

# Prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas aplicadas a linhas de transmissão

Alexandre Maduro-Abreu; Arnaldo R. Saavedra; Gliender P. Mendonça; José A. Araújo; Leonardo B. Murça; Sérgio de O. Frontin; Ricardo Ramos Fragelli; Vinícius B. Rego.

**Resumo** – Este informe Técnico apresenta, de forma hierarquizada, uma consolidação dos principais temas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na área de Linhas de Transmissão (LT's). O objetivo é fornecer subsídios às empresas, órgãos governamentais, centros de pesquisa e universidades para a seleção de temas promissores de P&D neste setor. Para tanto, foi desenvolvida uma metodologia de prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas, apresentada neste IT, que indicou 15 temas prioritários no desenvolvimento de pesquisas para LT's.

**Palavras-chave** – Hierarquização, Inovação, Linha de Transmissão, Prospecção.

## I. INTRODUÇÃO

O Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) menciona, no contexto do tema Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica, que a rede básica, com vida média na faixa de 20 a 30 anos de serviço, em pouco tempo apresentará inevitável degradação. Por este motivo, vem sendo enfatizada a importância do desenvolvimento de tecnologias que permitam aumentar a capacidade de transporte e a confiabilidade.

Com este objetivo foi realizada a pesquisa “Prospecção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas Aplicadas a Linhas de Transmissão” em pareceria da Transmissora Aliança de Energia Elétrica (TAESA), com a Universidade de Brasília (UnB). Este projeto intitulado de INOVA-LT foi, primordialmente, conduzido em três etapas. Na primeira delas, foi realizada a contextualização do tema proposto a partir da análise dos diversos estudos e atividades necessários para a implantação de uma linha de transmissão, da análise do sistema de transmissão atual, da expansão planejada e dos indi-

---

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

Este trabalho foi patrocinado pela Transmissora Aliança de Energia Elétrica (TAESA), tendo como entidades executoras a Fundação de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FINATEC) e a Universidade de Brasília (UnB)

Gliender P. Mendonça atuou como gerente do projeto e trabalha na TAESA. (e-mail: gliender.mendonca@taesa.com.br)

Arnaldo R. Saavedra consultor independente (e-mail: sahur\_int@yahoo.com.br)

Os demais autores trabalham na Universidade de Brasília (UnB). Sérgio de O. Frontin atuou como coordenador do projeto (e-mail: sergiofrontin@hotmail.com)

cadores de desempenho das linhas em operação. A segunda etapa refere-se à apresentação dos resultados das prospecções efetuadas para a identificação e análise dos temas que poderiam conduzir a inovações tecnológicas. Já a terceira refere-se ao estabelecimento e aplicação de metodologia de hierarquização aos temas selecionados, considerando as dimensões: aumento da capacidade de transporte, aumento da confiabilidade, redução do impacto ambiental, redução dos custos e expansão do sistema.

## II. IMPLANTAÇÃO, PLANEJAMENTO, CUSTOS E DESEMPENHO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO NO BRASIL

A implantação de uma linha de transmissão se inicia pela identificação de sua necessidade, com vistas à expansão do sistema elétrico ou necessidade de reforço das instalações existentes até a sua efetiva operação. De maneira global, estas etapas podem ser nomeadas da seguinte forma: i) estudos para a expansão do sistema de transmissão. ii) estudos de ampliações e reforços do sistema existente. iii) realização de leilões de linhas de transmissão. iv) Contrato de concessão do serviço público de transmissão de energia. v) elaboração do projeto básico para atendimento dos requisitos do edital. vi) construção e comissionamento. vii) operação. viii) remuneração do ativo de transmissão. ix) manutenção.

O planejamento da expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN) consiste em se definir novas instalações de geração e transmissão, necessárias para se atender ao crescimento dos requisitos do mercado, segundo critérios de garantia de suprimento pré-estabelecidos, de forma ambientalmente sustentável e minimizando os custos totais esperados de investimento, inclusive socioambientais, e de operação

A identificação das necessidades de transmissão da Rede Básica é determinada pela EPE (Programa de Expansão da Transmissão – PET – e Plano Decenal) e pelo ONS (Plano de Ampliações e Reforços – PAR). Com base nessa identificação, consolidada pelo Ministério de Minas e Energia (MME), a ANEEL prepara as licitações das novas instalações de transmissão. O PET, elaborado pela EPE após estudos de planejamento de longo prazo, e o PAR, elaborado pelo ONS após estudos das necessidades de curto prazo da rede elétrica, indicam as linhas de transmissão e subestações necessárias para a adequada prestação dos serviços de transmissão de energia elétrica pela Rede Básica (RB) do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O PAR e o PET são consolidados sob condução do MME, o que resulta num conjunto de empreendimentos de transmissão necessário para o atendimento da geração e da carga

do SIN, e para o adequado desempenho do sistema no período considerado.

No que concerne ao setor elétrico, os principais papéis na expansão do sistema de energia elétrica pertencem aos agentes de geração e transmissão responsáveis pelos investimentos e aos agentes de distribuição responsáveis pela contratação da parcela de energia, com antecedência necessária à implantação dos novos empreendimentos.

