



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Analise do Valor para Isoladores de Seção em Sistemas Catenários de Tração Elétrica

Trabalho de Conclusão de Curso

Aluno: Erico da Silva Vitorino Gomes
Orientador: Benedito Antonio Luciano

Campina Grande
Fevereiro de 2007



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Analise do Valor para Isoladores de Seção em Sistemas Catenários de Tração Elétrica

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às exigências para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.

Erico da Silva Vitorino Gomes
Aluno

Benedito Antonio Luciano
Orientador

Campina Grande
Fevereiro de 2007



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

Agradecimentos

A Deus por tudo.

Ao meu tutor de estagio, M. Lionel, pelos conselhos, pelos conhecimentos e pelo grande amigo que se tornou.

A M. Ligonniere que acreditou no meu potencial e me ajudou diariamente durante o estagio.

Ao meu orientador, prof. Benedito Antonio Luciano, pela ajuda nessa etapa final do estagio e como grande conselheiro.

Aos meus amados pais, João e Maria, que tornaram real o sonho de realizar este estagio na França.

A todos os meus amigos e companheiros que foram essenciais durante todo o curso de engenharia.

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Evolução em velocidade do material rolante	8
Figura 2.2 – Domínios de trabalho da direção de engenharia.	11
Figura 3.1 – Sistema de tração elétrica.	15
Figura 3.2 – Cabos e fios utilizados na catenária.	16
Figura 3.3 – Armamento catenário.	17
Figura 4.1 – Símbolo do isolador de seção.	18
Figura 4.2 – IS Galland tipo 211625	18
Figura 4.3 – IS Flury tipo HS25.	18
Figura 4.4 – Isolamento a lamina de ar.	19
Figura 4.5 – Utilização de um isolador de seção em uma via de comunicação.	19
Figura 5.1 – Divisão do tempo disponível para cada etapa.	22
Figura 6.1 – Desenho do isolador de seção 211625 da empresa Galland SARL.	26
Figura 6.2 – Características geométricas do plano de contato dos isoladores de seção.	28
Figura 6.3 – Desenho do isolador de seção protótipo proposto na conclusão do estagio.	30

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Resumo da evolução do sistema elétrico para tração.	13
Tabela 5.1 – Divisão das etapas do projeto.	21
Tabela 5.2 – Documentos produzidos durante o estagio.	22
Tabela 6.1 – Visitas realizadas durante o estagio.	26
Tabela 6.2 – Características elétricas dos isoladores de seção.	27
Tabela 6.3 – Características mecânicas dos isoladores de seção.	27
Tabela 6.4 – Características geométricas dos isoladores de seção.	27
Tabela 6.5 – Análise funcional dos isoladores de seção.	29
Tabela 7.1 – Exemplo da tabela de custos	33

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
2. SNCF	7
2.1 <i>Historia</i>	7
2.2 <i>Atualidades</i>	9
2.3 <i>Apresentação do departamento IG.TE-ZC11</i>	11
3. APRESENTAÇÃO DO SISTEMA ELETRICO PARA TRACÇÃO	13
4. ISOLADOR DE SEÇÃO	18
5. DESCRIÇÃO DO PROJETO	21
6. PROJETO DE ANALISE DO VALOR	24
6.1 <i>Metodologia</i>	24
6.2 <i>Pré-Projeto</i>	25
6.3 <i>Procura de Informações</i>	25
6.4 <i>Analise Funcional, de Idéias e de Aplicabilidade</i>	28
6.5 <i>Conclusões do Projeto de Analise do Valor</i>	30
7. ESTUDO DO CUSTO DE CICLO DE VIDA	32
7.1 <i>Metodologia</i>	32
7.2 <i>Realização da analise de LCC</i>	32
8. CONCLUSÃO	34
9. BIBLIOGRAFIA	35
ANEXO – Hierarquia SNCF	36

1. Introdução

Este relatório tem como objetivo descrever o projeto de análise do valor para isoladores de seção, realizado em parceria com a empresa SNCF (Société National des Chemins de Fer Français), especificamente no Departamento de Princípios, Materiais, Montagens, Gabaritos e Nomenclatura (ZC11) e faz parte do Departamento de Tração Elétrica (IG.TE), localizado na avenida François Mitterrand, nº 6, na cidade La Plaine Saint Denis – França. O projeto foi desenvolvido no período de julho 2006 a janeiro 2007.

Na primeira parte deste relatório é feita uma apresentação da empresa que além de exploradora das linhas ferroviárias francesas trabalha, também, com a evolução tecnológica e a manutenção das linhas ferroviárias propriamente ditas.

Na segunda parte é descrito o sistema catenário, seus princípios e principais componentes, com destaque para o isolador de seção que é o sujeito do projeto de análise do valor.

A terceira parte é destinada à descrição projeto, a metodologia utilizada, os documentos escritos e à apresentação de conclusão do projeto.

2. SNCF

2.1 Historia da Empresa

A convenção de 31 de agosto de 1937, assinada entre o estado francês e as grandes empresas privadas de exploração ferroviárias existentes na época criou a *Société Nationale des Chemins de Fer Français* (SNCF). Três diretrizes caracterizaram esta convenção:

- Fundir as diversas malhas ferroviárias em uma única malha nacional;
- Colocar essa única malha sobre a responsabilidade do estado;
- Fazer com que essa malha equilibrasse suas receitas e despesas.

Neste ponto a SNCF era uma sociedade anônima de capital misto onde o estado francês possuía a maioria do capital (51%) e o resto das ações pertenciam a iniciativa privada. O contrato de criação da SNCF era na verdade uma nacionalização a crédito, pois as ações do setor privado seriam compradas progressivamente durante os 45 anos de duração da convenção. No final da convenção de 37 (31 de dezembro de 1982) o estado seria o único acionário da SNCF.

Em 27 de Janeiro de 1971, o estado francês modificou a convenção inicial da SNCF com a finalidade de colocar a empresa sobre o mesmo nível dos outros meios de transporte, com um porte suficiente para suportar a concorrência. Na oportunidade, a SNCF foi desligada da tutela dos poderes públicos e se tornou totalmente responsável pelo seu controle financeiro. O estado estaria encarregado apenas de pagar contribuições específicas a empresa (encargos sociais e trabalho de serviço público).

Nessa mesma época, nasce a idéia do TGV (trem a grande velocidade), em 1972 um trem protótipo movido a uma turbina a gás, o TGV001 (trem laranja da figura 2.1), chegou a 318 km/h nos ensaios à grande velocidade. Com o primeiro choque do preço do petróleo, na mesma época do desenvolvimento do TGV, a SNCF renunciou à utilização da turbina a gás e começou a investir em trens elétricos que na época chegaram a atingir 260 km/h nos ensaios na linha entre Strasbourg e Colmar.



Figura 2.1 – Evolução em velocidade do material rolante.

O TGV à tração elétrica é a síntese do progresso da tecnologia ferroviária (perfil aerodinâmico, estabilidade e captação da corrente elétrica à grande velocidade, sinalização na cabine, etc.). A velocidade máxima para exploração foi fixada em 270 km/h, em 1981, ligando Paris a Lyon em 2h.

