

MATHEUS MINGATOS FERNANDES GEMIGNANI

**PROPOSIÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS
ALTERNATIVOS DE SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE CURVAS DE
CARGA PARA A DEFINIÇÃO DE TIPOLOGIAS PARA ESTUDOS
TARIFÁRIOS**

São Paulo
2009

MATHEUS MINGATOS FERNANDES GEMIGNANI

**PROPOSIÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS
ALTERNATIVOS DE SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE CURVAS DE
CARGA PARA A DEFINIÇÃO DE TIPOLOGIAS PARA ESTUDOS
TARIFÁRIOS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Sistemas de Potência

Orientador:
Prof. Dr. Carlos César Barioni de Oliveira

São Paulo
2009

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 23 de abril de 2009.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Gemignani, Matheus Mingatos Fernandes

Proposição e análise comparativa de métodos alternativos de seleção e classificação de curvas de carga para a definição de tipologias para estudos tarifários / M.M.F. Gemignani. -- ed.rev. -- São Paulo, 2009.

190p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1. Distribuição de energia elétrica I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. II. t.

Aos meus pais Silvio e Suzana,
pelo amor, lições de vida e apoio que me tornaram quem eu sou.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos César Barioni de Oliveira, meu orientador, por seu apoio e contribuições, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade de São Paulo e ao ENERQ – Centro de Estudos de Regulação e Qualidade de Energia Elétrica, em especial aos professores Dr. Carlos Marcio Vieira Tahan, Livre Docente Dr. Hernán Pietro Smith, Livre Docente Dr. Nelson Kagan e Dr. Marcos Roberto Gouvêa.

À Sinapsis Inovação em Energia, pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento profissional de seus colaboradores.

À Daimon Engenharia, pelos importantes subsídios oferecidos, em particular aos engenheiros Fábio Sismoto El Hage e Mário Miguel Filho.

Aos meus familiares, pelo incentivo e contribuição na minha formação.

Aos amigos engenheiros Daniel Yoshio dos Santos Costa e Wagner Marcelino Gomes da Silva, pelas valiosas contribuições proporcionadas.

A todos que contribuíram diretamente e indiretamente nessa caminhada, especialmente: Thomaz, Sheila, Daniel Carillo, Mário, Thiago, Carolina, Manoel, Antônio Paulo, Marcelo Pelegrini, Henrique, Guaraldo, Franz, Marcelo Lopes, Ivo, Josimar, Mauro Machado, Bruno, Carlos, Polizel, Daniel Duarte, Penin e todos que a memória não me permitiu listar.

RESUMO

GEMIGNANI, Matheus Mingatos Fernandes. **Proposição e análise comparativa de métodos alternativos de seleção e classificação de curvas de carga para a definição de tipologias para estudos tarifários.** 190p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

O perfil de consumo de energia elétrica dos consumidores necessita ser conhecido em detalhe para muitos estudos, sejam eles técnicos ou comerciais. Esse conhecimento pode ser alcançado através da obtenção das curvas de carga de todos os clientes da empresa, porém, devido ao grande número de medidores necessários, essa prática é inviável. A alternativa utilizada atualmente nas revisões tarifárias do sistema elétrico brasileiro emprega a teoria de amostragem associada a técnicas de análise de dados. Após a obtenção das informações, são calculadas as tipologias de carga que representam cada cliente ou transformador, através de etapas de caracterização da carga. Os resultados obtidos permitem uma análise mais precisa do mercado de energia elétrica e, principalmente, o conhecimento da forma como cada classe de consumidores utiliza a rede. Este trabalho envolve parte do estudo mencionado sobre a análise dos dados coletados nas campanhas de medição, propondo e avaliando metodologias alternativas para duas etapas do processo de caracterização de tipologias de carga, a seleção de curvas típicas e a classificação de dados, adequadas às necessidades das revisões tarifárias e com base em métodos heurísticos e nas práticas do setor. Após o desenvolvimento e implementação das metodologias, foram realizados testes entre os processos propostos, comparando e avaliando suas particularidades para duas situações: a semelhança entre as tipologias encontradas para os transformadores e consumidores de um mesmo nível de tensão e o impacto nos custos marginais de capacidade. A análise das comparações realizadas permitiu a identificação dos impactos e características das metodologias desenvolvidas, para cada etapa estudada.

Palavras-chave: Caracterização de consumo, curvas de carga, revisão tarifária, seleção de curvas de carga típicas, classificação de dados, tipologias.

ABSTRACT

GEMIGNANI, Matheus Mingatos Fernandes. **Proposal and comparative analysis of alternative methods on the definition of load curves typologies for tariff reviews.** 190p. Dissertation (M. Sc.) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Knowing the way consumers use the energy is necessary for many studies, either commercial or technical. This knowledge can be reached by obtaining the load curves from all the customers of the company. However, given the great number of measurers necessary, this practice is not viable. The alternative used currently in tariff review in the Brazilian electrical system is based on the sampling theory associated with data analysis techniques. After obtaining the information, the load typologies that represent each transformer or customer are calculated through stages of load characterization. The results obtained allow a more precise analysis of the electric energy market and, specially, the knowledge of how each consumer class uses the electricity network. This research involves part of the previously mentioned study on the analysis of the data collected in the measurement campaigns, considering and evaluating alternative methodologies for two stages of the load typologies characterization process, the election of typical curves and the data classification, adjusted to the necessities of the tariff revisions and on the basis of heuristical methods and electricity sector practices. After the development and implementation of the methodologies, tests have been carried between the considered processes, comparing and evaluating their particularities for two situations: the similarity between the typologies found for transformers and consumers on the same tension level and the impact in the marginal capacity costs. The analysis of the comparisons carried through allowed the identification of the impacts and characteristics of the developed methodologies, for each studied stage.

Keywords: Consumption characterization, load curves, tariff review, election of typical load curves, data classification, typologies.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO.....	13
3 ESTADO DA ARTE	15
3.1 A ORIGEM.....	15
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA CARGA	18
3.2.1 Obtenção dos Dados - Amostra	19
3.2.2 Seleção de Curvas Típicas	25
3.2.3 Classificação de Dados.....	30
3.2.4 Ajuste da Tipologia ao Mercado.....	36
3.2.5 Responsabilidade de Potência.....	37
3.2.6 Custo Marginal de Capacidade	43
3.2.7 Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição	44
4 METODOLOGIA.....	48
4.1 PROPOSIÇÃO DE NOVAS METODOLOGIAS DE SELEÇÃO	49
4.1.1 Maior Impacto no Sistema.....	49
4.1.2 Maior Impacto no Sistema (sem ponta).....	51
4.1.3 Dia Útil Mais Pesado	51
4.1.4 Sorteio.....	52
4.1.5 Curva Média.....	52
4.1.6 Curva Mediana.....	52
4.2 PROPOSIÇÃO DE NOVAS METODOLOGIAS DE CLASSIFICAÇÃO DE DADOS	53
4.2.1 Método das Nuvens Dinâmicas e Método de Ward – Tradicional (Distância Euclidiana).....	53

4.2.2 Método das Nuvens Dinâmicas e Método de Ward – Variação 1 (Ponto a Ponto)	57
4.2.3 Método das Nuvens Dinâmicas e Método de Ward – Variação 2 (Ponto a Ponto Ponderado).....	57
4.2.4 Método das Nuvens Dinâmicas e Método de Ward – Variação 3 (Fator de Carga por Período)	57
4.2.5 Redes Neurais	58
4.3 PROCEDIMENTO DOS ESTUDOS.....	59
4.3.1 Dados Utilizados	60
4.3.2 Seleção de Curvas.....	60
4.3.3 Classificação de Dados.....	62
4.3.4 Responsabilidade de Potência, Associação das Curvas e Custos de Capacidade	65
4.4 AVALIAÇÕES COMPLEMENTARES	67
5 RESULTADOS	68
5.1 SELEÇÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS	68
5.1.1 Tipologias das Transformações	69
5.1.2 Custos de Capacidade.....	74
5.2 CLASSIFICAÇÃO DE DADOS	78
5.2.1 Tipologias das Transformações	79
5.2.2 Custos de Capacidade.....	84
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	89
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO.....	89
6.1.1 Avaliações Complementares.....	89
6.1.2 Escolha das Curvas de Carga Características.....	90
6.1.3 Classificação de Dados.....	92
6.2 PROSSEGUIMENTO DOS ESTUDOS.....	95
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

ANEXO 1 – PROGRAMAS NUDYC E DESCR2.....	100
ANEXO 2 – RESULTADOS DOS TESTES – SELEÇÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS – TIPOLOGIAS DAS TRANSFORMAÇÕES.....	108
ANEXO 3 – RESULTADOS DOS TESTES – SELEÇÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS – CUSTOS DE CAPACIDADE.....	133
ANEXO 4 – RESULTADOS DOS TESTES – CLASSIFICAÇÃO DE DADOS – TIPOLOGIAS DAS TRANSFORMAÇÕES.....	153
ANEXO 5 – RESULTADOS DOS TESTES – CLASSIFICAÇÃO DE DADOS – CUSTOS DE CAPACIDADE.....	174

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de estudos de estrutura tarifária, planejamento, dimensionamento de sistemas, ações comerciais de empresas e programas de conservação de energia entre outros, por parte das empresas de energia elétrica no Brasil, dependem basicamente do conhecimento do modo em que os consumidores utilizam a energia. Para particularizar tal estudo seria necessária a obtenção da curva de carga de todos os pontos onde há o fornecimento de energia. Prática hoje tecnicamente inviável, devido principalmente ao grande número de consumidores em que se instalariam medidores capazes de fazer as aferições necessárias. Por isso, para viabilizar o conhecimento da curva de carga desses milhares de consumidores, utiliza-se a teoria de amostragem, associada a técnicas de análise de dados.

A amostra, no caso da estrutura tarifária, é obtida de alguns pontos do sistema, estratificados em transformadores de sub-transmissão e distribuição, assim como de clientes atendidos em diferentes níveis de tensão, faixa e classe de consumo.

Devido ao grande número de dados obtidos, o emprego de técnicas de análise de dados se torna imprescindível, tanto para a seleção de curvas características que representem cada cliente, como também para o agrupamento destas em tipologias para cada classe de consumidores e transformações. Os resultados obtidos possibilitam a análise da composição do mercado de energia elétrica e a forma como esta é consumida ao longo do dia. Com o conhecimento do comportamento do mercado, pode-se calcular a participação dos vários segmentos do sistema elétrico no consumo de energia e respectiva contribuição na demanda.

Este trabalho envolve parte do estudo mencionado sobre a análise dos dados coletados nas campanhas de medição, em especial a seleção das curvas típicas por cliente e seu agrupamento em tipologias. Atualmente não

existe uma padronização para as metodologias desses processos. A seleção muita vezes é realizada com critérios subjetivos e, em alguns casos, sem a clareza adequada. Também é possível a existência de tendências pessoais das equipes de estudos (nas seleções de forma manual) e com critérios que sofram influência das características pessoais do técnico responsável pela seleção. Existem alguns processos automatizados para a escolha das curvas, que eliminam a influência humana e conseguem resultados mais confiáveis, contudo ainda não apresentam a devida validação. Já as metodologias de agrupamento apresentam quase sempre o mesmo processo, há muitos anos difundido no mercado. Existem variações que prometem melhorar os resultados tradicionais e processos mais modernos para a classificação de dados (agrupamentos).