Para o setor elétrico, o planejamento decenal tem, portanto, a função de orientar e subsidiar a realização dos futuros leilões de compra de energia; de novos empreendimentos de geração e de transmissão; a definição de quais estudos de expansão da transmissão devem ser priorizados, estudos de viabilidade técnico-econômica e socioambiental de novas usinas geradoras e, ainda, quais estudos de inventários deverão ser feitos ou atualizados.

A tabela I apresenta uma estimativa da evolução física (em km) dos sistemas de transmissão e a figura 1 uma estimativa de investimento total em linhas de transmissão por nível de tensão, ambas no período 2010-2019.

Tabela I – Estimativa da evolução física (km) dos sistemas de transmissão (Plano Decenal 2019).

	Tensão						TOTAL
	750 kV	±600 kV	500 kV	440 kV	345 kV	230 kV	
Evolução 2010-2019	-	9.350	16.146	17	538	10.746	36.797
Estimativa 2019	2.683	10.962	49.653	6.808	9.932	52.326	132.364

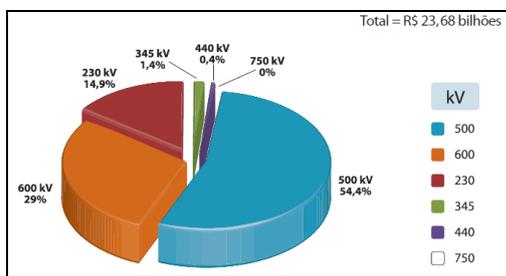


Figura 1 – Estimativa de Investimentos total em Linhas de Transmissão por nível de tensão no período 2010 – 2019.

O Plano Decenal 2019 aponta uma evolução no período de 2010 a 2019 para a Rede Básica (sem as linhas de 138 kV) de 36.797 km. Nesta evolução, o Plano aponta que as linhas de 500 kV continuam com crescimento importante. Neste período, deve enfatizar que, além da inclusão do sistema de Corrente Contínua do Rio Madeira em 600 kV atualmente em construção, foi adicionado à alternativa de um possível sistema de Corrente Contínua para a Usina de Belo Monte com extensão total de 4.600 km. Considerando o Sistema de Itaipu, a extensão total das linhas de CC estimada para 2019 é de 10.962 km.

Analisando o desempenho das linhas de transmissão (ver figura 2) entre os anos de 2008 e 2009 (ano em que se deu início a pesquisa apresentada neste IT), as descargas atmosféricas foram apontadas pelo ONS como as causas principais de desligamento forçado das linhas de transmissão, o que indica a relevância de investigação de medidas que possam reduzir a frequência e duração deste tipo de desligamento, seja mediante maior blindagem e isolamento dos espaçamen-

tos elétricos, seja mediante religamentos com alta probabilidade de sucesso etc. A segunda maior causa de desligamentos forçados refere-se a queimadas próximas às linhas. A partir os meses de julho, o efeito das queimadas começa a aumentar com o máximo ocorrendo em outubro, tendo em vista principalmente o período de colheita em diversas regiões do Brasil. Isto indica a necessidade de um trabalho de conscientização dos proprietários rurais, a fim de reduzir o número de ocorrências. A investigação de métodos de detecção e informação dos pontos críticos ao longo das linhas é importante para a aplicação de medidas preventivas.

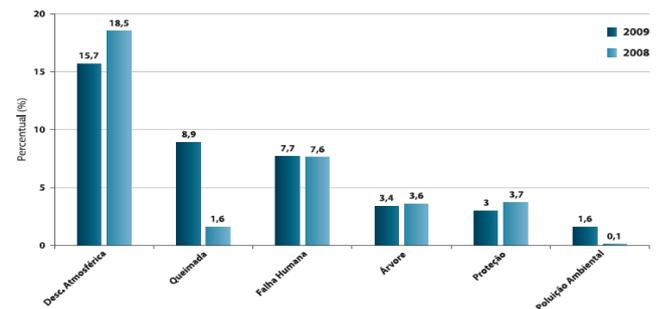


Figura 2 – Causas das perturbações em % no ano de 2008 e 1º semestre de 2009.

### III. PROSPECÇÕES TECNOLÓGICAS REALIZADAS

A segunda etapa desta pesquisa foi referente à prospecção dos temas mais promissores e considerou as seguintes fontes de pesquisa em âmbito nacional: Programa de P&D da ANEEL; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) e Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE). Para obter parâmetros comparativos com o cenário internacional, foram consideradas também as fontes Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE); Conseil International des Grands Réseaux Electriques (CIGRÉ) e publicações científicas do banco de dados Web of Science (disponível na internet).

Além da identificação e análise dos temas mais promissores no campo de linhas de transmissão, foram levantados outros aspectos considerados relevantes para a pesquisa, como por exemplo: investimentos realizados nos projetos de P&D, as instituições proponentes e executoras e a quantidade de trabalhos por instituição e por país. Devido à grande abrangência do tema Linhas de Transmissão, o trabalho de prospecção foi dividido em oito áreas: i) Estudos e Projetos ii) Recapacitação iii) Estruturas iv) Condutores v) Isoladores vi) Manutenção vii) Monitoramento viii) Meio Ambiente. O tema Estudos e Projetos foi ainda subdividido nos temas a) Estudos Integrados e Confiabilidade b) Efeitos Eletrostáticos e Eletromagnéticos c) Desempenho.