Em 31 de dezembro de 1982, a convenção de 1937 expirou e todos os ativos da empresa pertenciam ao estado francês. Guardando a sigla familiar, a SNCF mudou de status jurídico: ela agora seria um Estabelecimento Público Industrial e Comercial. A SNCF conseguia uma total autonomia de gestão, foram fixados os seus direitos e obrigações como estatal. Ficou definido que a empresa estaria sobre o comando de um Conselho de Administração composto por 18 membros, sendo:

- 7 representantes do estado,
- 5 escolhidos em razão de suas competências e nomeados por decreto,
- 6 eleitos pelo quadro de funcionários da empresa.

Em 13 de fevereiro de 1997, a SNCF foi desmembrada em duas empresas, o estabelecimento público RFF (*Réseau Ferré de France*) proprietária da infra-estrutura da rede férrea francesa (30880 km exploráveis, onde 14589 km são eletrificados; destes 5839 km em 1500 V e 8653 km em 25 kV. Destes últimos 1540 km à grande velocidade, os outros 97 km são alimentados com outros tipos de tensões de alimentação) e a SNCF (o nome foi mantido mais uma vez por motivos comerciais) encarregada de explorar, evoluir e fazer a manutenção da rede férrea. Essa mudança marcou o início do processo de abertura à concorrência ferroviária na França, onde a partir de 2010 qualquer empresa interessada em explorar as linhas férreas francesas poderá fazê-lo mediante pagamento de pedágios à RFF (a SNCF também paga esse mesmo pedágio à RFF para poder explorar as linhas férreas). As atividades de engenharia e manutenção são pagas pela RFF à SNCF que ficou encarregada das mesmas durante o processo de ruptura da empresa.

2.2 Atualidades

Hoje, a SNCF é um estabelecimento público que conta com 164.888 funcionários (dados de 2005), número de negócios anuais de 15,9 bilhões de euros e produtos bem definidos para o mercado de transporte:

- TGV – Um dos mais importantes serviços de transporte de passageiros na França é dividida em cinco grandes linhas (LGV – linha de grande velocidade):
 - Sud-Est – Ligando Paris a Lyon (280 km/h), contando com 106 TGV e 69 TGV Duplex;
 - Méditerranée – Ligando Lyon a Marselha e a Cote d’Azur (280km/h);
 - Nord-Europe – Ligando Paris a Lille e ao Eurotúnel;
 - Atlantique _ Ligando Paris a Tours, com 105 TGV (300 km/h);
 - Est – Ligando Paris a Strasbourg (junho de 2007 utilizando 320 km/h).
- Corail – Ligação de grandes distâncias, uma alternativa ao TGV, feita com trens mais lentos que o TGV, com uma velocidade máxima de 200 km/h, e que se utilizam das linhas férreas clássicas (não circulam pelas LGV).
- TER (trem expresso regional) – Trem que interliga as cidades de uma mesma região utilizando as linhas clássicas (máximo de 200 km/h) e em alguns casos oferece um conforto superior aos passageiros quando comparado ao TGV.
- Transilien – Serviço especial para a região Ile de France (região parisiense) por onde trafegam aproximadamente 700 milhões de passageiros por ano.
- Fret – Serviço de transporte de mercadorias sobre as linhas férreas clássicas, com um transporte anual de aproximadamente 40 bilhões de toneladas-kilometro.
- Engenharia – Venda de tecnologia e serviços para linhas férreas no exterior, evolução e manutenção das linhas da RFF.

Os números diários do transporte da SNCF são:

- 904.507 passageiros pelas grandes linhas e regionais;
- 1.679.808 passageiros na região Ile de France (Transilien);
- 323.011 toneladas de mercadorias (Fret).

Pelas linhas da RFF circulam diariamente:

- 1.188 trens grandes linhas onde 642 são TGV, o restante é do tipo Corail;
- 6.052 trens TER;
- 4.598 trens Ile de France;
- 1.563 trens Fret.

A SNCF também possui uma participação acionaria em empresas internacionais de transporte de passageiros e mercadorias, as mais conhecidas são:

- Eurostar – Transporte ferroviário de passageiros entre Paris e Londres, em parceria com a rede férrea inglesa, essa filial utiliza o Eurotúnel que passa abaixo do canal da mancha.
- Thalys - Transporte ferroviário de passageiros entre Paris, Bruxelas, Amsterdã e a cidade de Colônia na Alemanha, em parceria com a rede férrea Belga.

No quesito pesquisa e desenvolvimento, a SNCF possui um investimento anual de 30,5 milhões de euros, uma centena de projetos nos mais diversos ramos da ciência estão em curso constantemente, como alguns exemplos podemos citar:

- Pesquisas para melhorar a qualidade dos produtos oferecidos e para desenvolver novos serviços;
- Comandos eletrônicos e telecomando de locomotivas por radio (espera-se que este sistema seja um grande avanço para o Fret SNCF);
- Programas de gerenciamento em tempo real para monitoração e otimização da circulação de trens (Lotus, um sistema que utiliza as tecnologias GPS e GSM para localizar e enviar informações aos trens, e o Ecler, um sistema para ajuda de tomada de decisões em tempo real, já estão à disposição dos responsáveis pela exploração das linhas);
- Estudos de compatibilidade eletromagnética entre o sistema de transmissão de energia catenário, a rede de distribuição EDF (*Électricité de France*), os sistemas de sinalização, o sistema GSM (telefonia móvel) e os sistemas de transmissão de dados wifi.

- Pesquisas na área de conforto sensorial (acústico e visual) e serviços de animação no interior dos trens.

2.3 Departamento IG.TE-ZC11: onde o Projeto foi Realizado

A direção de engenharia (IG) agrupa 3500 pessoas em engenharia regional e na direção central, os agentes contribuem com o desenvolvimento da rede ferroviária francesa, assim como o acompanhamento, a manutenção e a reparação das infra-estruturas.

Os domínios de trabalho da engenharia (figura 2.2) são os conselhos e os conhecimentos, o desenvolvimento de produtos e sistemas, a direção e o gerenciamento de projetos, e a assistência técnica em obras.

A direção de engenharia é organizada em torno das direções de projeto, técnica e regional. Os principais departamentos da direção técnica são os seguintes: estudos de linhas e vias, sinalização, construção civil, tração elétrica e telecomunicações.



Figura 2.2 – Domínios de trabalho da direção de engenharia.

Foi no departamento de instalações fixas de tração elétrica (IG.TE) que o estagio foi desenvolvido, na Divisão de Princípios Catenários e Normalização(ZC1), esta divisão esta dividida em três departamentos:

- Princípios, Materiais, Montagens, Gabaritos e Nomenclatura (ZC11), onde o estagio foi realizado, o que possibilitou a realização deste trabalho de conclusão de curso (TCC);
- Cálculos e estudos especiais (ZC12);
- Ensaio, Sistemas de Medição, Acompanhamento de Produtos e Normalização (ZC13).