Assim como na etapa de seleção de curvas típicas, o agrupamento de dados também não possui a devida documentação com testes comparativos entre as metodologias e a sugestão das mais adequadas para os processos de caracterização de carga.

2 OBJETIVO

O objetivo da presente pesquisa é propor diferentes metodologias para os processos de seleção de curvas típicas de clientes e de classificação das mesmas em tipologias, adequadas aos propósitos da caracterização de carga para o intento das revisões tarifárias.

As propostas de definição de curvas típicas devem permitir a seleção automática das mesmas para dias úteis, sábados e domingos, caracterizando as curvas de carga típicas dos clientes e transformações para todos os dados da amostra de clientes de baixa tensão na campanha de medições utilizada nos testes. As metodologias devem ser desenvolvidas a partir de modelos heurísticos, baseados principalmente no conhecimento, na experiência dos profissionais do setor e através de técnicas estatísticas.

As metodologias de classificação devem aprimorar as práticas atuais de agrupamento de curvas, sugerindo e implementando outros processos mais modernos utilizados em outras áreas. Assim como no caso das propostas de seleção, o desenvolvimento teve como base as técnicas estatísticas utilizadas atualmente (nuvens dinâmicas e método de Ward) e algumas variações.

Após o desenvolvimento e implementação das metodologias, ocorrem os testes entre os processos propostos, comparando e avaliando suas particularidades para o enfoque das revisões tarifárias. Nessa avaliação, os resultados obtidos em cada metodologia desenvolvida são complementados com os cálculos necessários para a obtenção das tarifas de referência, obtendo-se as curvas das tipologias da rede e os custos marginais de capacidade. A comparação dessas curvas e custos, de acordo com os métodos de avaliação propostos no trabalho, permite a discussão das diferenças, vantagens e desvantagens dos processos de seleção e de classificação criados.

Desta forma, o objetivo geral da presente pesquisa é propor metodologias alternativas para a caracterização de tipologias de carga, com enfoque nas etapas de seleção e classificação de curvas de carga, comparando-as posteriormente e destacando as particularidades encontradas. O principal ganho deve ser o aumento da eficácia nos estudos para definição de tipologias de carga no que diz respeito ao tempo gasto na análise e à qualidade e confiabilidade dos resultados, permitindo a repetibilidade do processo e a identificação do impacto de cada metodologia na caracterização de carga.

3 ESTADO DA ARTE

3.1 A ORIGEM

Até a década de 1980, segundo VIEIRA [1], “a filosofia considerada para apuração dos custos de produção de energia elétrica utilizada pelo setor, baseada no conceito de custo médio contábil, impossibilitava as concessionárias de se comunicarem com os consumidores, a fim de que aqueles deslocassem suas demandas para horários de maior folga do sistema, ou em contrário, se sujeitassem a um maior ônus, pelo fato de permanecerem na ponta, exigindo do setor maior carga de investimento para atender o somatório de necessidades de energia elétrica”.

Aliada a situação, entre as décadas de 1970 e 1980, a crise econômica vivida pelo Brasil gerou dificuldades econômico-financeiras, conduzindo a cortes drásticos nos investimentos de expansão do Sistema Elétrico e, conseqüentemente, comprometendo a qualidade e a quantidade da eletricidade fornecida aos consumidores. Esse quadro impôs ao Setor Elétrico a busca de uma melhor utilização da capacidade instalada do Sistema, onde se verificou que incentivos tarifários poderiam induzir os consumidores a reorganizar suas demandas, minimizando os custos para o atendimento de um mesmo consumo pelo uso mais racional das instalações existentes.

Em 1985, a ELETROBRAS [2], propôs a utilização dos custos marginais, anteriormente aplicada com sucesso em outros países. O custo marginal – custo de fornecimento para atender a um consumo unitário adicional ao existente – informa o custo que será incorrido pelo sistema elétrico para atender o crescimento do consumo. Obtido o custo de fornecimento, se pode estabelecer uma base tarifária que induza o consumidor a buscar consumos onde a energia é mais barata para ser fornecida. Essa metodologia foi desenvolvida no Ministério de Minas e Energia nos anos anteriores à sua publicação (“Nova Tarifa de Energia Elétrica”, [2]), onde são apresentados os

princípios da tarifação pelo custo marginal, um sumário da seqüência dos cálculos das tarifas e as modalidades de aplicação na Nova Tarifa.

Em outras palavras, PIREs [3] define que “a tarifação pelo custo marginal procura transferir ao consumidor os custos incrementais necessários ao sistema para o seu atendimento. Sua principal motivação é atingir maior eficiência econômica. As tarifas são, então, diferenciadas de acordo com as distintas categorias de consumidores (residencial, comercial, industrial, rural etc.) e com outras características do sistema, tais como as estações do ano, os horários de consumo, os níveis de voltagem, as regiões geográficas etc.”.

Ainda de acordo com a ELETROBRAS, o cálculo das tarifas, dentro do enfoque marginalista, implica perfeito conhecimento do comportamento da carga e dos custos do sistema elétrico, essenciais à avaliação dos custos de fornecimento. Esses elementos, além de servirem de base à tarifação, se constituem também em instrumentos poderosos nas decisões de planejamento e de gestão das empresas produtoras e distribuidoras de energia elétrica. Para a determinação das tarifas de referência, alguns processos devem ser realizados: Caracterização da Carga, Cálculos dos Custos Marginais do Sistema, Cálculo das Tarifas de Referência e Aplicação das Tarifas.

A caracterização da carga é o processo mais importante para esta dissertação, sendo mais bem destacado ao longo do trabalho. As outras etapas podem ser analisadas em detalhe em [2], [4], [5], [6] e [7].

Em linhas gerais, os resultados obtidos em “Nova Tarifa de Energia Elétrica” decorrem da tecnologia absorvida e adaptada ao caso brasileiro e do melhor conhecimento do setor elétrico, podendo ser considerado o trabalho que mudou a mentalidade da cobrança de tarifas no setor elétrico. O roteiro dos processos (caracterização da carga, cálculo dos custos marginais, etc.) é utilizado como referência na maioria dos trabalhos atuais e tem muitos de seus métodos e modelos ainda em utilização.

Em 1989, a ELECTROPERU [4], também motivada pela necessidade de organizar o sistema tarifário vigente no Peru, organizou em 1986 o “IV Seminário Latinoamericano y Del Caribe sobre Tarifas de Energía Eléctrica” para discutir métodos, critérios e experiências relacionadas às tarifas elétricas. As conclusões das opiniões discutidas subsidiaram o desenvolvimento de “Nueva Tarifa de Energia Eléctrica” [4], que contém “metodologías, criterios y resultados destinados a perfeccionar la estructura tarifaria de la energía eléctrica en nuestro país y está basada em condiciones de equidad, simplicidad, neutralidad y eficiencia económica”.

Em 1993, Bitu [5] definiu que a tarifa de energia adequada “é aquela que satisfaz as condições de equilíbrio econômico-financeiro da empresa concessionária, mostra ao consumidor a direção do uso racional (...) e atende aos princípios básicos de eficiência econômica...”. Neste mesmo trabalho é apresentada a tarifa com base nos custos marginais – também conhecida por tarifa integrada – discutindo seus princípios básicos e conceitos fundamentais. No processo de determinação das tarifas integradas (ilustrado na Figura 3.1), é ressaltado que o comportamento da carga é um dos fatores determinantes na formação dos custos de fornecimento, constituindo-se em uma das informações básicas para a determinação das tarifas.

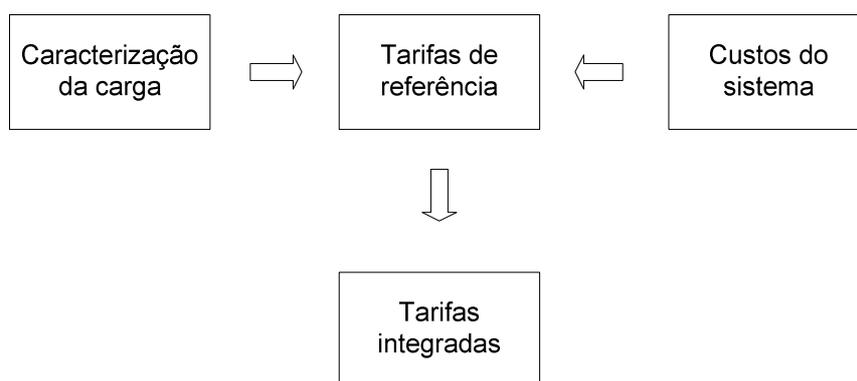


Figura 3.1 – Determinação das tarifas integradas

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA CARGA

No Brasil, a energia elétrica utilizada pelos consumidores é bem conhecida, devido às medições para o faturamento mensal. Porém o mesmo não ocorre quanto aos valores da potência demandada, que se apresenta de modo descontínuo ao longo do dia e tem um custo que varia de acordo com o horário em que é utilizada.

Além do conhecimento do consumo da energia por parte dos usuários, a informação da potência demandada a cada instante (curvas de carga) também é de grande importância para os estudos de otimização técnica e econômica do setor elétrico. Tal informação é primordial para os estudos de investimentos, planejamento e tarifação em uma estrutura que pretenda utilizar o sistema elétrico de forma racional, pois não se pode otimizar um sistema se sua carga não for bem conhecida.

Bitu [5] define a caracterização da carga como a identificação, a qualificação e a quantificação do comportamento da demanda, através de três grandes grupos de atividades: obtenção dos dados, análise da carga e previsão do comportamento.

A estrutura tarifária atualmente definida realiza apenas medições para o faturamento da energia consumida para a maioria dos consumidores, sendo necessária a obtenção dos dados de potência demandada por todos os segmentos do mercado. Na alta tensão (AT), devido ao pequeno número de consumidores, este trabalho consiste apenas em sistematizar e analisar a coleta de informações disponíveis. Nas médias e baixas tensões (MT e BT), com elevada quantidade de consumidores, torna-se impossível o conhecimento das curvas de carga de todos os clientes, realizando-se uma escolha de amostras representativas deste mercado.

Nas técnicas atuais, a fim de se conhecer e detalhar o tipo de carga (nos casos de processos de revisão tarifária¹, foco deste trabalho), são realizados os estudos de: obtenção de dados (amostra da população), seleção de curvas características por cliente e transformador, classificação dos dados (agrupamentos, definição das curvas tipo) e ajuste da tipologia ao mercado. Adicionalmente, para os fins das revisões tarifárias, algumas etapas posteriores são necessárias, como os cálculos da responsabilidade de potência, do custo marginal de capacidade e das tarifas de uso do sistema de distribuição. A figura a seguir apresenta o diagrama simplificado do processo. Logo em seguida, as etapas são descritas conforme a prática atual do mercado.