Foram analisados 533 informes relacionados ao tema de Linhas de Transmissão, sendo 117 trabalhos publicados no SNPTEE (2001-2009), 136 artigos publicados nas bienais do CIGRÉ (1998-2008), 82 artigos da base de dados do

IEEE (sendo 72 entre os anos 2006 e 2009). Foi observado que a maior parte dos trabalhos ficou concentrado nas áreas de Estudos e Projetos, Monitoramento e Condutores, ficando os outros temas com uma distribuição praticamente igualitária em número de trabalhos (ver tabela II).

Tabela II– Número de documentos prospectados referentes a LT's por fontes de pesquisa.

	CAPES	P&D - ANEEL	SNPTEE	CIGRÉ	IEEE	INPI	Total por área
Estruturas	13	4	15	19	2	0	53
Isoladores	10	3	5	9	27	1	55
Estudos e Projetos	27	25	29	23	17	2	123
Recapitação	2	5	12	25	6	0	50
Condutores	11	6	25	12	8	0	62
Manutenção	2	8	9	17	9	5	50
Monitoramento	7	35	14	27	10	5	98
Meio Ambiente	11	16	8	4	3	0	42
<b>Total por fonte</b>	<b>83</b>	<b>102</b>	<b>117</b>	<b>136</b>	<b>82</b>	<b>13</b>	<b>533</b>

#### A. Teses Acadêmicas Analisadas (CAPES)

Foi analisado um total de 83 teses registradas entre os anos de 1999 e 2008 no banco de dados da CAPES, entre mestrados e doutorados. Dentre estas teses, a maioria concentrou-se na área de Estudos e Projetos, com 27 teses, Estruturas com 13 teses e Condutores e Meio Ambiente com 11 teses cada. Entre as instituições que mais se destacam na produção de trabalhos acadêmicos está a Universidade de Pernambuco com 15% das teses, seguida das Universidades de Minas Gerais e Rio de Janeiro.

#### B. Patentes Analisadas (INPI)

Uma pesquisa no banco de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) não revelou uma produção nacional muito forte no campo de patentes. Foram encontradas apenas 13 patentes no período de 2000 a 2008. Destaque para as áreas de Manutenção e Monitoramento com cinco patentes cada uma.

#### C. Informes Técnicos Publicados no SNPTEE

Com base nos informes publicados no SNPTEE, as áreas que mais se mostraram em evidência foram: Estudos e Projetos e Condutores, que somam 54 trabalhos, o que representa mais de 40% dos trabalhos publicados. O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e Furnas Centrais Elétricas S.A. foram as entidades que apresentaram maior número de informes. A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), Centrais Elétricas do Norte do Brasil (Eletronorte), COPEL Geração e Transmissão S.A. e o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) também tiveram importante participação no SNPTEE.

#### D. Trabalhos Publicados no CIGRÉ

O CIGRÉ tem dado mais atenção aos temas Monitoramento e Recapitação, ficando Estudos e Projetos em terceira posição com relação ao número de trabalhos publicados. Juntas, estas três áreas representam 55% dos trabalhos publicados pelo CIGRÉ em suas Bienais desde 1998.

#### E. Trabalhos publicados IEEE

A base de dados do IEEE aponta para áreas que se preocupam com a natureza elétrica da linha de transmissão. Problemas envolvendo isoladores foi um dos temas mais discutidos entre os anos de 2006 e 2009, seguido pelo tema Estudos e pelo tema Projetos e Monitoramento.

#### F. Programa de P&D da ANEEL

No período de 2000 a 2007, foram analisados 102 projetos no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL relacionados diretamente com o tema Linhas de Transmissão. Os projetos foram apresentados por um total de 31 empresas proponentes e 51 empresas/entidades executoras. Os investimentos totais no período foram de R\$ 58.509.065,25. O destaque é para assuntos relativos a Monitoramento, Estudos e Projetos e Meio Ambiente que, juntas, levam cerca de 74% do investimento total.

Nota-se da figura 3 que, após o ano de 2001, acontece um “boom” de investimentos em P&D na área de linhas de transmissão atingindo um auge no ano de 2005. Porém, a partir deste ano, os investimentos se reduziram. Este movimento acompanha não somente os valores em investimento, mas também o número de pesquisas.

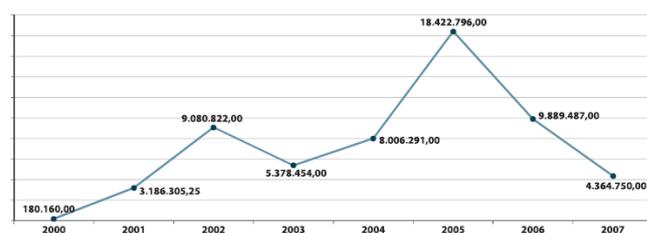


Figura 3 – Evolução dos Investimentos em R\$ em P&D no Brasil relacionados a LT's (Fonte: P&D ANEEL).