O departamento ZC11 é encarregado de todos os desenhos técnicos dos novos equipamentos e daqueles em utilização, de todos os desenhos técnicos de montagens em linha catenária, da homologação de fornecedores e da evolução do material já existente. Cada funcionário ZC11 é encarregado de um sistema específico (aparelho tensor, isoladores, postes, cabos, pendulagens, entre outros).

Muitos estagiários passam pelo departamento ZC11, os de fim de curso de engenharia são encarregados de projetos de evolução da catenária e os de nível técnico trabalham na revisão de desenhos técnicos e de derrogações de montagem.

O departamento utiliza o software Autocad[®] versão 2002 (esta em curso a migração para a versão 2006) e um software para cálculo de pendulagem produzido pelo departamento ZC12.

3. Apresentação do Sistema Elétrico para Tração

Nas origens da rede ferroviária, o carvão, os animais e o vapor eram os únicos tipos de energia disponíveis para a tração. Com a criação dos motores à combustão interna, as locomotivas a diesel apareceram de forma expressiva, ao mesmo tempo em que a energia elétrica era experimentada e as primeiras linhas eletrificadas apareciam (tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Resumo da evolução do sistema elétrico para tração.

Data	Local	Natureza
1842	Grã Bretanha	Primeiro funcionamento de locomotiva a bateria de R.DAVINSON sobre via normal.
1847	Estados Unidos	Realização da demonstração do transporte de 2 passageiros em uma locomotiva de M.FARMER em via estreita.
1850	Estados Unidos	Primeira transmissão de energia por fio aéreo.
1879	Alemanha	Primeiro serviço de passageiros realizado na exposição industrial de Berlin por W.SIEMENS.
1881	França	Primeiro <i>tramway</i> de W.SIEMENS na exposição de eletricidade de Paris com captação de corrente aérea.
1882	Estados Unidos	Primeira locomotiva elétrica para serviço de mercadorias sobre via normal com uma distancia de 5 km: ensaios de EDSON até 60 km/h. Construção da primeira grande central de geração de EDSON para iluminação e força motriz.
1884	Canadá Itália	Primeiro <i>tramway</i> a corrente contínua alta tensão com fio aéreo em Toronto. Primeiro transporte de energia 2000 V ac em Turin.
1890	Grã Bretanha	Primeiro metro elétrico em Londres (5 km em 1500 V cc).
1892	Alemanha	Primeiro ensaio de captação ca trifásica 50 Hz de SIEMENS.
1895	Estados Unidos	Primeira troca da tração a vapor pela elétrica em grandes redes, Baltimore em 750 V cc e captação por 2 trilhos aéreos de 45 kg/m, evidenciando assim a superioridade da tração elétrica em potencia, velocidade e economia. Inicio dos ensaios comparativos entre transmissão ca e cc por WESTINGHOUSE.
1899	Suíça	Primeira linha européia sobre via normal eletrificada (ca, trifásica, 750 V, 40 Hz, 41 km).
1903	Alemanha	Ensaio com uma velocidade de 200 km/h em corrente alternada trifásica 10000 V - 25 Hz.
1924	França	Primeira catenária normal em cobre: entre Bretigny - Dourdan.
1935	Estados Unidos	Parada das eletrificações.
1936	Alemanha	Colocada em serviço a linha de ensaios do Hollental em ca monofásico 20 kV -

		50 Hz
1938	França	Criação da SNCF: rede de 39000 km em funcionamento, onde 3003 km eletrificados, com 336 km em terceiro trilho destes 120 km na periferia oeste de Paris.
1950	França	Primeiro ensaio em ca 25 kV – 50 Hz em Aix les Bains–Annecy realizado por Louis ARMAND.
1955	França	Recorde do mundo de velocidade na linha de Landes em cc 1500 V: 331 km/h.
1961	URSS	Fim da eletrificação mais longa do mundo: Transiberiana. 5500 km em cc 3000 V e em ca 25 kV.
1981	França	TGV PSE (Paris-Sud Est) em ca monofásico 25 kV – 50 Hz e recorde do mundo de velocidade com 380 km/h.
1990	França	Recorde do mundo de velocidade em ca monofásico 25 kV – 50 Hz: 513,3 km/h na LGV Atlântica.
1993	França	Inauguração da LGV norte (Hazebrouck-Calais, Poitiers-La Rochele), em ca monofásico 25 kV – 50 Hz.
1994	França	Interconexão Norte e Sul do TGV.
1996	França	Interconexão Sul e Oeste do TGV Paris e ligação entre Lille e a fronteira Belga.
2001	França	Inauguração da LGV Mediterrânea em ca monofásica 25 kV – 50 Hz.

No início, a corrente contínua era privilegiada, pois era mais simples de ser obtida e controlada. A corrente alternada para tração ferroviária foi posta em prática somente no meio do século 20. Hoje se pode encontrar na França dois tipos de alimentação ferroviária: o 1,5 kV contínuo e o 25 kV alternado. Na Europa outros tipos de alimentação são utilizados como padrão como o 3 kV contínuo e o 15 kV alternado.

Como a energia elétrica não pode ser estocada para a utilização em tração elétrica ferroviária, existe a necessidade de uma alimentação constante do trem. A primeira solução utilizada foi um terceiro trilho alimentado eletricamente que permitia um contato constante com o trem. Esse princípio de transmissão de energia custoso e perigoso foi substituído (ele ainda existe em alguns locais específicos na Inglaterra e em metrô do mundo inteiro) pelo princípio da catenária: uma captação de corrente através de uma linha aérea suspensa destinada a tração elétrica.

O princípio da tração elétrica pela catenária é a seguinte (figura 3.1):

- Uma subestação alimenta eletricamente uma linha aérea;
- O trem capta a energia através do pantógrafo (contato móvel localizado no trem) que entra em contato com a catenária;
- A corrente de retorno volta à subestação através do circuito de retorno, constituído pela terra e pelos trilhos.



Figura 3.1 – Sistema de tração elétrica.

O sistema catenário responsável pela transmissão de energia elétrica é composto por (figura 3.2):

- Cabo portador, que possui além da função elétrica uma função mecânica que é suspender o fio de contato;
- Pendulagem, que assegura a conexão elétrica e mecânica entre o cabo portador e o fio de contato;
- Fio de contato, parte que entra em contato direto com o pantógrafo;
- Cabo de proteção aéreo (CdPA), que serve para interligar todos os postes para que estes estejam no mesmo nível de tensão (terra);
- Trilho, que serve de circuito de retorno para a corrente elétrica até a subestação (a terra só é usada e parcialmente como circuito de retorno na tração elétrica 25 kV alternado no caso 1,5 kV contínuo existem problemas de corrosão eletrolítica dos trilhos quando a terra é usada como circuito de retorno).