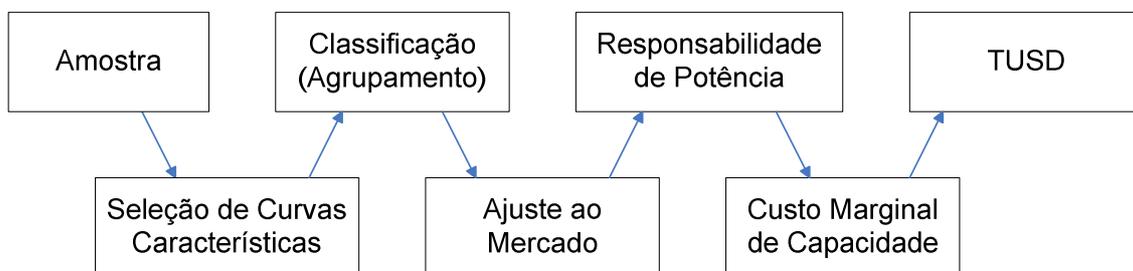


Figura 3.2 – Diagrama do Processo de Revisão Tarifária

3.2.1 Obtenção dos Dados - Amostra

Considerando que o número total de consumidores é elevado e não existir interesse em calcular os custos para cada consumidor, por não ser prático nem necessário (a legislação não permite o estabelecimento de tarifas diferentes entre consumidores da mesma classe), as curvas típicas que representam as formas mais importantes e distintas do comportamento das cargas dos consumidores e do sistema elétrico são definidas por amostragem.

¹ Segundo a Aneel [14], “o Processo de Revisão Tarifária periódica tem como principal objetivo analisar, após um período previamente definido no contrato de concessão (geralmente de 4 anos), o equilíbrio econômico-financeiro da concessão. (...) no momento da revisão tarifária periódica são calculadas as receitas necessárias para a cobertura dos custos operacionais eficientes e a remuneração adequada sobre os investimentos realizados (...)”

Segundo a ELETROBRAS [2], existem duas maneiras principais para a obtenção das curvas de carga: a recuperação de medições e a campanha de medidas.

Na Recuperação de Medições, o trabalho se concentra em recuperar e organizar os arquivos das medições existentes, sendo normalmente utilizado em subestações e nos clientes de alta e média tensão (não se aplica para os clientes convencionais da média tensão), que usualmente possuem o medidor adequado instalado de forma definitiva e não é necessária a instalação de equipamentos exclusivamente para este fim, como nos clientes convencionais de média tensão e na totalidade dos consumidores de baixa tensão.

A Campanha de Medidas consiste em um conjunto de técnicas estatísticas e procedimentos organizacionais, que permitem, a partir de amostras, caracterizar o nível do sistema ou universo de consumidores que se deseja conhecer. Para isso, é necessária a instalação de equipamento de medição para o registro das curvas de carga dos consumidores escolhidos para a amostra.

Bitu [5] ressalta que “as campanhas de medidas devem ter objetivos muito claros e um planejamento cuidadoso, a fim de alcançar as metas previstas a custos razoáveis, em qualidade e quantidade adequadas”, comentando em seguida que a seleção da amostra é fundamental, devendo ser bem estratificada para que se avaliem os diferentes comportamentos das cargas.

Para a realização de uma boa Campanha de Medidas, também é preciso planejar bem as atividades intermediárias, que vão desde a organização até a montagem do arquivo final de dados. As etapas principais da campanha de medidas são descritas a seguir.

3.2.1.1 Escolha da Amostra

A ELETROBRAS [2] define que o principal problema das campanhas de medidas “... é garantir que as amostras que são usadas (...) sejam obtidas por processo adequado e permitam conhecer a população estudada”. Sendo que a solução para esse problema exige determinar quais são as variáveis explicativas do comportamento da população e o cuidado com os critérios definidos para a escolha da amostra é fundamental para a consistência dos dados obtidos. Diante da complexidade para a caracterização da carga em universos que tenham grande quantidade de consumidores, como a média e a baixa tensão, optou-se por estratificar a amostra em faixas de consumo, porte da cidade, atividade econômica, entre outros.

Nos estudos atuais, na fase de planejamento da campanha de medidas, paralelamente à definição dos recursos necessários para a realização da campanha, define-se a estratificação dos consumidores e transformadores e o tamanho da amostra. O dimensionamento das amostras segue critérios estatísticos e os candidatos são definidos através de sorteio aleatório, utilizando-se programa adequado e com base no cadastro dos clientes a serem medidos. A escolha adequada de uma amostra é fundamental para o sucesso da campanha. Vale ressaltar que o dado que será analisado é a curva de carga dos consumidores e transformadores, ou seja, a potência demandada.

Nos estudos de caracterização de carga, a população corresponde aos pontos do sistema elétrico do qual se deseja obter as curvas típicas, e as variáveis de interesse correspondem, portanto, às demandas de energia que representam as curvas de carga destes pontos. Considera-se adequado um intervalo de uma hora para determinação da demanda, logo a variável de interesse é o conjunto das 24 demandas que definem a curva diária. Em muitos casos, como em medições de clientes de baixa tensão, dispõe-se de um conjunto de 96 demandas instantâneas para representação da curva diária de carga, devendo ser convertidas para a padronização de 24 pontos.

Uma amostra é composta por uma parte da população sobre a qual as variáveis de interesse vão ser observadas e analisadas. O conhecimento adquirido com a amostra é então transferido para a população (processo inferencial). Neste contexto, a questão principal é a representatividade. Não há um método preciso que garanta a representatividade de uma amostra. Em estudos de caracterização da carga, uma boa tática é a estratificação da população pelas variáveis que explicam o comportamento da potência demandada pelos consumidores.

Na seleção da amostra, dois conceitos devem ser considerados para garantir que o conhecimento da mesma possa ser transferido para a população: a representatividade da amostra e a precisão.

3.2.1.1.1 Representatividade

As variáveis que mais influenciam a demanda por energia elétrica são: portes de consumo ou demanda, atividade econômica ou processo produtivo, renda, equipamentos elétricos utilizados, região geográfica, dentre outros. A estratificação da amostra garante que consumidores de certos segmentos estejam presentes na mesma, independentemente do processo aleatório de seleção. A utilização da estratificação com o processo aleatório de seleção dos componentes leva a uma amostra com grande probabilidade de ser representativa.

Para se manter a representatividade na estratificação dos consumidores, com base no universo de consumidores atendidos em baixa e média tensão (abreviados por BT e MT) - respectivamente, até 1kV e entre 1 e 25kV - a amostra é normalmente dividida nos seguintes estratos: residencial, comercial, industrial, rural, iluminação pública e consumidores de média tensão. Nas amostras para os consumidores dos níveis de tensões A3a, A3 e A2 - respectivamente, 25-44kV, 69kV e 88-138kV - por existirem medidores

eletrônicos instalados, são utilizadas normalmente as medições de todos, proporcionando um erro amostral de 0%. Assim como nos consumidores de alta tensão, as transformações em subestações também possuem medidores eletrônicos e são utilizadas todas as medições.

Dessa forma, faz-se necessário trabalhar com amostras para os consumidores de média e baixa tensão e para as transformações MT/BT, uma vez que a maioria dos consumidores de média e baixa tensão não possui equipamento apropriado que possibilite o levantamento de suas respectivas curvas de carga. Assim, organizam-se as Campanhas de Medidas, que incluem o que se quer medir e como medir, levantamento da amostra, sorteio e instalação dos medidores. As Campanhas de Medidas devem ser realizadas de forma criteriosa, para que seus resultados possam ser extrapolados para todos os consumidores.

As amostras das campanhas de medidas realizadas podem servir de base para campanhas futuras, uma vez que os erros e dispersões são avaliados.

3.2.1.1.2 Precisão

O tamanho da amostra está relacionado a um segundo ponto importante, que é o erro amostral. Se toda a população fosse estudada, não haveria erro amostral. A precisão do trabalho é inversamente proporcional ao erro amostral. A estatística básica para medir o erro amostral é o desvio padrão da variável de interesse da amostra. Mesmo sabendo-se que a alta precisão não significa necessariamente representatividade (daí a importância da estratificação), o tamanho da amostra a ser selecionada torna-se fator relevante, desde que relacionado com os dois principais fatores levantados. Nos estudos de caracterização da carga, ao se conhecer a dispersão da variável de interesse, ou seja, da potência demandada e admitindo-se uma

determinada probabilidade de erro, pode-se calcular o tamanho da amostra. A equação a seguir apresenta esse cálculo.

$$n_h = \frac{\left(\frac{t * CV_h}{R_h} \right)^2}{1 + \frac{1}{N_h * \left(\frac{t * CV_h}{R_h} \right)^2}}$$

Onde:

n_h –tamanho da amostra

R_h –erro relativo escolhido

CV_h –coeficiente de variação estimado (desvio padrão dividido pela média)

N_h –tamanho da população

t –valor retirado das tabelas de distribuição normal, sendo:

$t = 1,64$ para intervalo de confiança de 90%;

$t = 1,96$ para intervalo de confiança de 95%;

Observação: A distribuição normal é utilizada para populações onde o desvio padrão é conhecido e em casos onde tal conhecimento não existe, utiliza-se a distribuição t-Student. Como a população dos estudos de caracterização de carga é normalmente superior a 100 elementos, o valor “t” pode ser bem aproximado pela distribuição normal (para o intervalo de confiança de 95%, por exemplo, $n=120$ $t=1,98$ e $n=\infty$ $t=1,96$).

Como N_h é, em muitos casos, muito maior que n_h , esta fórmula pode ser reduzida para:

$$n_h = \left(\frac{t * CV_h}{R_h} \right)^2$$

Os CVs são calculados para todas as 96 demandas medidas em cada consumidor e transformador. O CV máximo é relativo ao maior destes valores,

o CV mínimo ao menor e o CV médio à média dos 96 CVs. Para a estimativa do erro amostral utiliza-se o CV médio.

3.2.2 Seleção de Curvas Típicas

Em 1989, a ELECTROPERU [4] definiu que a metodologia de análise, após a obtenção das informações das curvas de carga dos usuários e transformações, deve selecionar aquelas que correspondam a um dia útil típico para os diferentes níveis de tensão.

Em 1985, a ELETROBRAS [2] realizou uma análise do comportamento da energia nos dias da semana, deduzindo: os dias compreendidos entre terça e sexta-feira têm nível de consumo constante; sábados e domingos têm consumos menores (respectivamente, 11% e 26%); e segunda-feira é um dia atípico, principalmente no período da madrugada. Para a escolha da curva representativa do dia útil, utilizou-se como conjunto inicial as curvas de terça a sexta-feira e um metodologia de seleção estatística com base no cálculo do desvio-padrão, sem maiores detalhes e definições.

A ELECTROPERU [4] encontrou resultados semelhantes para o mercado de energia do Perú, estabelecendo o comportamento do consumo de quarta-feira a sexta-feira correspondente ao dia útil normal, registrando consumos de sábado, segunda-feira e terça-feira inferiores em aproximadamente 5% e do domingo em 23%. Assim como no caso brasileiro, a descrição do processo de seleção não é claro.

Atualmente, nesta fase, os clientes elegidos na amostra passam por um processo de seleção de curvas de carga, onde são escolhidas três curvas por cliente, para sábado, domingo e dia útil. O objetivo desta etapa é a obtenção das curvas de carga características que sejam representativas do comportamento típico de cada cliente. Existem duas metodologias utilizadas atualmente para a seleção das curvas características: manual e automática.