No que tange às empresas proponentes, a Eletronorte destacou-se bastante com relação às demais, apresentando 22 projetos dentre os 102 analisados. O Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e a Universidade do Pará (UFPA) demonstraram ser grandes pólos de execução de projetos de P&D com 12 e 6 projetos, respectivamente. O CEPEL e o CPqD também demonstraram muito interesse no assunto.

#### G. Seleção dos Temas Mais Promissores com Base nas Prospecções

Foram selecionados 98 temas mais promissores em termos de desenvolvimento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Espera-se que os investimentos em P&D nos temas apontados possam trazer benefícios para redução dos custos decorrentes das diversas atividades visando à implantação de uma linha de transmissão, melhoria do desempenho com conseqüente redução das saídas das linhas, redução dos impactos ambientais e indicação de novos processos e tecnologias que possam ser utilizados para aumentar a capacidade das linhas existentes e aplicados na expansão do Sistema Elétrico

Como resultado das prospecções realizadas foram elaborados relatórios para cada uma das áreas estudadas dentro do

tema Linhas de Transmissão. Esses relatórios continham os temas mais abordados e relevantes dentro de cada área e foram selecionados com base nos documentos analisados na etapa de prospecção. Cada relatório parcial foi então enviado à um especialista com alto grau de conhecimento no tema para que fosse dado um parecer. A figura 4 apresenta um diagrama das etapas da fase de prospecção.



Figura 4 – Diagrama da fase de prospecção.

Após a fase inicial de prospecção, que durou seis meses, foi realizado um seminário com especialistas da área de LT's. Este seminário teve por objetivo apresentar os resultados das prospecções realizadas e iniciar a fase de hierarquização conforme descrita a seguir.

#### IV. METODOLOGIA DE HIERARQUIZAÇÃO E SELEÇÃO DOS TEMAS PROMISSORES

Identificados os temas mais promissores a partir de prospecções bibliográficas realizadas nas fontes de informação referentes a linhas de transmissão, tornou-se necessário analisar as metodologias que permitissem a sua hierarquização. Neste sentido, foi realizada uma pesquisa sobre as principais metodologias de hierarquização disponíveis na literatura. Dentre as alternativas identificadas, destacaram-se Análise Custo Benefício, Análise de Regressão, Análise Multicritério, Levantamento Documental, Metodologia Delphi, SWOT, Construção de Cenário, Grupo Focal, Survey, Modelos Computacionais de Equilíbrio, Benchmarking, Roadmap, entre outros.

Após a análise destas opções, foi escolhida a metodologia Delphi que pode ser utilizada para se obter consenso de opiniões sobre o objeto que se está investigando. Baseia-se na aplicação de questionários, durante sucessivas rodadas, a um grupo de especialistas. A cada rodada, os participantes recebem feedback sobre os resultados da rodada anterior, os quais são submetidos a tratamento estatístico, ou seja, uma abordagem quantitativa dos dados.

Este método pode variar em decorrência de sua execução. O convencional é quando o especialista recebe o questionário impresso e, depois de respondido, devolve-o para o pesquisador. O Delphi Conference é realizado com computadores interligados em rede e os especialistas se reúnem ao mesmo tempo para responderem às perguntas e, por último, pode-se utilizar o Delphi eletrônico onde os questionários são enviados via internet.

No caso presente, foram utilizadas duas rodadas de consulta aos especialistas (ver figura 5). Uma primeira rodada foi realizada durante o seminário realizado, apresentando para os participantes um questionário com os temas selecio-

nados previamente. Após a análise e consolidação das respostas, foi realizada via internet uma segunda rodada de consulta aos especialistas inscritos no seminário.

A partir dos resultados da segunda rodada elaborou-se uma metodologia de análise da sensibilidade dos resultados e a partir desta análise foram extraídos os cinco temas mais relevantes apontados pelos especialistas.

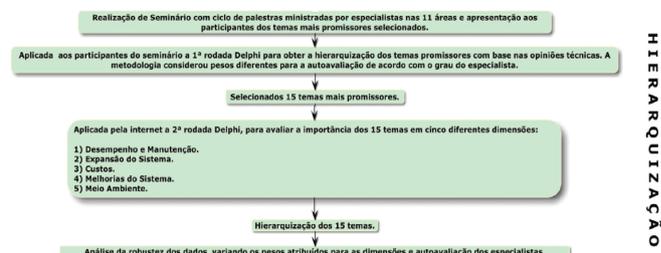


Figura 5 – Diagrama da fase de hierarquização.

#### A. Resultados da Primeira Rodada Delphi

Durante o Seminário organizado, cada uma das áreas de conhecimento relacionadas às linhas de transmissão foi contextualizada por especialistas do setor. Participaram da primeira rodada Delphi presencial um total de 108 pessoas.