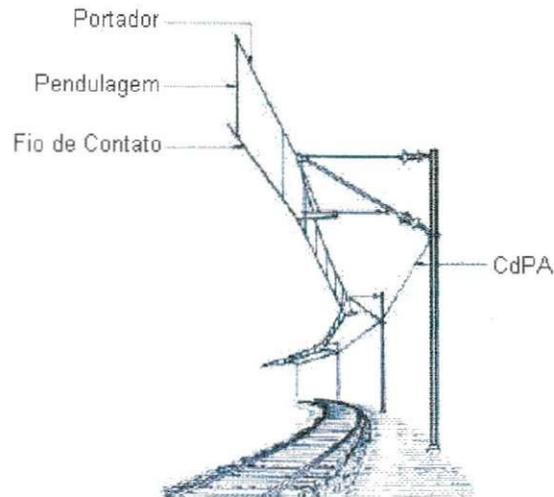


Figura 3.2 – Cabos e fios utilizados na catenária.

O armamento catenário é composto dos seguintes elementos (figura 3.3):

- Os isoladores, que permitem isolar os elementos sobre tensão elétrica dos elementos aterrados ou neutros;
- O console e o *hauban*, que permitem alongar o suporte e manter a geometria da catenária;
- A suspensão do cabo portador (“*pince porteur*” em francês), que assegura mecanicamente a geometria do cabo portador. Esse é um dos pontos fracos da catenária e o sujeito principal de muitos estágios no departamento ZC11;
- A antibalançante, que permite as montagens em compressão e tensão do braço de lembrança;
- A suspensão antibalançante, que mantém a geometria da antibalançante;
- O braço de lembrança, que assegura a diferença no eixo do fio de contato em relação aos trilhos. Como o braço de lembrança deve estar sempre tensionado, existem os dois tipos de montagens padrão: a montagem em tensão e a montagem em compressão.

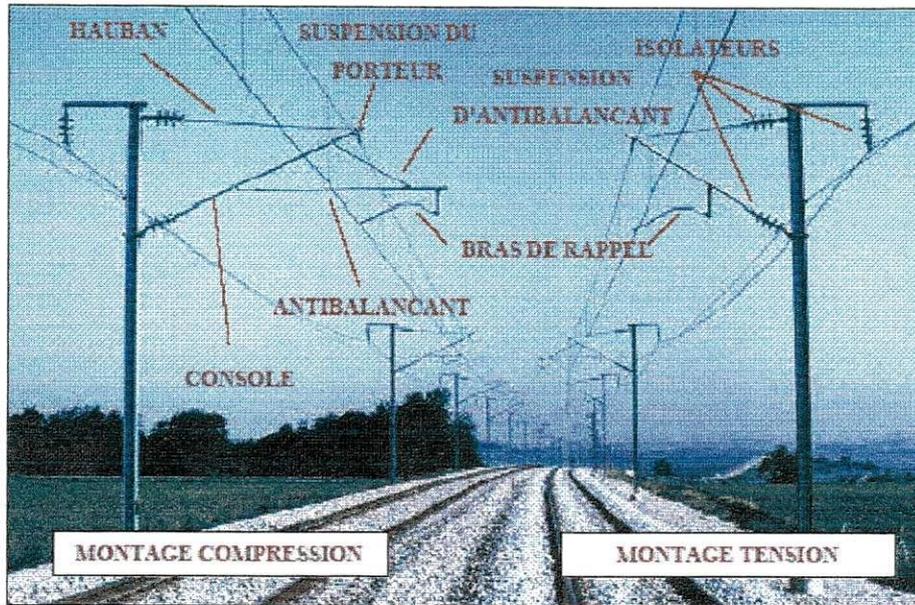


Figura 3.3 – Armamento catenário.

4. Isolador de Seção

Um isolador de seção (símbolo para os planos unifilares na figura 4.1 e dois modelos usados nas linhas catenárias nas figuras 4.2 e 4.3) é um equipamento que permite isolar duas partes do fio de contato. No meio ferroviário esse tipo de isolador é comumente chamado de IS. Além da função de isolamento, o isolador de seção deve permitir também uma boa passagem do pantógrafo sobre o isolador de seção e manter o mesmo alimentado durante toda sua passagem sobre o isolador (isso evita arcos elétricos em todas as passagens do pantógrafo).

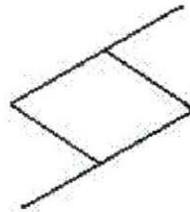


Figura 4.1 – Símbolo do isolador de seção.

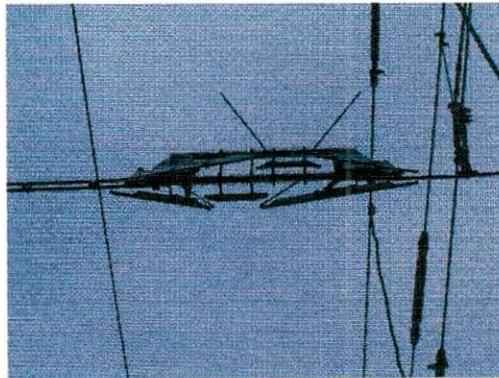


Figura 4.2 – IS Galland tipo 211625

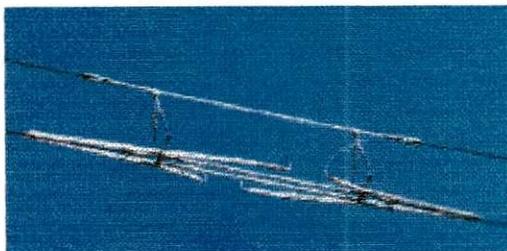


Figura 4.3 – IS Flury tipo HS25.

Antes da concepção dos IS, todos os isolamentos do fio de contato eram feitos a partir de isolações a lamina de ar (figura 4.4), onde postes especiais são postos de maneira que dois fios de contato estejam paralelos entre si, formando assim uma isolação elétrica e mecânica, mas o alto custo, a grande quantidade e a necessidade de uma isolação em espaço reduzido levaram ao projeto de concepção dos isoladores de seção que custam em media menos de 1% do valor da construção de uma isolação a lamina de ar.

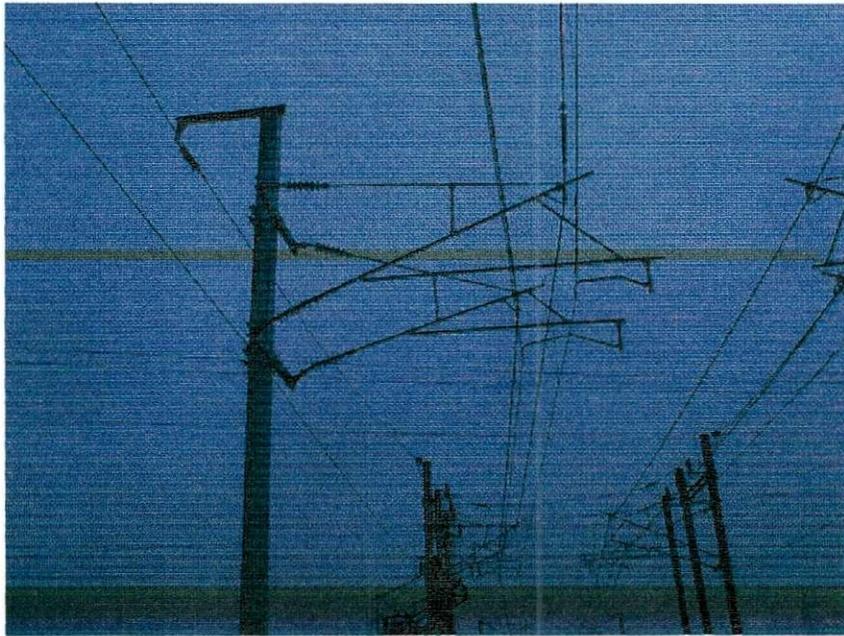


Figura 4.4 – Isolamento a lamina de ar.