3.2.2.1 Seleção Manual

A seleção manual é feita a partir da análise visual das curvas de carga. Alguns programas disponíveis no mercado permitem a visualização das curvas medidas para facilitar a escolha das curvas características. Normalmente são realizadas três análises por cliente, selecionando em cada uma as curvas de dia útil, sábado e domingo. Quando as curvas são muito semelhantes, o resultado fica sujeito à precisão visual do usuário. A visualização pode ser realizada em diferentes intervalos de integração das curvas, porém, com intervalos maiores, as curvas se tornam mais suaves e a identificação pode se tornar mais fácil.

Esta análise das curvas é, tradicionalmente, realizada com critérios característicos da equipe de estudos, com avaliações possivelmente subjetivas e sem muito rigor na padronização, podendo ter resultados diferentes de acordo com o analista envolvido.

3.2.2.2 Seleção Automática

A seleção automática foi implementada em um dos softwares de análise tarifária disponíveis no mercado (SAT, da Daimon Engenharia) com o objetivo de agilizar o processo, aumentar a confiabilidade e permitir a reprodução de resultados. A metodologia utilizada na seleção automática de curvas busca eliminar os eventuais erros associados ao processo de seleção visual, onde pequenas diferenças no perfil das curvas podem ser ignoradas pelo selecionador.

O processo de seleção automática tem premissas diferentes para consumidores e transformações, a saber:

i. Consumidores

A curva representativa deve ser aquela que, dentre as curvas aceitas (conforme critérios abaixo), causa maior impacto no sistema, isto é, aquela que possui as demandas máximas coincidentes com os horários de ponta e conseqüentemente o maior consumo de energia nesse período.

ii. Transformações

A curva representativa deve ser aquela que causa maior impacto na rede durante todo o dia e, dessa maneira, optou-se por se analisar qual curva possui o maior valor do produto da demanda média pela demanda máxima diária. O índice criado por esta multiplicação tem como princípio representar as influências dos dois fatores mais importantes no impacto causado na rede, a energia média e a potência no horário de ponta (a metodologia pode ser avaliada em detalhe em [8] e [9]).

As etapas do processo de seleção automática das curvas são as seguintes:

3.2.2.2.1 Leitura dos dados

Nessa etapa são lidas, para cada cliente, as respectivas curvas de carga medidas durante a campanha de medição, agrupando-as por sábados, domingos e dias úteis.

3.2.2.2.2 Eliminação das curvas incompletas

Nessa etapa, para cada um dos três conjuntos de curvas lidas, são eliminadas aquelas que estiverem incompletas, isto é, que não apresentarem o

mesmo número de pontos esperados pelo intervalo do medidor. Por exemplo, medições feitas com intervalo de integração de 15 minutos geram curvas com 96 pontos diários e qualquer curva da medição que não tenha esta quantidade de pontos deve ser descartada. Normalmente as curvas do primeiro e do último dia da medição são fortes candidatas a se enquadrarem nesse critério.

Esta etapa é essencial, pois curvas incompletas não conseguem representar adequadamente o comportamento diário de um consumidor ou transformação.

3.2.2.2.3 Eliminação das curvas com valores zerados

A partir de um parâmetro configurável, pode-se eliminar de cada um dos três conjuntos de curvas aquelas que possuem valores zerados em percentual superior a um valor de referência. Por exemplo, pode-se definir que as curvas que estiverem completas e que possuem valores zerados acima de 30% do total de valores medidos sejam desconsideradas do processo.

Assim como no caso de curvas incompletas, a existência em excesso de medições zeradas não é adequada para representar fielmente uma carga ou transformação. Usualmente, leituras de carga zeradas são ocasionadas por erros de medição, como defeito ou instalação inadequada dos equipamentos.

3.2.2.2.4 Curva média

Feita a eliminação das curvas incompletas e com valores zerados, são calculadas então as curvas médias de cada conjunto, ou seja, uma curva média para o sábado, uma para o domingo e outra para os dias úteis.

3.2.2.2.5 Eliminação das curvas com fator de carga discrepante

Nessa etapa são calculados o fator de carga de cada curva e o fator de carga e o desvio-padrão da curva média do respectivo conjunto. São eliminadas do processo de seleção as curvas que possuírem fator de carga fora da faixa definida por:

$$\text{Limite Inferior} = Fc_{\text{curva média}} - (n * \text{Desv}_{\text{médio}} Fc)$$

$$\text{Limite Superior} = Fc_{\text{curva média}} + (n * \text{Desv}_{\text{médio}} Fc)$$

Onde n é um parâmetro também configurável.

Esta etapa tem por objetivo excluir curvas que apresentem comportamentos muito atípicos para o consumidor/transformação em estudo, como eventualidades e fenômenos não periódicos.

3.2.2.2.6 Seleção da melhor curva

Feitas as eliminações desejadas e o conseqüente refinamento dos conjuntos das curvas selecionadas, procede-se então à seleção da curva que melhor represente o grupo, através dos seguintes critérios:

Consumidores. Seleciona-se a curva que possuir o maior valor do consumo de energia no horário da ponta. Caso existam curvas com consumos semelhantes (com diferença inferior a um percentual configurável), é escolhida aquela que apresentar o maior consumo de energia ao longo do dia todo.

Transformações. Seleciona-se a curva que possuir o maior valor do produto da demanda média pela demanda máxima.

3.2.3 Classificação de Dados

Em 1993, Bitu [5] afirma “na determinação das tarifas de referência, é de particular importância definir curvas de carga típicas dos consumidores e do sistema...”, através de modelos estatísticos que definem tipologias de carga para diversos pontos do sistema elétrico. Estes modelos devem selecionar as formas predominantes das curvas de carga dos consumidores e do sistema, agrupando curvas que guardam semelhança entre si, procurando minimizar o desvio padrão.

Em 1985, a ELETROBRAS [2] utilizou como método de agrupamento das curvas características para a definição das tipologias da alta e média tensão programas obtidos junto à Eletricité de France, NUDYC e DESCR2, descritos no Anexo 1. Para as tipologias de baixa tensão, principalmente pela falta de dados, obteve-se a curva de carga agregada através da subtração da curva do sistema pelas curvas da alta e da média tensão. Através desta, foram geradas cinco tipologias: três residenciais (definidas a partir do comportamento observado em subestações tipicamente residenciais e estratificadas por consumo), iluminação pública e outros. As tipologias das subestações foram geradas a partir das amostras respectivas, porém sem critério definido no texto do relatório.

Em 1989, a ELETROPERU [4] fez uso de programas equivalentes aos utilizados pela ELETROBRAS, chamados ANA (nuvens dinâmicas – NUDYC) e CLARA (reagrupamento – DESCR2).

Nos estudos atuais sobre a demanda de energia, a determinação das tipologias existentes evidencia a importância do conhecimento da estrutura da população. Na análise de tipologia, quase todos os métodos usam os conceitos de semelhança e distância entre indivíduos para agrupar ou separar os mesmos. As medidas de semelhança são utilizadas nos casos onde as variáveis observadas são contínuas, assumindo valores entre 0 e 1. Valores próximos de 1 indicam que os dois consumidores são bastante semelhantes

em relação às variáveis. As medidas de distância são utilizadas quando as variáveis são quantitativas, assumindo valores não negativos. Valores próximos de zero indicam que os indivíduos têm comportamentos próximos ou semelhantes.

Os métodos de análise de dados utilizam normalmente 3 fórmulas para o cálculo da distância entre dois indivíduos: distância euclidiana simples, distância euclidiana ponderada e X^2 . A medida de distância mais utilizada é a euclidiana simples.

Considerando-se um conjunto de n indivíduos (n consumidores de energia elétrica), sobre os quais p variáveis foram observadas (demandas de energia), a distância euclidiana simples é calculada da seguinte forma:

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{h=1}^{p=N} (X_{ih} - X_{jh})^2}$$

Onde:

$d(i, j)$ - distância entre os indivíduos i e j ;

X_{ih} - valor da h -ésima variável do i -ésimo indivíduo; e

N - número de pontos da curva (24 para intervalos de medição de 1 hora, 96 para intervalos de 15 minutos, etc.).

($h = 1, 2, \dots, p$ e $i = 1, 2, \dots, n$)

Outro conceito importante em análise de tipologia é o da distância entre um indivíduo e um grupo de indivíduos. Esse conceito sempre será utilizado quando o objetivo é agrupar um indivíduo a um dos grupos definidos na fase anterior.

Considerando-se o grupo A com N_A elementos, a medida de distância entre este grupo e um indivíduo Y mais utilizada nos métodos de análise de tipologia é:

$$d(Y, A) = \sum_{h=1}^{p=96} (X_{yh} - X_h)^2$$

Onde:

X_h - (X_1, X_2, \dots, X_p) , chamado de centróide do grupo A, é a média da variável h; e

X_{yh} - valor da h-ésima variável do y-ésimo indivíduo.

3.2.3.1 Classificações

Os métodos de análise de tipologia têm por objetivo agrupar os indivíduos em um número restrito de classes homogêneas, descrevendo os dados com uma redução do número de indivíduos. Existem dois grandes métodos de classificação: os hierárquicos (produzem seqüências de partições em classes cada vez mais vastas) e não-hierárquicos (produzem diretamente uma partição em um número fixo de classes).

3.2.3.1.1 Classificação Hierárquica

Os métodos hierárquicos caracterizam-se pela fixação de um elemento em um determinado grupo, que permanece até o fim do processo. Estes métodos normalmente são aglomerativos, partindo de n grupos com 1 indivíduo e através de agrupamentos sucessivos obtêm (n-1), (n-2), ..., 2 grupos e 1 grupo com n indivíduos. Podem ser também divisíveis, partindo de um grupo com n indivíduos, obtêm 2, 3, ..., n grupos. A escolha do número de grupos

(tipologias) a serem utilizados é efetuada baseada em alguns critérios e na experiência do analista. Estes métodos são adequados quando o número de indivíduos é pequeno.

O método mais comum de classificação hierárquica é o método de Ward. Em indivíduos representados no espaço euclidiano, a qualidade de uma partição é definida por sua inércia interclasse ou intraclasse – inércia interclasse é a média dos quadrados das distâncias entre os centros de gravidade de cada classe e o centro de gravidade total. Uma boa partição é aquela em que a inércia interclasse é grande. Quando se agrupa uma partição de $k+1$ classes em k classes a inércia interclasse diminui. Conclui-se então, que o critério de agrupamento deve ser o seguinte: fundir as duas classes para as quais a perda de inércia é menor, ou seja, reunir as duas classes mais próximas. O método segue repetindo-se este procedimento até que o número de classes almejado seja alcançado, lembrando-se que ao final de cada etapa não se obtém uma melhor partição de classes e sim a melhor partição para $k-1$ classes.

3.2.3.1.2 Classificação Não-Hierárquica

Os métodos não hierárquicos caracterizam-se por admitir que um indivíduo seja alocado em um grupo e posteriormente em outro. Estes métodos, a partir da escolha de um agrupamento inicial, chamado de núcleos iniciais, procuram outros agrupamentos que otimizem um critério. São métodos adequados quando o número de indivíduos é maior que 100.

Os métodos mais comuns deste tipo de classificação são o agrupamento em torno de centros móveis e o método das nuvens dinâmicas.

