes elétricas inteligentes.

Face ao exposto, pode-se considerar que o projeto Consgrid cumpriu os objetivos definidos no seu termo de referência.