No processo de manutenção, uma isolação a lamina de ar é muito mais confiável que um isolador de seção, pois não necessita de intervenções programadas de manutenção e seu tempo de vida é muito superior (não existe um valor preciso, mas pode chegar a mais de 40 anos), mas o baixo custo e a grande rapidez na instalação dos isoladores de seção levam a uma substituição progressiva das isolações a lamina de ar por isoladores de seção.

Os isoladores de seção são aplicados comumente em vias de comunicação (figura 4.5), de maneira que se possa cortar a alimentação elétrica de uma via (em função de uma manutenção ou de um acidente) e manter a via adjacente alimentada e em funcionamento.

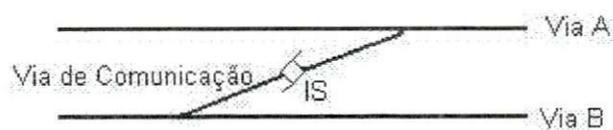


Figura 4.5 – Utilização de um isolador de seção em uma via de comunicação.

Os isoladores de seção são aplicados também na isolação elétrica de vias secundárias (utilizadas para manutenção, carga e descarga de trens, entre outros), vias de estações de passageiros, limites de setor, limites de sub-setor, limites de seções elementares e nas seções de separação de fase, onde estes não deveriam ser aplicados devido às necessidades elétricas desse tipo de isolação serem muito específicas e incompatíveis com as características dos isoladores de seção padrão. Atualmente, existe um projeto para utilização de isoladores de fase, que são muito parecidos com os isoladores de seção, mas com características elétricas particulares e diferentes dos isoladores de seção.

Os isoladores de seção são aplicados nas linhas clássicas onde a velocidade permitida é de no máximo 200 km/h (não são instalados nas linhas de grande velocidade, 220 a 320 km/h, onde são aplicadas isolações a lamina de ar). Existe a necessidade de se aumentar essa velocidade a 220 km/h, mas existe uma preocupação de que os isoladores de seção não suportem trabalhar a essa velocidade.

5. Descrição do Projeto

O projeto foi baseado na metodologia de projetos análise do valor (“analyse de la valeur” em francês) e num estudo de custo de ciclo de vida (“life cycle cost” em inglês) para os diversos tipos de isoladores de seção.

O projeto, utilizando as metodologias citadas, foi direcionado a encontrar os caminhos e soluções para tornar os isoladores de seção mais confiáveis sem que o custo dos mesmos cresça consideravelmente.

É esperado que uma solução padrão venha a substituir os diversos tipos diferentes de isoladores de seção instalados hoje na rede RFF. Assim foi proposto como objetivo do projeto que seria revisada a concepção do isolador de seção, visitas aos fornecedores seriam feitas para discutir os custos e a concepção, e assim tentar encontrar soluções lógicas e baratas para os problemas dos isoladores de seção atuais.

Algumas modificações na planificação inicial do projeto foram feitas devido ao curto tempo para o desenvolvimento do mesmo, duração de seis meses do estágio, onde o qual deveria durar em torno de dez meses para que o projeto fosse realizado de maneira completa. Esse tempo foi estimado devido a grande quantidade de pessoas envolvidas na evolução do material catenário, as grandes dificuldades entre a instalação de novos produtos e a manutenção e uma quantidade considerável de deslocamentos e reuniões necessários a realização do projeto.

Como o tempo disponível para o projeto era limitado, ficou a cargo do estagiário desenvolver o plano de trabalho, onde ficaram definidas quais seriam as etapas do projeto e o tempo disponível para a realização de cada etapa. Seguindo a lógica da análise do valor (AV) e do estudo de custo de ciclo de vida (LCC), o projeto foi dividido da seguinte maneira (tabela 5.1 e figura 5.1):

Tabela 5.1 – Divisão das etapas do projeto.

Etapa	Domínio	Descrição
A	AV	Estudo da metodologia de projetos, do sistema catenário e do trabalho já realizado sobre os isoladores de seção.
B	AV	Coleta de informações e idéias a desenvolver junto aos agentes catenários e aos fornecedores.
C	AV	Análise das idéias e um estudo da aplicabilidade com o objetivo de encontrar soluções viáveis.

D	AV	Análise comparativa (financeira, técnica, manutenção, etc...) entre as soluções encontradas e que possuem uma possibilidade técnica de serem aplicadas.
E	LCC	Pesquisa de custos ligada aos isoladores de seção já existentes.
F	LCC	Análise de custo de ciclo de vida dos isoladores de seção.
G	AV e LCC	Preparação para a apresentação das conclusões do estagio.

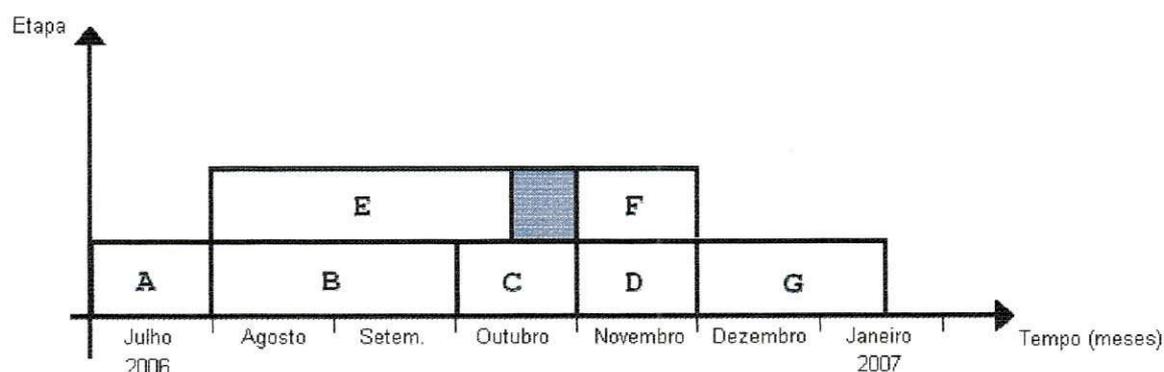


Figura 5.1 – Divisão do tempo disponível para cada etapa.