No agrupamento de centros móveis reúnem-se os indivíduos em torno de k centros arbitrários, gerando para cada um, uma classe associada com o conjunto dos indivíduos que estiverem mais próximos do que de qualquer outro

centro. Calculam-se em seguida os centros de gravidade das classes que acabaram de se formar e efetua-se então uma segunda partição agrupando-se os indivíduos em torno dos centros de gravidade gerados, em substituição aos centros anteriores, e assim sucessivamente, até que a qualidade da partição não possa melhorar mais.

O método das nuvens dinâmicas pode ser considerado uma generalização do método dos centros móveis, com a seguinte diferença fundamental: em vez de se definir uma classe por um só ponto, seu centro, que pode não ser um dos indivíduos do conjunto a classificar, ela é definida por indivíduos que formem um “núcleo”, os quais, se são bem escolhidos, serão mais representativos da classe do que um simples centro de gravidade. A partir dos núcleos iniciais, agrupam-se os indivíduos em torno desses núcleos e calculam-se então, novos núcleos representativos das classes assim formadas. Repete-se o procedimento até que a qualidade da partição não melhore mais. As particularidades do método das nuvens dinâmicas, referentes aos estudos realizados neste trabalho, são detalhadas nos itens 4.2.1 e 4.3.3 e em [2], [6], [8], [10] e [11].

Em ambos os métodos acima, a partição final depende da escolha inicial dos núcleos. A fim de se limitar este inconveniente procede-se várias tiragens ao acaso dos núcleos iniciais e comparam-se as partições finais obtidas: os indivíduos que sempre forem classificados juntos definem as “formas fortes”, que são as partes verdadeiramente homogêneas do conjunto dos indivíduos, já que resistiram à aleatoriedade da tiragem dos núcleos.

3.2.3.2 Definição da Tipologia

Para a definição da tipologia de carga normalmente são utilizados programas computacionais, tanto para o método não hierárquico das nuvens dinâmicas como para o método hierárquico de WARD.

O método das nuvens dinâmicas, para minimizar as distorções causadas pela seleção de apenas um conjunto de núcleos iniciais, repete o processo um certo número de vezes, através da redefinição dos núcleos iniciais. São realizados diversos experimentos através da seleção de diversos conjuntos de núcleos iniciais, nas diferentes configurações obtidas como resultado. Os grupos de indivíduos que permanecem juntos em todas as configurações são chamados de formas fortes (curvas típicas).

A variação do número de classes (núcleos iniciais) ou do número de indivíduos em cada classe, que são os parâmetros de entrada do programa, pode alterar o número de formas fortes obtidas.

O programa de método hierárquico reagrupa as formas fortes obtidas de forma sucessiva até que o número desejado de curvas típicas seja atingido. A seleção das curvas típicas é feita através da identificação de qual reagrupamento apresenta a melhor tipologia (conjunto de curvas típicas). Esta identificação depende muito da experiência do analista e da análise dos critérios de: número de curvas típicas, medida relativa da homogeneidade dos tipos formados, análise visual das curvas agrupadas e participação da curva no reagrupamento.

Com a definição do número de curvas típicas para cada estrato da população, tem-se o produto final do método que é a tipologia da população.

Cada curva típica representa o agrupamento de um grupo de consumidores semelhantes entre si e define uma parte da estrutura da população.

A tipologia representa então todo o mercado de energia elétrica estudado e os seus comportamentos em relação à demanda de energia.

3.2.4 Ajuste da Tipologia ao Mercado

O último passo dentro do estudo da caracterização da carga é o ajuste da tipologia ao mercado e o cálculo dos parâmetros complementares.

O ajuste da tipologia ao mercado é a extrapolação dos resultados obtidos com a amostra para o universo em estudo. Os clientes-tipo são ajustados ao mercado anual do estrato que representam. De forma semelhante, as redes-tipo são ajustadas ao consumo anual do estrato de transformação por elas representadas.

Para executar esses ajustes são necessárias as informações apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Informações necessárias ao ajuste das tipologias ao mercado

U(h)	Curvas de carga horária das tipologias no dia útil
S(h)	Curvas de carga horária das tipologias no sábado
D(h)	Curva de carga horária das tipologias no domingo
M	Mercado anual em MWh do subgrupo tarifário, classe ou faixa, no caso de clientes-tipo, ou transformação, no caso de redes-tipo
U	Total de dias úteis do ano
S	Total de sábados do ano
D	Total de domingos do ano

As curvas são obtidas do estudo de caracterização da carga. O mercado anual e a quantidade de dias são dados conhecidos pelas empresas e são separados nos períodos seco e úmido².

A partir das informações da tabela 1 é possível se calcular os parâmetros elétricos complementares, aplicando as expressões matemáticas conforme a tabela 2.

² O período seco compreende os meses de maio a novembro e o período úmido engloba os meses de janeiro a abril e o mês de dezembro.

Tabela 2 - Parâmetros complementares à tipologia.

Parâmetro	Fórmula
FC_i = fator de carga da tipologia i	$\frac{\sum_{h=1}^{24} U(h)_i / 24}{\max(U_h)_i} \cdot 100$
EU_i = Energia diária do dia útil da tipologia i	$\sum_{h=1}^{24} U(h)_i$
ES_i = Energia diária do sábado da tipologia i	$\sum_{h=1}^{24} S(h)_i$
ED_i = Energia diária do domingo da tipologia i	$\sum_{h=1}^{24} D(h)_i$
PS_i = Ponderação do sábado da tipologia i	ES_i / EU_i
PD_i = Ponderação do domingo da tipologia i	ED_i / EU_i
CA_i = consumo anual da tipologia i	$EU_i 24 (U_i + S_i PS + D_i PD_i)$
α_i = Participação da tipologia i	$CA_i / \sum_{i=1}^N CA_i$
ET_i = Energia anual da tipologia i	$\alpha_i M$
DM_i = Demanda média da tipologia i	$ET_i / 24(U_i + S_i PS + D_i PD_i)$
$U(h)_i^{pu}$ = demanda da tipologia i na hora h em p.u. da média	$U(h)_i / \left(\frac{\sum_{h=1}^{24} U(h)_i}{24} \right)$

A demanda horária da tipologia “ i ” ajustada ao mercado se calcula multiplicando a demanda horária em “pu” da demanda média, $U(h)_i^{pu}$, pela demanda média DM_i .

3.2.5 Responsabilidade de Potência

Um determinado tipo de consumidor pode se associar a qualquer tipo de rede situada em um nível de tensão a montante do seu ponto de conexão. A demanda marginal³ do nível de tensão depende das demandas dos clientes que transitam nesse nível de tensão, nas horas em que ocorre ponta nas redes às quais eles estão associados.

³ Demanda marginal pode ser entendida como aquela que gera investimento na expansão do sistema.

Considerando o caráter aleatório dessa associação, pode-se inferir que o valor esperado da demanda marginal é a soma das demandas dos clientes-tipo nas horas de ocorrência de ponta nas redes-tipo, ponderadas pelas respectivas probabilidades de associação. Assim, cada cliente-tipo é responsável por uma parcela da demanda marginal esperada, definida como responsabilidade de potência.

A responsabilidade de potência do cliente-tipo “j”, em um período tarifário “u”, relativa ao nível de tensão “e”, a montante de seu ponto de conexão é determinada pela equação a seguir:

$$R_{P_{ju}}^e = (1 + fp(u)) \sum_{h \in u} \pi_j^e(h) \cdot P_j^e(h)$$

Onde:

- $R_{P_{ju}}^e$ é a responsabilidade de potência do consumidor-tipo “j”, no período tarifário “u”, do nível de tensão “e”;
- $(1 + fp(u))$ é a taxa de perdas marginais de potência provocadas pelo consumidor-tipo, no período tarifário “u”, acumuladas desde o seu ponto de conexão até o nível de tensão “e” considerado;
- $\pi_j^e(h)$ é a probabilidade que o cliente-tipo “j” se associe a uma rede-tipo, situada no nível de tensão “e”, com ponta na hora “h”;
- $P_j^e(h)$ é o fator de coincidência do cliente-tipo “j” na hora de ponta “h” das redes-tipo que alimentam o nível de tensão “e”.

Nos itens que se seguem, são abordados cada componente da equação da responsabilidade de potência, apresentando a conceituação dos mesmos e como são determinados.

3.2.5.1 Fator de Perdas de Potência

As perdas de potência provocadas pela carga solicitada por um determinado cliente acumulam-se nos níveis a montante de seu ponto de

conexão, segundo uma progressão geométrica e de acordo com as proporções do fluxo passante dessa carga pelos respectivos níveis.

Como os estudos tarifários são feitos analisando-se os custos nos postos tarifários de Ponta e Fora de Ponta, as perdas no sistema elétrico devem ser especificadas nesses dois patamares de carga.

A responsabilidade de um cliente, atendido em um nível “e”, nas perdas médias de um determinado nível de tensão “N”, é calculada pela equação a seguir:

$$FP_e = \left(\frac{FP_N}{D_{tot N}} \right) \sum_{n=0}^{N-2} (1 + FP_{(N-1-n)}) (1 + FP_{(N-2-n)}) \dots (1 + FP_e) D_{e/N/(N-1)/\dots/e}$$

Onde:

- FP_e é o fator de perdas médio, no nível de tensão “N”, de responsabilidade do cliente conectado no nível de tensão “e”;
- FP_N é o fator de perdas médio do nível de tensão em que se deseja calcular as perdas de responsabilidade do cliente;
- $(1 + FP_{(N-1-n)})$ são fatores de perda dos níveis de tensão a jusante do nível em que se está calculando as perdas de responsabilidade do cliente, até o nível de conexão do cliente;
- $D_{e/N/(N-1)/\dots/e}$ é a parcela da demanda do cliente que transita nos níveis de tensão a jusante do nível em que se está calculando as perdas de responsabilidade do cliente, até o nível de conexão do cliente; e
- $D_{tot N}$ é demanda total que transita no nível em estudo.

Observação: os produtos apresentados dentro do “SOMATÓRIO” representam as parcelas da demanda do cliente, mais as perdas acumuladas,

desde o nível de conexão do cliente até o nível em estudo. Cada parcela do somatório representa a parte da demanda do cliente que transita simultaneamente em determinados níveis a jusante do nível em estudo, até o nível de conexão.

3.2.5.2 Probabilidade de um Cliente-Tipo se Associar a um Sistema-Tipo - π

O fator " π_{ji} " representa a parcela de energia do cliente-tipo "j" que é atendido pela rede-tipo "i". Esse fator pode ser expresso com base em outros dois fatores: " α_i " e " β_{ij} ". O fator " α_i " é calculado pela sua participação no atendimento em energia do nível de tensão "i". A parcela da rede-tipo "i" que atende o cliente-tipo "j" é o fator " β_{ij} ".

Os fatores " π_{ji} ", " α_i " e " β_{ij} " podem ser interpretados como sendo probabilidades. Assim, o fator " π_{ji} " pode ser entendido como sendo a probabilidade da energia ser suprida pela subestação-tipo "i", dado que o consumidor é do tipo "j" (probabilidade condicionada).