Após cada uma das apresentações, questionários contendo os temas mais promissores correspondentes a área foram entregues aos participantes solicitando o seu preenchimento de acordo com as seguintes réguas:

A primeira régua se referia à avaliação do grau do conhecimento do participante em cada um dos blocos de assunto. Este grau de conhecimento será aplicado como peso para as respostas sobre a importância de cada tema. i) Perito – Atualmente se dedica a este assunto com profundidade. ii) Conhecedor – Está se tornando um perito, falta alguma experiência, ou já foi um perito há alguns anos, mas se considera pouco atualizado. iii) Familiarizado – Conhece o assunto, já leu sobre o assunto e tem opiniões. iv) Não familiarizado – Não se enquadra em nenhuma das outras categorias.

A segunda régua foi ser aplicada a cada um dos temas, onde os participantes deveriam indicar a importância do tema selecionado com vistas à necessidade de maiores investimentos em termos de pesquisa e desenvolvimento, considerando a seguinte definição

Grau de importância do tema (0 – não sabe a 5 – muito importante) visando à realização de projetos de P&D. Avalia, entre os outros aspectos, aprimoramento das ferramentas de estudos e projeto, aumento do desempenho e confiabilidade, aumento da capacidade de transporte, redução do impacto ambiental, redução de custos dos componentes etc. Os participantes devem considerar que a divisão utilizada em blocos de assuntos visou facilitar a coleta das informações. Em muitos dos aspectos abordados, certamente será necessária uma análise mais detalhada, tendo em vista a integração dos diversos fatores que afetam a implantação e operação de uma linha de transmissão.

A partir do tratamento e análise das informações relativas aos graus de autoavaliação e graus de importância do tema, foram identificados 15 temas mais promissores na visão dos especialistas, conforme relação apresentada abaixo em se-

quência aleatória, sem nenhuma ordem de prioridade.

A. Ampliação da capacidade de transmissão de uma linha de transmissão existente, considerando o monitoramento em tempo real das variáveis elétricas e ambientais.

B. Desenvolvimento de novos métodos de troca e reparo em condutores, isoladores e outros componentes das linhas de transmissão, que não necessitem da interrupção do fornecimento de energia.

C. Sistemas de monitoramento e segurança que possam atuar na redução de falhas em linhas de transmissão provocadas por furto e vandalismo.

D. Aprimoramento da tecnologia de comunicação entre sistemas de monitoramento e as equipes de manutenção com integração a um banco de dados geográficos, com o objetivo de prover maior rapidez nos serviços de manutenção das linhas de transmissão.

E. Metodologias mais apuradas para estabelecer a relação custo versus benefício entre isoladores poliméricos, compósitos e de porcelana, levando em conta variáveis como meio ambiente, manutenção, reposição, durabilidade, nível de tensão da linha etc.

F. Melhorias nos sistemas de diagnósticos de falhas em isoladores, incluindo o desenvolvimento de novas metodologias para estimar a vida de isoladores submetidos a atmosferas poluídas.

G. Pesquisas de novos materiais no ramo da nanotecnologia, visando aprimorar as características isolantes e hidrofóbicas dos materiais utilizados para isoladores de linhas de transmissão.

H. Estabelecimento de critérios e metodologias para análise técnica econômica com vistas à aplicação de condutores especiais.

I. Desenvolvimento de estudos que permitam a máxima compactação das linhas de transmissão, podendo ser estudos com relação a novos arranjos das fases ou novas geometrias de torres.

J. Desenvolvimento e avaliação de projetos de novas geometrias de torres que possibilitem reduzir os custos, a agressão ao meio ambiente, facilitar a instalação e aumentar a confiabilidade.

K. Estabelecimento de novos critérios e metodologias para projeto de torres de transmissão de energia elétrica, considerando inclusive revisão de normas de projeto quanto à forma do cálculo das intensidades das forças do vento nas estruturas e quanto à existência de fenômenos de rajadas de vento e tornados.

L. Novos conceitos, estratégias e critérios de planejamento da expansão do sistema, de modo que a alternativa de recapitação das linhas de transmissão existentes possa ser efetivamente considerada como uma alternativa técnica e economicamente viável.

M. Estabelecimento de critérios e metodologias para a determinação da vida útil remanescente de linhas de transmissão existentes, considerando a análise integrada de todos os seus componentes submetidos aos diferentes efeitos elétricos, mecânicos e ambientais.

N. Redução do impacto sobre o meio ambiente provocado pelos campos elétricos e magnéticos de linhas de transmis-

são, considerando principalmente os aspectos de percepção do público relacionado a possíveis riscos para saúde.

O. Utilização de sistemas e ferramentas de geoprocessamento para a gestão, projeto, construção, operação e otimização de linhas de transmissão.

### *B. Resultados da Segunda Rodada Delphi*

Para a segunda rodada de consulta eletrônica Delphi foi elaborado um questionário com 15 temas mais relevantes extraídos da primeira rodada Delphi presencial. Porém, desta vez foi solicitado aos respondentes que avaliassem os itens considerando as seguintes dimensões: i) Desempenho do Sistema ii) Expansão do Sistema atual iii) Custos iv) Melhoria do Sistema Existente v) Meio Ambiente.

A segunda rodada teve 36 respondentes dos quais 10 eram peritos, 13 conhecedores e 13 familiarizados. Para verificar a robustez dos dados encontrados na hierarquização dos temas prioritários para investimento em Pesquisa e Desenvolvimento no setor de linhas de transmissão, foi desenvolvida uma metodologia de análise da sensibilidade dos dados obtidos. Até este ponto, os temas selecionados foram hierarquizados de acordo com a opinião dos especialistas.