A estas etapas foi dado um espaço de tempo maior:

- A etapa B é constituída de reuniões e deslocamentos em toda a França, de maneira que dependeu da disponibilidade dos agentes catenários e dos fornecedores;
- A etapa E devido a sua complexidade, pois não existiam métodos para calcular custos de manutenção e instalação e os dados da empresa muitas vezes não são confiáveis;
- A etapa G para que a elaboração do relatório final, da apresentação das soluções e das conclusões do estagio fossem realizadas de maneira bem elaborada.

Foram definidos também quais seriam os documentos escritos no fim de cada etapa (tabela 5.2), para que o avanço do projeto estivesse constantemente sendo acompanhado pelo tutor e pelos chefes.

Tabela 5.2 – Documentos produzidos durante o estagio.

Etapa	Ao final
A	Emissão do plano de trabalho do estagio.
B	Relatório sobre os contatos com agentes catenários e fornecedores.
C	Emissão de um documento contendo todas as idéias obtidas mesmo aquelas que não possuem condições técnicas ou financeiras para serem aplicadas

	("brainstorming").
D	Relatório contendo as possíveis soluções e uma análise comparativa entre elas.
E	Relatório sobre a análise de custos.
F	Emissão de um documento sobre o estudo de custo de ciclo de vida dos isoladores de seção.
G	Apresentação do estagio na empresa e relatório final do estagio.

6. Projeto de Análise do Valor

6.1 Metodologia

A estratégia de trabalho da Análise do Valor é constituída de 7 etapas:

- Orientação da ação de AV: Fase que define os objetivos e os limites para o estudo (objetivos de qualidade, custos, tempo disponível, definição de cargos, entre outros).
- Procura de informação: Coleta de informação pelos membros do grupo de trabalho, cada um no seu domínio (comercial, técnico, social, entre outros).
- Análise funcional, de custos, validação de necessidades e objetivos: Tradução das necessidades para a forma de funções identificadas, corretamente formuladas, hierarquizadas, organizadas e pesadas com a finalidade de produzir um documento da funcionalidade do equipamento.
- Procura de idéias e de vias de solução: Decomposição das funções em idéias de solução, depois recombinação e avaliação das diversas soluções e funções obtidas.
- Estudo e avaliação das soluções: Qualquer idéia de solução é julgada possível no final da fase precedente. Nessa fase é feita a avaliação da possibilidade de se colocar em prática cada idéia através de um pré-projeto, avaliar seus custos e seu nível de qualidade.
- Apresentação das soluções desejadas: Recomendações de construção, nível estimado para cada critério, estimação de custos, lista de vantagens e desvantagens, tempo disponível.
- Realização da solução escolhida: Acompanhamentos da aplicação para verificar se aparecem desvios para com as previsões e propor eventualmente ao chefe de projeto as possíveis ações corretivas.

6.2 Pré-Projeto

O pré-projeto corresponde à primeira etapa da análise do valor. Para o desenvolvimento do nosso projeto ficou definido que seria realizada a contratação de um estagiário e que este seria o responsável por fazer a planificação do projeto.

A planificação foi citada no capítulo anterior e os custos seriam os mínimos possíveis, pois o projeto seria praticamente teórico, ou seja, não seria necessário realizar a última etapa da análise do valor: a realização da solução escolhida.

Ao estagiário foi dado um tempo de adaptação, isso devido ao sistema catenário ser bastante particular e geralmente não ser estudado durante os cursos de graduação em engenharias. Assim durante o primeiro mês foi realizado um estudo sobre o sistema de distribuição de energia aos trens (dos pontos de vista elétricos e mecânicos) e os diferentes componentes que constituem a catenária.

6.3 Procura de Informações

A procura por informações é a segunda etapa da metodologia da análise do valor. Como essa metodologia foi desenvolvida para ser trabalhada em grupo, adaptações foram realizadas ao nosso projeto, de maneira que ficou a cargo do estagiário procurar essas informações em diversas regiões fora da engenharia da empresa, mesmo que essas informações não pertencessem ao domínio de formação do estagiário.

A primeira grande descoberta foi a falta de confiança no modelo Galland 211625 (figura 6.1). Esse tipo de isolador de seção foi homologado para a velocidade de até 200 km/h, mas apenas uma aplicação na França inteira ele é utilizado nessa velocidade limite, nas outras aplicações a velocidade sobre esse tipo de isolador de seção é limitado em 160 km/h e mesmo assim existe uma grande quantidade de quebra devida a problemas mecânicos e elétricos.

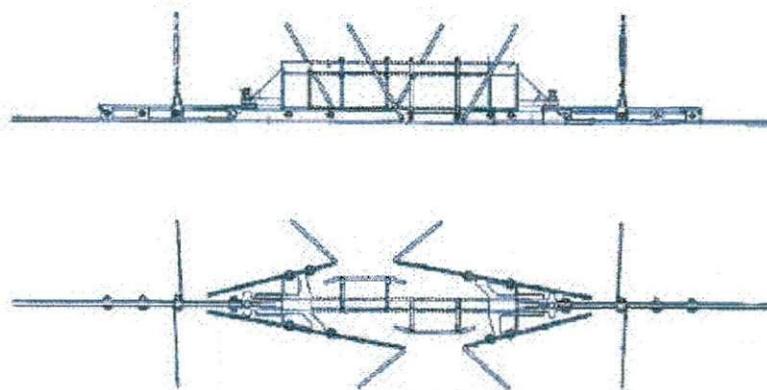


Figura 6.1 – Desenho do isolador de seção 211625 da empresa Galland SARL.

Algumas visitas foram realizadas durante essa etapa, como podemos ver na tabela 6.1 abaixo:

Tabela 6.1 – Visitas realizadas durante o estagio

Data	Nome	Descrição	Local
10/08	M. Nicolini	Visita de campo	Achères
23/08	M. Esnault	Reunião	Paris Nord
25/08	M. Esnault	Visita de campo	Landy Centre et Sud
07/09	M. Covillers	Reunião	Paris Est
12/09	M. Millot	Reunião	Paris Saint Lazare
13/09	M. Naubron	Visita de campo	Paris Montparnasse
21/09	Galland S.A.	Visita de campo	Bordeaux
29/09	M. Bert	Reunião	Paris Gare de Lyon
10/10	M. Cadio	Acompanhamento de acidente	Region Nord
13/10	M. Cadio	Visita de campo	Landy Centre et Sud
09/11	M. Staubli	Visita de campo	Deitingen-Suissa

Muitas informações foram recolhidas durante essa etapa (características elétricas e mecânicas nas tabelas 6.2, 6.3 e 6.4) e uma muito importante que viria a nos ajudar a desenvolver o protótipo seria quais os principais problemas atuais que danificam os isoladores de seção, são eles:

- Depósito de partículas de carbono sobre o isolador de seção provenientes do pantógrafo;
- Diferença de nível no plano de contato devido à utilização de *patins* isolantes (parte utilizada ao lado do isolador para guiar o pantógrafo);
- Quebra do *patin* isolante com uma passagem normal do pantógrafo (fragilidade);

- Formação de bolhas de metal no plano de contato devido a arcos elétricos de grande duração;
- Fenômeno de sobre tensão criada por cabo alimentador isolado;
- Fenômeno de ferro ressonância.