A probabilidade que uma rede-tipo "i" forneça energia a um determinado nível de tensão é dada pelo fator " α_i " e o fator " β_{ij} " é a probabilidade do cliente-tipo j ser atendido pela rede-tipo "i".

Utilizando a teoria das probabilidades pode-se demonstrar que:

$$\pi_{ji} = \frac{\alpha_i \cdot \beta_{ij}}{\sum_i \alpha_i \cdot \beta_{ij}}$$

Considerando que as horas de ponta de uma subestação são equiprováveis, para uma rede –tipo “i”, com T_i horas de ponta, a equação anterior para a hora de ponta “h” se escreve da seguinte forma:

$$\pi_{ji}(h) = \frac{\alpha_i \cdot \beta_{ij}}{\sum_i \alpha_i \cdot \beta_{ij}}$$

O fator $\pi_{ji}(h)$ da expressão anterior define a probabilidade do cliente-tipo “j” se associar a rede-tipo “i” na hora “de ponta “h”. Em outros termos, é a parcela do cliente-tipo “j” que é atendido pela rede-tipo “i” na hora de ponta “h”. O fator $\pi_{ji}(h)$ é nulo quando na hora “h” a rede-tipo “i” não apresentar ponta.

Na equação que expressa a responsabilidade de potência, o fator $\pi_j^e(h)$ é dado por:

$$\pi_j^e(h) = \sum_{i \in h} \pi_{ji}(h) = \frac{\sum_{i \in h} \alpha_i \cdot \beta_{ij}}{\sum_i \alpha_i \cdot \beta_{ij}}$$

Onde “ $i \in h$ ” significa” que a expressão considera todas as redes-tipo que atendem o nível de tensão “e” e possuem ponta na hora “h”.

3.2.5.3 Fator de Diversidade – Ph

As demandas do cliente-tipo responsáveis pelos custos de expansão do sistema são as verificadas nas horas de ponta das redes-tipo, às quais ele se

associa. Para efeito de estudos de estrutura tarifária, consideram-se horas de ponta de uma rede-tipo as horas, cujas demandas registradas têm valores situados dentro de um determinado intervalo próximo à sua demanda máxima.

O fator de diversidade $P_j(h)$ na hora de ponta “h” é obtido por:

$$P_j(h) = \frac{D_{jh}}{D_{\max_jh}}$$

Onde:

- D_{jh} é a demanda do cliente tipo “j” na hora “h”;
- D_{\max_jh} é a demanda máxima do cliente tipo “j” no posto tarifário que contém a hora “h”.

3.2.5.4 Proporção de Fluxo

A carga solicitada por um cliente-tipo conectado em um determinado nível de tensão, necessariamente não transitará, total ou parcialmente, por todos os níveis a montante de seu ponto de conexão. Conseqüentemente, a responsabilidade desse cliente nos custos de expansão dos diversos níveis de tensão é proporcional à parcela da carga solicitada que transita em cada nível. Portanto, é necessária a consideração da proporção de fluxo passante no cálculo dos custos marginais de capacidade.

A proporção de fluxo é calculada a partir do diagrama de fluxo simplificado do sistema em análise, no momento de sua carga máxima.

Define-se como CTA – coeficiente técnico de atendimento – a parcela de utilização de um segmento do sistema “a montante”, para o atendimento de uma carga solicitada em um dado nível de tensão. Este coeficiente pode ser

calculado com base na participação das transformações utilizadas para injetar potência no nível requisitante, de acordo com o fluxo de potência a partir do nível de origem.

3.2.6 Custo Marginal de Capacidade

O custo marginal de capacidade total de um cliente-tipo, em um determinado posto tarifário, é o somatório dos custos marginais de capacidade deste cliente-tipo nos níveis de tensão a montante de seu ponto de conexão ao sistema elétrico. O custo marginal de capacidade de um cliente-tipo, em um determinado nível de tensão é calculado como o produto do custo marginal de expansão, em proporção do fluxo passante, e a sua responsabilidade de potência neste nível de tensão, no posto tarifário considerado.

A equação a seguir permite calcular o custo de capacidade de um cliente-tipo “j” no nível de tensão “e” para o período tarifário “u”:

$$CMFP_{ju}^e = CTA^e * CMLP^e * R_{Pju}^e$$

Onde:

- CTA^e é o coeficiente técnico de atendimento ou proporção de fluxo passante do nível de tensão “e”;
- $CMLP^e$ é o custo marginal de longo prazo para a expansão do sistema, do nível de tensão “e”; e
- R_{Pju}^e é a responsabilidade de potência do consumidor-tipo “j” no nível de tensão “e”, no período tarifário “u”.

Conforme já foi dito, o custo marginal de capacidade total, num determinado posto tarifário “u”, de um cliente-tipo “j” é calculado pelo somatório dos custos marginais de capacidade nos níveis de tensão a montante de seu

ponto de conexão. Matematicamente o custo marginal de capacidade total é definido pela equação a seguir:

$$CMFP_{u\ Total} = \sum CMFP_u$$

A partir do custo marginal de capacidade total de cada cliente-tipo, são calculados os custos marginais de capacidade de cada estrato, dos diversos subgrupos tarifários. Esse cálculo é feito por média, considerando-se o somatório dos produtos dos custos marginais de capacidade dos clientes-tipo por suas respectivas demandas máximas dividido pela demanda máxima agregada do estrato.

O mesmo cálculo é feito para a obtenção dos custos marginais de capacidade médios dos diversos subgrupos tarifários e níveis de tensão.

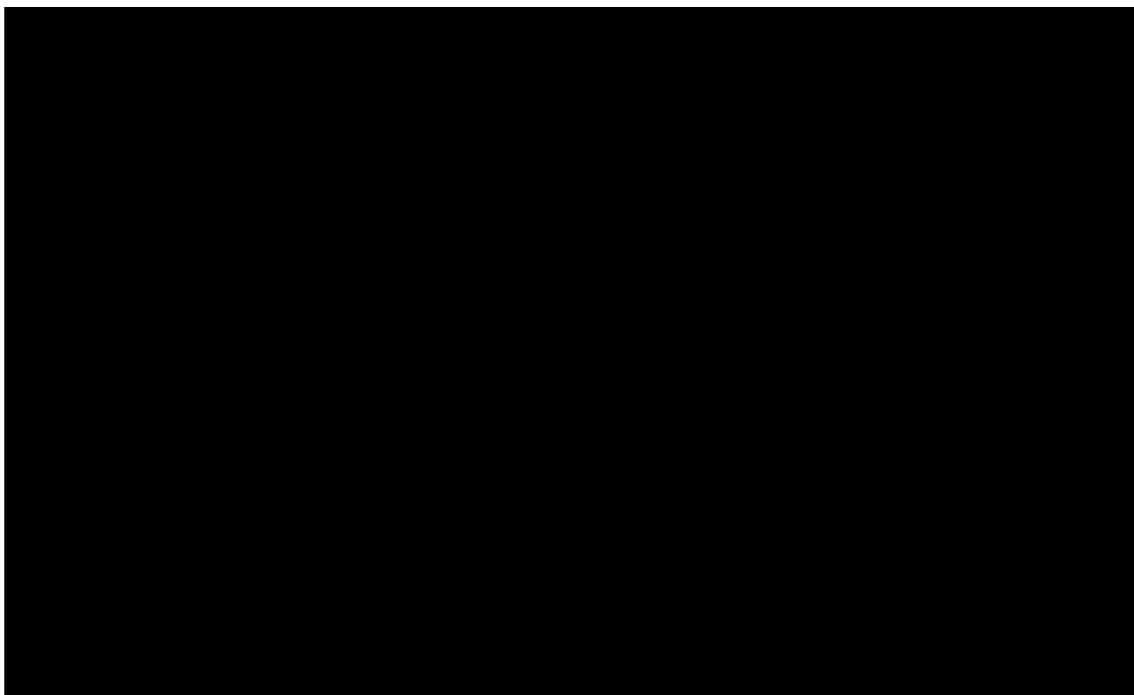
3.2.7 Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição

Conforme mencionado anteriormente, alguns dos itens considerados na TUSD são estruturados pelos custos marginais de capacidade por nível de tensão. Neste item são apresentados todos os componentes da TUSD especificados na Resolução Normativa nº 166/2006 [12], ou seja, os calculados com base na estrutura dos custos marginais de capacidade, os determinados a partir da receita requerida e dos encargos da distribuição e do mercado de referência.

As parcelas da receita requerida da distribuição, encargos do serviço de distribuição e o mercado de referência são dados necessários para o cálculo da TUSD.

A Aneel ao editar a Resolução Normativa nº 166, de 2006, consolidou as disposições relativas ao cálculo das Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD. A definição dos valores dessas tarifas deve considerar as parcelas apropriadas dos custos de transporte da energia e conexão (transmissão e distribuição), das perdas e encargos setoriais do segmento consumo. (ANEEL, 2005 b). A Resolução também relaciona os componentes que formam a tarifa de uso da distribuição e estabelece que a receita requerida da distribuição deve ser segregada em função dos respectivos componentes. O quadro a seguir apresenta um resumo das informações relativas aos componentes da TUSD, listando as bases para a determinação de cada uma delas, como são calculadas (selo⁴ ou pelos custos marginais) e sobre quais itens de faturamento se aplicam. Em seguida, os componentes são descritos brevemente. Maiores detalhes a respeito podem ser obtidos em [8] e [12]. No quadro, DP e DFP significam, respectivamente, demanda na ponta e demanda fora de ponta.

Tabela 3 - Componentes da TUSD



⁴ Segundo a ANEEL [15], o termo “selo” se refere a um rateio simples de custo de determinada componente da tarifa.

Componentes TUSD:

- FIO A - é formada pelos custos referentes ao uso da transmissão⁵, ou de redes de outras distribuidoras, custos de conexão e perdas elétricas na rede básica associadas às perdas totais (técnicas e não técnicas) da distribuição. Estas parcelas representam o custo com o transporte de energia até a fronteira da rede da concessionária de distribuição.
- FIO B - refere-se ao custo do transporte da energia na rede da concessionária e inclui a remuneração dos ativos, a quota de reintegração de capital decorrente da depreciação e os custos com a operação e manutenção, todos calculados no âmbito da revisão tarifária. Esta componente é estruturada segundo o custo marginal de capacidade por faixa de tensão. Os valores obtidos em R\$/kW são aplicados às demandas máximas de potência ativa de Ponta e Fora de Ponta.
- PERDAS TÉCNICAS - corresponde às perdas técnicas do Sistema de Distribuição, em MWh, valorada ao custo médio ponderado de aquisição de energia. Os custos marginais de capacidade fornecem os valores da TUSD – Perda Técnica diferenciados por nível tensão em R\$/kW para os postos tarifários de Ponta e Fora de Ponta. A base de cálculo para o faturamento é a demanda de cada posto tarifário.
- ENCARGOS DO SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO - totaliza os custos dos encargos vinculados ao serviço de distribuição: quota da Reserva Global de Reversão (RGR), Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE), Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (P&D) e contribuição para o Operador Nacional do Sistema (ONS).

⁵ Os custos relativos ao uso da transmissão são obtidos a partir da aplicação das tarifas de uso dos sistemas de transmissão em suas parcelas $TUST_{RB}$ e $TUST_{FR}$, respectivamente as tarifas de uso da rede básica e das demais instalações de transmissão, às demandas de ponta registradas ou contratadas da distribuidora em cada ponto de conexão.