Contudo, é necessário entender melhor se a ordem de hierarquização dos temas se altera na medida em que haja uma priorização de uma determinada dimensão em detrimento de outra. Em outras palavras, o que aconteceria com a ordem dos temas selecionados se, por exemplo, fosse atribuído um peso maior à dimensão que avalia o impacto das inovações em relação ao custo e um peso menor à dimensão que prioriza o meio ambiente? Ou vice-versa? E, ainda, se a opinião dos peritos for considerada de maior importância do que a opinião dos conhecedores ou familiarizados no assunto? Visando responder a essas dúvidas, foi realizada a análise de sensibilidade com relação aos pesos da autoavaliação e das dimensões.

A seguir, tem-se a relação dos diferentes cenários criados para simular a robustez dos temas: Cenário C1 – Assume peso 1 para todas as autoavaliações dos especialistas e para todas as dimensões. Cenário C2 – Assume peso 5 para a opinião dos familiarizados, 10 para os conhecedores e 20 para os peritos e, para todas as dimensões, foi considerado peso 1. Cenário C3 – Assume peso 1 para a opinião dos familiarizados, 10 para os conhecedores e 20 para os peritos e, para todas as dimensões, foi considerado peso 1. Cenário C4 – Assume peso 1 para todas as autoavaliações dos especialistas e peso 2 para a dimensão Custos e para a dimensão Melhorias no Sistema, mantendo peso 1 para as demais dimensões. Cenário C5 – Assume peso 1 para todas as autoavaliações dos especialistas e peso 2 para a dimensão Custos, Expansão do Sistema e Meio Ambiente, mantendo peso 1 para as demais dimensões.

Os resultados para as dispersões geradas pelos diferentes cenários podem ser visualizados no diagrama de sensibilidade da figura 6. No gráfico foi estabelecida uma linha divisória dos itens que sempre permaneceram acima da sétima colocação nos cenários

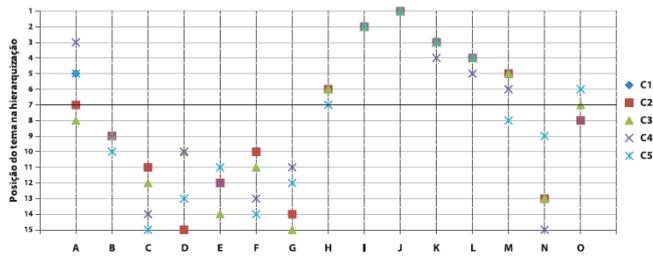


Figura 6 – Diagrama de sensibilidade dos temas para cada um dos cenários propostos.

A aplicação da análise de sensibilidade permitiu a constatação de alguns grupos de temas para inovação tecnológica que aparecem como prioritários e variam pouco nos cenários propostos, enquanto outros apresentam grandes variações. De acordo com o resultado da análise, os cinco itens que se mostraram menos sensíveis aos diferentes cenários foram os itens J, I, K, L e H (descritos na seção IV).

Os itens A, M e O (descritos na seção IV) que em determinados cenários se apresentaram acima da linha, porém em outros se posicionaram abaixo desta, mostrando menos consistência em relação ao valor pré-estabelecido.

## V. ROADMAPPING TECNOLÓGICO

A fim de complementar o trabalho de identificação de temas promissores, foi feito um estudo de cenário futuro, através da ferramenta do Roadmapping, para um determinado tema (fadiga por fretting devido à vibração eólica em cabos condutores). De posse de um ferramental teórico básico e de dados levantados foi possível obter uma visão abrangente sobre o nível de atividade e investimento em pesquisa e desenvolvimento nesse tema, não apenas mas principalmente em nível nacional. Foram propostos roadmaps estratégicos de Pesquisa e Infraestrutura e de Tecnologia e Produção do Conhecimento com avaliação da situação atual, proposta de ações, e cenário futuro esperado. O material produzido torna-se leitura fundamental para os engenheiros e formadores de políticas públicas ligados ao setor de transmissão de energia elétrica.

O roadmapping é uma ferramenta para o planejamento a longo prazo e pode surgir de análises simplificadas ou complexas sobre um determinado tema. Inicialmente, o roadmapping era utilizado com exclusividade no campo empresarial, voltado principalmente para o campo de desenvolvimento tecnológico e continha um forte componente confidencial. No entanto, com o passar do tempo, os roadmaps foram cada vez mais divulgados, e um número crescente de organizações industriais, científicas e governamentais adotou abordagens similares considerando os conceitos fundamentais e adaptando-os de acordo com o contexto.

O roadmapping pode ser estratégico ou tecnológico. O estratégico tem como principal objetivo traçar representações gráficas sintéticas indicando trajetórias a serem percorridas em determinados domínios apontados como altamente promissores. Já o tecnológico tem o objetivo de determinar as tecnologias mais promissoras, tecnologias alternativas, lacunas tecnológicas e em quanto tempo estas estarão disponíveis no mercado. Além de indicar o panorama tecnológico

em um determinado tema, o roadmapping tecnológico também estuda a efetividade da coordenação de múltiplas tecnologias e serve para apoiar previsões de investimentos tecnológicos em áreas-alvo.