Tabela 6.2 – Características elétricas dos isoladores de seção.

	Ruptura a seco (kV)	Ruptura sob Chuva (kV)	Descarga 1,2/50 (kV)
Limite Técnico	-	80	195
211625 (novo)	78.3	64.5	125
211625 (usado)*	56	46	??
JG2202*	77.6	65.3	??
211249*	79	76.6	??
211370*	56.6	51.3	??
AF Typ HS25	96	88	158

Tabela 6.3 – Características mecânicas dos isoladores de seção.

	Carga Mínima em Tração (kN)	Peso (kg)
Limite Técnico	95	15
211625	80	7.2 (IS)
JG2202*	80	13
211249*	??	22
211370*	??	24.3
JG2178	120	12 (IS)
AF Typ HS25	120	18,5

Tabela 6.4 – Características geométricas dos isoladores de seção.

	Plano Regulavel	Largural Maxima (mm)	Comprimento Maxima (mm)	Linha de Fuga (mm)	Passagem minima entre <i>patins</i> (mm)
Limite Técnico	sim	500	1500	1200	40
211625	não	325	1100	??	??
JG2202	sim	475	1224	??	??
211249	sim	??	??	??	??
211370	sim	??	??	??	??
AF Typ HS25	sim	250	3200	1350	160
JG2178 (1,5 kV)	sim	128	1171	400	??

Os ensaios marcados com um asterisco foram realizados pelo próprio fabricante do isolador de seção e não estão de acordo com as normas técnicas regulamentares europeias.

6.4 Análise Funcional, de Idéias e de Aplicabilidade

Essa etapa do projeto agrupou os pontos 3, 4 e 5 da metodologia de análise do valor. Esse agrupamento foi necessário devido a dificuldades para marcar reunião e era essencial a essa etapa que pontos importantes fossem discutidos em grupo para se chegar a soluções aplicáveis. Assim, uma única reunião foi realizada e nela foi discutida a análise funcional (tabela 6.5) de onde foram tiradas muitas idéias de aplicação dessas funções. Seguem-se os pontos importantes para melhorar a concepção dos isoladores de seção fortemente discutidos e aprovados durante essa reunião:

- Utilizar patins metálicos mais curtos possíveis com a intenção de diminuir as vibrações;
- Efetuar o primeiro toque do pantógrafo com o isolador de seção o mais próximo possível do fio de contato, evitando assim choques mecânicos causados por conta da forma curvilínea dos pantógrafos atuais;
- Utilizar sempre o mesmo material no plano de contato evitando assim diferentes níveis de uso e por consequência diferença de nível que pode causar choques mecânicos;
- Soldar as hastes de sopro de arco elétrico acima do nível do plano de contato;
- Ter uma curva nos pontos de primeiro contato do pantógrafo mais leve possível (com pequenos ângulos);
- Evitar o efeito de ponta e por consequência aperfeiçoar o equipamento;
- Ter uma boa distância de passagem entre os patins de lados opostos (figura 6.2) para evitar arcos elétricos.

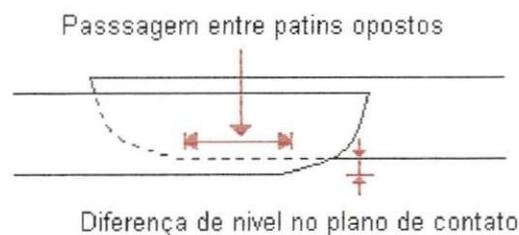
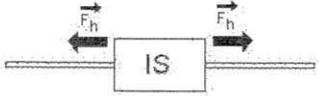
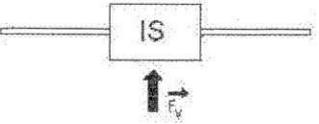
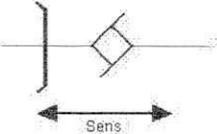
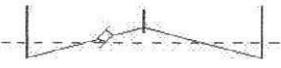
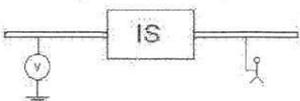
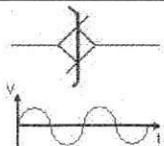
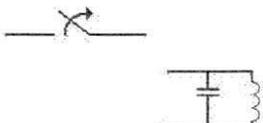
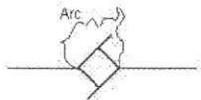
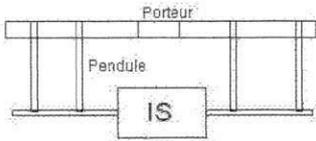
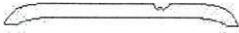


Figura 6.2 – Características geométricas do plano de contato dos isoladores de seção.

Tabela 6.5 – Análise funcional dos isoladores de seção.

Ilustração	Características
	O IS deve suportar a tensão mecânica útil aplicada as duas partes do fio de contato.
	O IS deve suportar a força mecânica vertical que é aplicada a catenária pelo pantógrafo.
	O IS deve garantir uma passagem suave da banda de contato do pantógrafo nos dois sentidos.
	O IS deve ficar dentro da banda útil de contato do pantógrafo qualquer seja sua posição na catenária.
	O IS deve isolar eletricamente, de maneira permanente, duas partes de fio de contato. A tensão elétrica máxima em regime normal sobre o IS é a tensão entre a catenária normalmente alimentada e o regime do trilho.
	O IS deve garantir a continuidade da alimentação elétrica durante a passagem de um aparelho sob o mesmo.
	O IS deve suportar as sobre tensões provenientes de: ferro ressonância, manobras de interruptores e raios.
	Suas qualidades elétricas não devem diminuir por uma eventual sujeira composta de partículas condutoras provenientes do pantógrafo.
	Todo o material nas proximidades do IS não devem ser danificados por possíveis arcos elétricos que possam se formar no IS.

	O IS deve se integrar com todos os tipos de fio de contato.
	O IS não deve provocar choques mecânicos com a banda útil do pantógrafo .
	Todo o material utilizado para fabricar um IS deve respeitar a legislação do trabalho e do meio ambiente.
	Os componentes devem ser integralmente recicláveis.
	O IS deve funcionar normalmente para diferentes condições climáticas e mesmo com a poluição, o IS não deve permitir a acumulação de neve, de água, etc...

6.5 Conclusões do Projeto de Análise do Valor

Depois de discutida a aplicabilidade de idéias muitos modelos de isoladores novos foram rejeitados, esse foram guardados como resultado de um “brainstorming” e uma solução foi escolhida pelo grupo durante a reunião. Essa solução (figura 6.3) contém os pontos descritos no capítulo 6.4 para melhorar os isoladores de seção atuais.