- ENCARGOS DO SISTEMA ELÉTRICO - englobam os custos relativos à Conta de Consumo de Combustível (CCC), à Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Todos os componentes da TUSD derivados desses custos são determinados pela Aneel e aplicados ao consumo de energia, ou seja, cada componente é um “selo” em R\$/MWh.

- PERDAS NÃO TÉCNICAS - custeia as perdas não técnicas da concessionária de distribuição. A energia associada às perdas não técnicas é valorada pelo preço médio ponderado de compra de energia. O procedimento de cálculo distribui uma parcela do valor das perdas não técnicas na proporção da receita de cada um dos componentes da TUSD nos diversos níveis de tensão, originando duas sub-componentes, uma em R\$/MWh e outra em R\$/kW. Cada sub-componente é aplicada à de energia e às demandas de Ponta e Fora de Ponta.

4 METODOLOGIA

No capítulo anterior foi descrito o processo de caracterização de carga para estudos de revisão tarifária, incluindo todas as etapas normalmente realizadas. O intento deste trabalho engloba dois estudos principais dentro do processo mencionado: a seleção de curvas características e a classificação das mesmas em agrupamentos. Para tal, as análises foram divididas em dois blocos, concentrando os esforços individualmente para cada um dos casos.

O procedimento de estudo foi similar para os dois blocos. Inicialmente foram realizadas proposições de novas metodologias adicionalmente às já difundidas no mercado. Em um segundo momento, essas metodologias foram implementadas e testadas, tendo seus resultados utilizados nos processos seguintes (listados no Capítulo 3 - Estado da Arte) conforme as condições padrão de utilização. Como resultado, foram obtidas as curvas de carga para as tipologias das transformações, “reais” (dos transformadores) e “calculadas” (a partir das tipologias das cargas), e os custos de capacidade para os consumidores de todos os níveis de tensão. Finalmente, para a comparação dos resultados dos processos, utilizaram-se dois métodos: a análise das diferenças entre as curvas obtidas para os consumidores e transformadores de um mesmo nível de tensão e a comparação do impacto nos custos marginais de capacidade do sistema de distribuição.

Outros testes menores também foram realizados, comparando particularidades de procedimentos tradicionais a outras possibilidades levantadas. Esses testes adicionais são descritos no item 4.4.

A descrição detalhada do processo, a padronização dos testes e as comparações realizadas são mais bem descritas nos itens seguintes.

4.1 PROPOSIÇÃO DE NOVAS METODOLOGIAS DE SELEÇÃO

A definição de novas metodologias e procedimentos para a seleção da curva de carga característica, de cada consumidor ou sistema (transformação), foi baseada no histórico dessa prática e em critérios estatísticos aliados à experiência de profissionais do setor. O objetivo desta etapa foi propor metodologias coerentes com as necessidades das campanhas tarifárias: a caracterização da curva que melhor represente cada cliente da amostra (para o cálculo dos custos de capacidade).

Todos os processos, para padronização e a correta comparação posterior, foram realizados com as curvas em 96 patamares (amostradas com intervalo de 15min)⁶. Como condição necessária para as etapas seguintes, todas as metodologias foram executadas para curvas de sábados, domingos e dias úteis.

As metodologias de seleção não têm como objetivo eliminar as curvas atípicas dos consumidores, como dias não usuais para a caracterização do consumo de energia elétrica (por exemplo, viagens ou festas), pois este filtro já é realizado em uma etapa prévia, descrita nos itens 3.2.2.2.2 a 3.2.2.2.5 e 4.3.2. A seguir, são apresentadas as propostas de metodologia de seleção de curvas características.

4.1.1 Maior Impacto no Sistema

O processo mais comum atualmente é a seleção da curva que cause o maior impacto no sistema da concessionária no horário de ponta da mesma. Metodologias tradicionais utilizam, para tal processo, a análise visual de cada conjunto de curvas de clientes, escolhendo-se “a olho” a curva mais adequada,

⁶ A utilização deste intervalo de medição se deu devido às restrições dos softwares utilizados, onde o único intervalo compatível a todos os programas é o de 15 minutos.

sem um critério matemático devidamente estabelecido. Espelhando-se nessas metodologias, essa proposta teve como base o processo automatizado de seleção proposto por Gemignani [9], de fácil implementação, baixo tempo de operação e confiável. Segue uma breve descrição.

As curvas são analisadas individualmente por unidade de medição, apresentando características diferentes para clientes e sistemas, conforme segue:

4.1.1.1 Clientes

A curva de cliente escolhida deve ser aquela que causa o maior impacto na rede (com o perfil de consumo BT), ou seja, com as demandas máximas coincidentes ao horário de ponta da rede, usualmente entre 17h e 20h ou 18h-21h, de acordo com a região geográfica. Para tanto, é selecionada a curva que apresentar o maior consumo de energia no horário de ponta. Em casos nos quais duas ou mais curvas apresentarem consumos na ponta muito próximos (diferenças inferiores a 10%), é selecionada a curva com maior consumo no horário diurno. A Figura 4.1 apresenta um caso no qual seria escolhida a curva com maior demanda na ponta (verde).

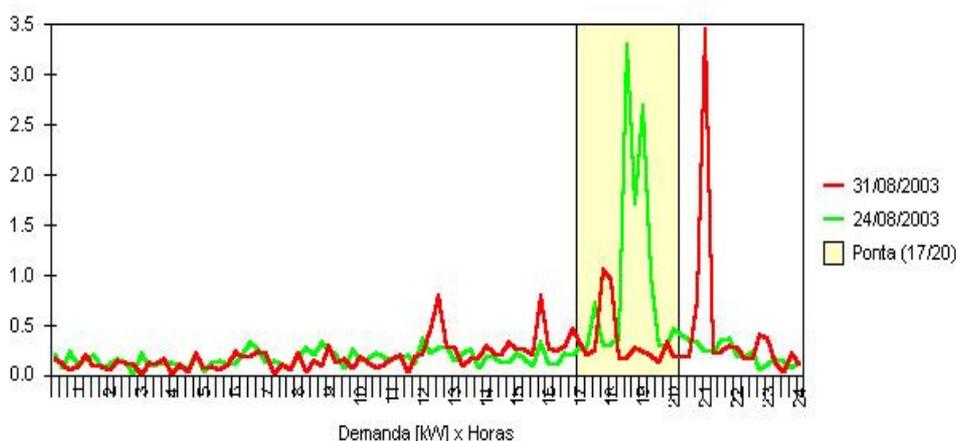


Figura 4.1 - Escolha por consumo na ponta (curva verde)

4.1.1.2 Transformações

No caso de sistemas, procura-se obter a curva que provoque o maior impacto na rede durante todo o dia. A identificação desta curva se dá pelo cálculo da multiplicação da demanda média pela potência máxima diária de cada dia. Esta técnica, segundo [9], tem resultados satisfatórios para curvas com comportamentos variados, dando o devido peso na comparação entre demandas elevadas constantes e demandas baixas com fator de carga baixo.

4.1.2 Maior Impacto no Sistema (sem ponta)

A curva com maior impacto no sistema, descrita no item 4.1.1, leva em consideração o horário de ponta e possui procedimentos diferentes para curvas de clientes e transformadores. A metodologia “sem ponta” desconsidera o período mais pesado na seleção e utiliza o processo descrito em 4.1.1.2 (antes específico para transformações) em todos os conjuntos de curvas. Importante ressaltar que a característica de impacto das curvas de baixa tensão no horário de ponta continua com peso na seleção, pois essa metodologia leva em consideração a demanda média e a potência máxima diárias.

4.1.3 Dia Útil Mais Pesado

O dia útil mais pesado da rede é encontrado associando-se todas as curvas da amostra, alinhadas pelo dia da semana. O dia útil que apresenta a maior demanda média total é considerado como o dia mais pesado do sistema. Após a definição do dia de estudo, é selecionada uma curva por cliente no dia da semana identificado. Em clientes com mais de uma curva no dia em questão, segue-se o mesmo procedimento de identificação do dia do sistema, escolhendo a curva com maior demanda média. No caso de sábados e

domingos, é selecionada a curva mais pesada do cliente para cada um dos dias.

4.1.4 Sorteio

A seleção da curva de cada cliente se dá por sorteio. É selecionada uma curva por cliente, dentre as disponíveis, para os dias úteis, sábados e domingos.

4.1.5 Curva Média

A curva é obtida através do cálculo da média ponto a ponto de todas as curvas de dias úteis, sábados e domingos.

4.1.6 Curva Mediana

A curva mediana é a curva que apresentar o comportamento mais próximo das medianas das demandas média e máxima. A metodologia consiste em:

- Calcular as demandas média e máxima para cada curva do cliente;
- Calcular as medianas das demandas médias e máximas;
- Procurar uma única curva que possua as demandas respectivas mais próximas das medianas das demandas do cliente, através do cálculo da distância euclidiana.

4.2 PROPOSIÇÃO DE NOVAS METODOLOGIAS DE CLASSIFICAÇÃO DE DADOS

A definição de novas metodologias e procedimentos para a classificação de dados, assim como para a seleção de curvas típicas, seguiu o histórico dessa prática e as técnicas mais recentes para agrupamentos de dados. As propostas são bastante coerentes com o objetivo de agrupar os dados por semelhança, tendo sido, quando necessário, adaptadas para o objeto curva de carga. Foram sugeridas duas metodologias mais usuais para esse fim, nuvens dinâmicas e redes neurais (SOM). No caso das nuvens dinâmicas, foram propostas variações na fase de comparação de curvas, realizando o procedimento tradicional com o cálculo da distância euclidiana e as variações denominadas “ponto a ponto”, “ponto a ponto ponderado” e “fator de carga por período”. A implementação seguiu procedimentos e/ou softwares usuais, detalhados a seguir.

É possível realizar agrupamentos de forma visual, porém, por não ser viável a repetição do processo nem ser utilizada com frequência, essa opção foi desconsiderada.

4.2.1 Método das Nuvens Dinâmicas e Método de Ward – Tradicional (Distância Euclidiana)

A combinação dos métodos estatísticos de agrupamento Nuvens Dinâmicas e Ward é provavelmente a prática mais comum nos estudos de caracterização de carga. Portanto, foi utilizado como caso de referência neste trabalho.

Para o estudo desta metodologia também foi utilizado o software SAT – Sistema de Análise Tarifária, da Daimon Engenharia, que já possui os métodos implementados. A descrição dos mesmos é apresentada a seguir.

4.2.1.1 Método das Nuvens Dinâmicas

O Método das Nuvens Dinâmicas tem por objetivo classificar os indivíduos de uma população em grupos ou classes. Cada grupo é formado por indivíduos que apresentam atributos semelhantes entre si e as classes devem ser diferentes umas das outras.

O método realiza partições na população, denominadas “classes”. As classes são formadas pelos indivíduos mais próximos de núcleos definidos na etapa anterior. Os primeiros núcleos são obtidos aleatoriamente.