Os roadmaps são o produto do roadmapping e fornecem um quadro para reflexão estratégica do futuro, e, no caso do roadmapping estratégicos considerados neste trabalho, mostram ações a serem tomadas nos campos da pesquisa, infraestrutura, tecnologia e produção de conhecimento com base no panorama do desenvolvimento nacional e internacional no tema fadiga de cabos condutores de energia elétrica e vibração eólica.

Com base em dados coletados no Grupos de Pesquisa Cadastrados no CNPq, Web of Science, Derwent Innovations Index SM, Programa de P&D da Aneel, Banco de Teses da CAPES, em universidades e no CGEE, foi realizada uma pesquisa junto ao grupo de pesquisadores ligados ao tema da Universidade de Brasília e produzidos dois roadmaps: um para a dimensão “Pesquisa e Infraestrutura” e outro para “Tecnologia e Produção do Conhecimento”.

Esses roadmaps estão organizados segundo a dimensão associada e cada qual contém objetivo, resumo da situação atual, ações de melhoria e cenário futuro.

O primeiro gráfico traz a crítica situação da pesquisa no Brasil em que foram encontrados poucos grupos de pesquisas, dissertações e teses nas áreas de fadiga em cabos condutores e vibração eólica. Esse é um fato preocupante, haja vista que o tema não é abordado em cursos de graduação, e a assimilação do conhecimento existente e o desenvolvimento de novas tecnologias se dão exclusivamente em nível de pós-graduação.

Apesar da grande importância das pesquisas científicas concernentes à fadiga de cabos condutores de energia, o levantamento de dados acerca dos grupos de pesquisa, pesquisadores e publicações, mostra que ainda há uma grande necessidade de crescimento nesse tema. Nas regiões Sul e Sudeste existem 11 grupos de pesquisa trabalhando no tema, enquanto nas demais regiões apenas dois grupos desenvolvem trabalhos nessa área. Sendo assim, há uma necessidade de ampliar os investimentos no tema, em especial dedicando parte desse investimento exclusivamente para as regiões Norte/Nordeste e Centro-Oeste.

Ademais, com o objetivo de ter mais atores em outras áreas do conhecimento além da Engenharia Mecânica, que domina as pesquisas no tema, é necessário induzir pesquisas em área correlatas, especialmente Engenharia de Materiais.

Nas prospecções realizadas, foram encontrados poucos projetos de P&D, baixa produção científica e inexistência de patentes nacionais. Com isso, o segundo roadmap indica como primeira ação a necessidade de haver uma conscientização dos gestores de P&D sobre a necessidade de ampliação do número de projetos em temas correlatos. Além disso, o número de patentes deve ser mais valorizado por empresas e agências de fomento à pesquisa, de modo que haja uma produção mais relevante de artigos científicos em revistas indexadas e de patentes depositadas.

## A. PESQUISA E INFRAESTRUTURA

### 1) Objetivo

Formar e manter recursos humanos com competência técnica capazes de aumentar a confiabilidade do sistema de distribuição de energia elétrica nacional. Fortalecer, ampliar e manter a infraestrutura física e laboratorial para desenvolvimento de pesquisa e prestação de serviço no tema (ver figura 7).

Situação Atual	Ações	Cenário Futuro
<ul style="list-style-type: none"><li>Poucos grupos de P&amp;D e geograficamente concentrados.</li><li>Poucas dissertações e teses produzidas, com forte concentração na Engenharia Mecânica.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Ampliar os investimentos no tema com parte dos recursos destinados exclusivamente para as regiões Norte/Nordeste e Centro-Oeste.</li><li>Induzir pesquisas prioritárias envolvendo outras áreas do conhecimento, principalmente em Engenharia de Materiais.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Desenvolvimento de competência e formação de talentos em P&amp;D em nível nacional.</li><li>Mais atores das demais regiões e em mais áreas de conhecimento correlatas ao tema.</li><li>Infraestrutura de P&amp;D em fadiga e vibração de cabos mais robusta e distribuída de forma homogênea.</li></ul>

Figura 7 – Roadmap de pesquisa e infraestrutura.

## B. TECNOLOGIA E PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO

### 1) Objetivo

Compreender o fenômeno da fadiga de cabos condutores e a vibração eólica. Desenvolver metodologias e produtos capazes de aumentar a competitividade de empresas brasileiras do setor de transmissão e distribuição de energia elétrica (ver figura 8).

Situação Atual	Ações	Cenário Futuro
<ul style="list-style-type: none"><li>Poucos projetos de P&amp;D no tema, baixa produção científica e inexistência de patentes nacionais.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Conscientização dos gestores de P&amp;D sobre a necessidade de ampliação do número de projetos em temas direta ou indiretamente ligados à área para melhorar a confiabilidade do sistema de transmissão de energia nacional.</li><li>Incentivo à proteção do conhecimento e valorização das patentes como produto nobre de ciência e tecnologia por parte das empresas e agências de fomento à pesquisa.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Empresas brasileiras competitivas em nível internacional.</li><li>Interação consolidada entre empresa e academia nesse tema com produção relevante de artigos científicos em revistas indexadas e de patentes depositadas.</li></ul>

Figura 7 – Roadmap de tecnologia e produção do conhecimento.