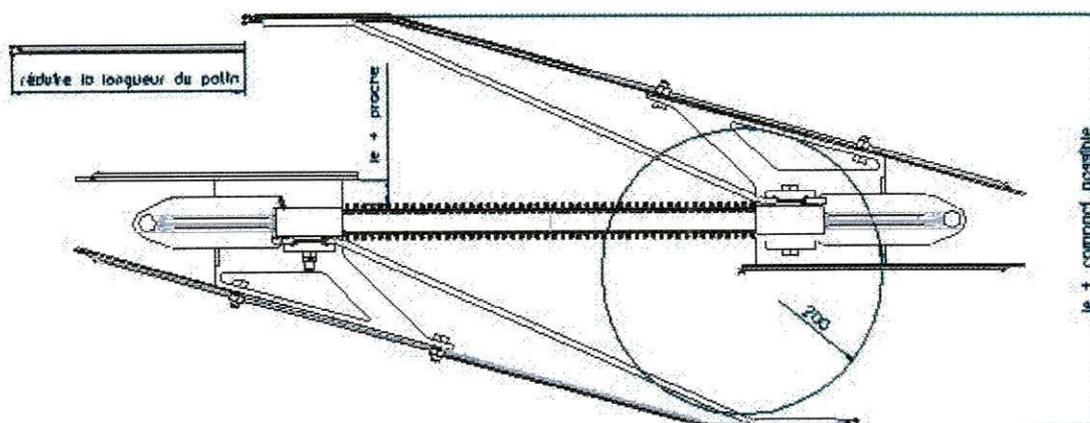


Figura 6.3 – Desenho do isolador de seção protótipo proposto na conclusão do estágio.

Nesse isolador protótipo, a simetria é um ponto muito importante, mas mesmo possuindo simetria é praticamente inviável realizar cálculos de elementos finitos para simular esse equipamento sem a utilização de um *software* específico. Foi procurado nos diversos departamentos da engenharia da SNCF um *software* para realizar esse tipo de cálculo importantíssimo na otimização de equipamentos

Foi encontrado no departamento de engenharia da SNCF, o programa de cálculo de campos, baseado no método dos elementos finitos, ANSYS[®], mas este não possuía o módulo para cálculos elétricos. Assim, ficou proposto nas conclusões do projeto que este módulo fosse comprado para realização de cálculos de elementos finitos não apenas para os isoladores de seção, mas também para qualquer outro equipamento catenário que venha a ser desenvolvido no futuro.

7. Estudo de Custo de Ciclo de Vida

7.1 Metodologia

O custo de ciclo de vida (“Life Cycle Cost”, em inglês, ou simplesmente LCC) é uma ferramenta de gerenciamento que nos permite conhecer o custo de um produto durante toda a sua vida, desde sua fabricação até a sua desmontagem. O cálculo do LCC é a soma de todos os custos ligados ao equipamento em estudo:

$$LCC = C_{IC} + C_{IN} + C_E + C_0 + C_M + C_S + C_{ENV} + C_D$$

Onde:

- C_{IC} = Investimento inicial
- C_{IN} = Custo de instalação
- C_E = Custo energético
- C_0 = Custo de exploração
- C_M = Custo de manutenção e reparação
- C_S = Custo de parada de produção
- C_{ENV} = Custos ligados ao meio ambiente
- C_D = Custos de retirada de serviço e de estocagem

7.2 Realização da Análise de LCC

Durante a etapa E do estágio foi construída uma tabela de custos ligados aos isoladores de seção (exemplo na tabela 7.1), mas devido a dificuldades no cálculo desses custos, algumas lacunas (como os custos ligados ao meio ambiente, à parada de produção e à retirada de serviço) continuam sem resposta, esses valores possuem uma grande variação de um lugar para outro e eles dependem do tipo de aplicação e da vida útil do equipamento (valores não calculados pela Direção de Pesquisa da SNCF que é a responsável por esses cálculos).

Tabela 7.1 – Exemplo da tabela de custos

	211625	211625 reconicionado
Investimento Inicial	827,93 €	358,24 €
Custo de Instalação	700,00 €	700,00 €
Custo Energético	-	-
Custo de Exploração	-	-
Custo de Manutenção	1h	1h
Custo de Parada de Produção	-	-
Custo de Meio Ambiente	-	-
Custo de Retirada de Serviço	-	-

Alguns custos foram estimados em horas/agente, ou seja, equivalendo à uma hora de trabalho de um agente da manutenção, esse valor é uma estimativa, pois na pratica esse valor varia constantemente de caso para caso, devido às manutenções dos isoladores de seção normalmente estarem ligadas à manutenção de outros equipamentos da catenária.

No final, não foi possível realizar o estudo de custo de ciclo de vida como esperado, mas foi possível encontrar os pontos que impossibilitaram o estudo. Em um próximo estudo dessa natureza, o departamento ZC11 estará ciente de quais parâmetros são necessários para se obter uma comparação de custos entre os produtos diferentes de uma mesma categoria, como os isoladores de seção.

8. Conclusão

O projeto no qual este Trabalho de Conclusão de Curso foi desenvolvido propiciou uma oportunidade muito interessante para a formação profissional do aluno, pois foi realizado fora do Brasil. As diferenças entre as línguas e as culturas foram vencidas e o projeto pode ser concluído de maneira satisfatória, tanto para aluno quanto para empresa envolvida no mesmo. Outro ponto importante a enfatizar são as tecnologias envolvidas nesse projeto, já que o setor de tração elétrica brasileiro não possui incentivos a pesquisa e o desenvolvimento e toda a tecnologia deste setor ter sido comprada de países estrangeiros. É fácil perceber a lacuna tecnológica quando falamos nas velocidades envolvidas no projeto, mesmo o Brasil possuindo muitos isoladores de seção instalados estes não apresentam problemas devido à utilização em velocidades abaixo de 100 km/h.

Assim, enfatizamos que os objetivos principais do projeto foram cumpridos:

- Uma análise funcional e técnica do isolador de seção foi realizada;
- Um protótipo como conclusão do estudo de Análise do Valor.

O estudo de “life cycle cost” não pode ser finalizado, mas foram encontrados todos os pontos que dificultaram e impediram o cálculo final dessa análise de custo de grande importância.

Embora tenha ocorrido um atraso de 10 dias nas duas primeiras etapas do estágio, juntamos as etapas C e D em uma única etapa e assim foi possível terminar o projeto uma semana antes do prazo previsto.

8. Bibliografia

AGUET, Michel, e LANOZ Michel. *Haute Tension*. Paris: Lausanne, 2001, 425 p.

BELLUT, Serge. *Les Processus de la Conception*. Saint-Denis La Plaine: Afnor, 2004, 536 p.

AFITEP. *Le Management de Projet*. Saint-Denis La Plaine: Afnor, 1991, 216 p.

DIRECTION DES INSTALATIONS FIXES, *Electrification en Courant Monophasé 25kV – 50Hz*. Paris: SNCF, 1969, 123 p.

DIRECTION DES INSTALATIONS FIXES, *Electrification en Courant Continu 1500V*. Paris: SNCF, 1972, 147 p.

SERVICE TE CATENAIRE, *Isolateur de Section Grande Vitesse Type TT*. Paris: RATP, 1980, 45 p.

DUTRA DE TOLEDO, Edgar, e WANECK MARTINS, Wagner. *Tração Elétrica*. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1976, 319 p.

Documentação interna SNCF.