## VI. CONCLUSÕES

### A. Prospecção dos Temas Mais Promissores

Como resultado das prospecções realizadas, foram selecionados 98 temas mais promissores em termos de desenvolvimento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Espera-se que os investimentos em P&D nos temas apontados possam trazer benefícios para redução dos custos decorrentes das diversas atividades para implantação de uma linha de transmissão, melhoria do desempenho com consequente redução das saídas das linhas, redução dos impactos ambientais e indicação de novos processos e tecnologias que possam ser utilizados para aumentar a capacidade das linhas existentes e aplicados na expansão do Sistema Elétrico.

### B. Classificação dos Temas Mais Promissores

Estes temas foram classificados em 11 áreas indicadas abaixo. Devendo-se, entretanto, enfatizar que muitos dos temas podem ser classificados em mais de uma área, considerando a sua abrangência. Entre parêntesis, o número de temas selecionados por área.

- Estudos Integrados – Confiabilidade (8).
- Efeitos Eletrostáticos – Eletromagnéticos (6).
- Desempenho de Linhas de Transmissão (8).
- Recapitação de Linhas de Transmissão (9).
- Estruturas (7).
- Fundações (6).
- Condutores de Linhas de Transmissão e Cabos OPGW (12).
- Isoladores de Linhas de Transmissão (11).
- Manutenção de Linhas de Transmissão (7).
- Monitoramento (10).
- Meio Ambiente (14).

### C. Metodologia de Hierarquização – Delphi

Identificados e classificados os temas mais promissores, seguiu-se às atividades de hierarquização destes temas. Para esta tarefa, foi utilizada a metodologia Delphi que foi aplicada em duas rodadas de consulta aos especialistas.

A primeira rodada ocorreu por meio de consulta presencial aos especialistas presentes em Seminário realizado no dia 28 de abril de 2010 na cidade de Brasília. A segunda rodada da metodologia Delphi foi realizada por intermédio de questionário enviado via internet, considerando quinze temas mais pontuados na primeira rodada. Para cada tema, foram apresentadas cinco perguntas específicas, relacionadas às dimensões Desempenho, Expansão do Sistema, Custos, Melhoria do Sistema Existente, Meio Ambiente.

### D. Resultados da Hierarquização

Com base nas respostas dos especialistas, foi possível estabelecer a hierarquização dos temas mais promissores onde se verifica a seguinte ordem de preferência por blocos de assuntos: Projetos de Torres, Compactação, Recapitação, Monitoramento e Geoprocessamento, Condutores, Manutenção, Isoladores, Efeitos Eletrostáticos e Eletromagnéticos.

### E. Análise de Sensibilidade

Para verificar a robustez dos dados utilizados para a hierarquização dos temas prioritários para investimento em Pesquisa e Desenvolvimento no setor de linhas de transmissão, foi desenvolvida metodologia de análise da sensibilidade dos pesos utilizados para a autoavaliação e impacto das dimensões.

Os resultados demonstraram que a hierarquização encontrada é bastante sólida.

### F. A Metodologia de Roadmapping

O roadmapping é uma ferramenta para o planejamento a longo prazo. Inicialmente, o roadmapping era utilizado ex-

clusivamente no campo empresarial, voltado principalmente para o desenvolvimento tecnológico de produtos, muitas das vezes de caráter confidencial. Contudo, com o passar do tempo, os roadmaps vêm sendo cada vez mais utilizados por um número crescente de organizações industriais, científicas e governamentais, que adotaram abordagens similares considerando os conceitos fundamentais e adaptando-os de acordo com o contexto.

### *G. O Roadmapping Estratégico*

O roadmapping estratégico considerado neste projeto aponta para o item relativo à pesquisa e infraestrutura as ações necessárias para formar e manter recursos humanos com competência técnica capazes de aumentar a confiabilidade das linhas de transmissão e fortalecer, ampliar e manter a infraestrutura física e laboratorial para desenvolvimento de pesquisas e prestação de serviços no tema. No item relativo à tecnologia e produção do conhecimento, são apresentadas ações necessárias para compreender o fenômeno da fadiga de cabos condutores e a vibração eólica e, ainda, desenvolver metodologias e produtos capazes de aumentar a competitividade de empresas brasileiras do setor de transmissão de energia elétrica.

## VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo suporte ao desenvolvimento deste projeto: Marcio Szechtman, Geyza Gabrielli Rigo, pela TAESA, Francisco Rogério Fontenele Aragão pela FINATEC e os professores Antonio Cesar Brasil e Ivan Marques Camargo pela UnB.

### Referências Bibliográficas

#### *Livro:*

- [1] Maduro-Abreu A., Saavedra A. R., Araújo J. A., Murça L. B., Fragelli R. R., Frontin S. de O., Rego V. B., “Prospecção e Hierarquização de inovações Tecnológicas Aplicadas a Linhas de Transmissão”, Brasília, 2010.