No algoritmo do SAT, para cada estrato, o usuário define “k” núcleos com “q” indivíduos (curvas) e o número de experiências que deseja. A partir de um sorteio inicial, são obtidos os “k” núcleos, cujos “centros de gravidade” serão tomados como referência para o cálculo da distância entre os núcleos e os indivíduos da população. Um primeiro conjunto de classes é obtido agrupando-se os indivíduos em torno desses núcleos. Para cada classe é calculado o seu “centro de gravidade”, formando um novo sistema de núcleos. Novamente se verifica quais os indivíduos que estão mais próximos de cada núcleo e um novo sistema de núcleos é formado. O processo se repete melhorando a qualidade das partições até o momento que a nova partição não é melhor que a anterior. Isto caracteriza o final de uma experiência e registram-se os indivíduos que formaram cada classe.

Depois que a última experiência é concluída, são identificadas as curvas que sempre permaneceram juntas no final de cada experiência. Estes grupos são identificados como formas fortes da população e originam as curvas TIPO.

4.2.1.2 Método Hierárquico (Método de Ward)

O Método Hierárquico é aglomerativo, nele são realizados reagrupamentos sucessivos dos tipos mais próximos de classes, definindo-se novos tipos através de fusões sucessivas. Constrói-se uma série de partições em “n” classes, “n-1” classes, “n-2” classes..., encaixadas umas nas outras.

O dado de entrada para esse método é o produto gerado pelo método anterior, as formas fortes identificadas na população. O algoritmo determina as duas formas fortes mais próximas e executa o primeiro reagrupamento. O processo vai se repetindo até a necessidade do usuário.

No método de Ward, procura-se passar de uma partição com “k+1” classes para uma partição de “k” classes, agrupando duas classes numa só de forma que a perda de inércia inter-classes seja a menor possível. Isto é obtido pela maximização do momento de segunda ordem de uma partição:

$$d(a,b) = \frac{P_a \cdot P_b}{P_a + P_b} d(G_a, G_b)$$

Onde:

- $d(G_a, G_b)$ = distância euclidiana ao quadrado entre os centros de gravidades dos grupos “a” e “b”;
- P_a, P_b = peso dos tipos “a” e “b”. Cada um será a soma dos pesos dos indivíduos que formam o tipo. No caso os indivíduos possuem peso igual à unidade;
- G_a, G_b = centro de gravidade dos grupos “a” e “b”; e
- $d(a,b)$ = inércia associada aos pontos “a” e “b”.

A cada reagrupamento processado, o critério “CR” de variância intertipos é otimizado (equação x). Esse índice fornece a medida da homogeneidade dos tipos formados e, conseqüentemente, da qualidade da tipologia.

$$CR = \frac{\text{Variância Intertipos}}{\text{Variância Total da População}}$$

No reagrupamento de dois elementos mais próximos, perdem-se informações a respeito da população cuja medida percentual é o “CR”.

Denomina-se momento de segunda ordem de uma partição:

$$\sum_{i=1}^n P_{a_i} d(G_{a_i}, G) = \left[\sum_{i=1}^n P_{a_i} \right] \text{Variância Intertipos}$$

Onde:

- a_i = tipos ($i= 1, 2, \dots, n$);
- G_{a_i} = centro de gravidade do tipo a_i ; e
- P_{a_i} = peso do tipo a_i

O método executa diversos reagrupamentos e a identificação dos “tipos” ideais é realizada através de ponderações:

- Número adequado de tipos, que seja conveniente ao cálculo dos custos marginais de capacidade;
- Verificação da evolução da perda de informação, a queda acentuada do valor de “CR”;
- Verificação em cada etapa, se o reagrupamento realizado foi bom. Essa análise é feita visualmente;
- Significância do percentual de participação de um tipo na classe.

Definido o nível ideal de reagrupamento, tem-se a tipologia da população, e cada curva-tipo representa a curva agregada de um dado grupo de consumidores semelhantes entre si, que definem uma forma particular.

4.2.2 Método das Nuvens Dinâmicas e Método de Ward – Variação 1 (Ponto a Ponto)

As variações do método tradicional (nuvens dinâmicas) se dão na fase de avaliação da semelhança entre as curvas. Usualmente, conforme descrito no item 3.2.3, são utilizados os cálculos de distâncias euclidianas simples ou ponderada e qui-quadrado. O método ponto a ponto utiliza os mesmos princípios das nuvens dinâmicas, porém, o agrupamento dos indivíduos ao redor dos núcleos utiliza um critério de pontuação entre as curvas candidatas. Neste processo, é calculada a distância euclidiana para cada patamar da curva e a mais próxima do núcleo é pontuada. Ao final, a curva com a melhor pontuação é escolhida como a mais semelhante ao núcleo em estudo. Este método desconsidera diferenças momentâneas de grande amplitude entre as curvas, pois a cada patamar a distância euclidiana é recalculada e os resultados de outras partes da curva são desconsiderados.

4.2.3 Método das Nuvens Dinâmicas e Método de Ward – Variação 2 (Ponto a Ponto Ponderado)

O método ponto a ponto ponderado segue os mesmos princípios do ponto a ponto simples, porém a alguns patamares de carga são atribuídos pesos conforme sua importância na curva diária do sistema (ponta, madrugada, etc.).

4.2.4 Método das Nuvens Dinâmicas e Método de Ward – Variação 3 (Fator de Carga por Período)

A terceira variação proposta segue o princípio de pontuação descrito anteriormente, porém relacionado ao comportamento da curva para diferentes

períodos do dia. Para isso, são analisados os fatores de carga das curvas para os períodos diurno (6-17h), ponta (17-20h), noite (20-24h) e madrugada (0-6h). Assim como nos outros casos, a curva com a maior pontuação é selecionada como a mais semelhante ao núcleo analisado.

4.2.5 Redes Neurais

O método de agrupamento por redes neurais foi testado utilizando-se um programa desenvolvido em caráter acadêmico e implementado com base no classificador SOM (Self Organizing Maps) [13], descrito a seguir.

O método SOM é constituído por uma rede de unidades de processamento. Cada unidade recebe vetores de entrada de dados e possui pesos próprios associados aos mesmos. A saída de cada unidade é a distância euclidiana entre os vetores de entrada aplicados e o vetor de pesos. O número de unidades da rede é variável e representa o número máximo de agrupamentos a serem formados. No caso implementado, as unidades foram organizadas em um mapa retangular, com suas dimensões variáveis, por exemplo 3x3 (9 agrupamentos), 4x4 (16 agrupamentos), etc.

Para cada dado aplicado à rede SOM, a unidade que fornece o menor valor de saída é escolhida como o melhor agrupamento para o dado de entrada. Desta forma, o algoritmo agrupa os dados semelhantes nas mesmas unidades e durante a inserção de novos dados, os vetores de pesos de cada unidade escolhida e de suas vizinhas são atualizados de acordo com a nova curva. No final do processamento, cada unidade representa um dos clusters formados para a classificação do conjunto de dados de entrada.

4.3 PROCEDIMENTO DOS ESTUDOS

O processo simplificado da caracterização de carga, desde a amostra dos dados até a obtenção dos custos de capacidade, pode ser observado no diagrama a seguir. Os blocos em destaque indicam pontualmente os estudos realizados, Seleção de Curvas e Classificação de Dados, e as análises dos resultados obtidos, através dos Custos de Capacidade e das Curvas das Transformações.

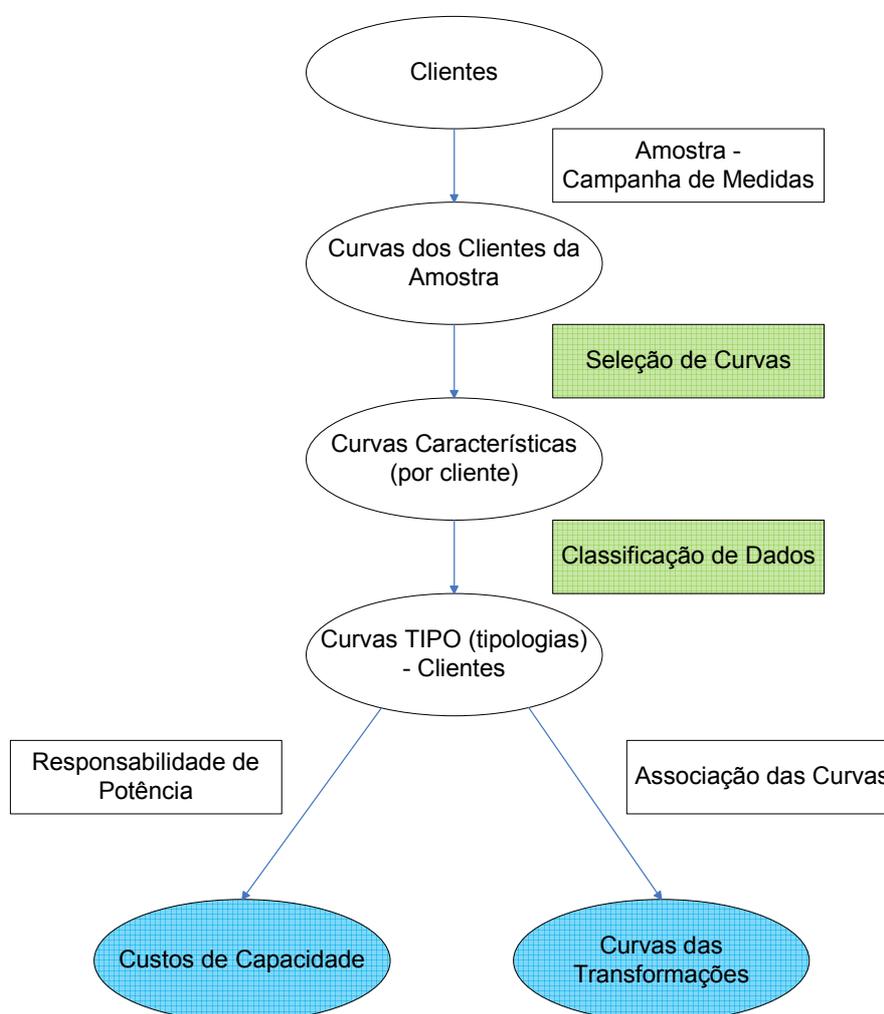


Figura 4.2 - Diagrama do Processo de Caracterização de Carga

4.3.1 Dados Utilizados

Os testes realizados utilizaram amostras de curvas de carga de clientes e transformações de duas concessionárias de energia, com diferentes características de consumo, rede, porte e localização geográfica, denominadas no texto como concessionárias “A” e “B”. Os dados utilizados foram os mesmos das campanhas de revisão tarifária das empresas.

Para todos os casos, as amostras das campanhas de medidas foram consideradas como corretas, sem avaliação profunda por não se tratar de uma etapa alvo para estudos neste trabalho.

Esta etapa serve apenas como dado de entrada para os estudos seguintes. Para cada concessionária, foram obtidos bancos de dados com todas as curvas amostradas de clientes e transformações, para todos os níveis de tensão existentes e estratificados conforme o consumo médio mensal.

4.3.2 Seleção de Curvas

O primeiro estudo realizado se refere à Seleção de Curvas Características. Utilizando as curvas dos clientes da amostra, foram realizados diversos processos de seleção (conforme as metodologias descritas no item 4.2). A Figura 4.3 apresenta em detalhe o diagrama deste primeiro bloco de estudos.

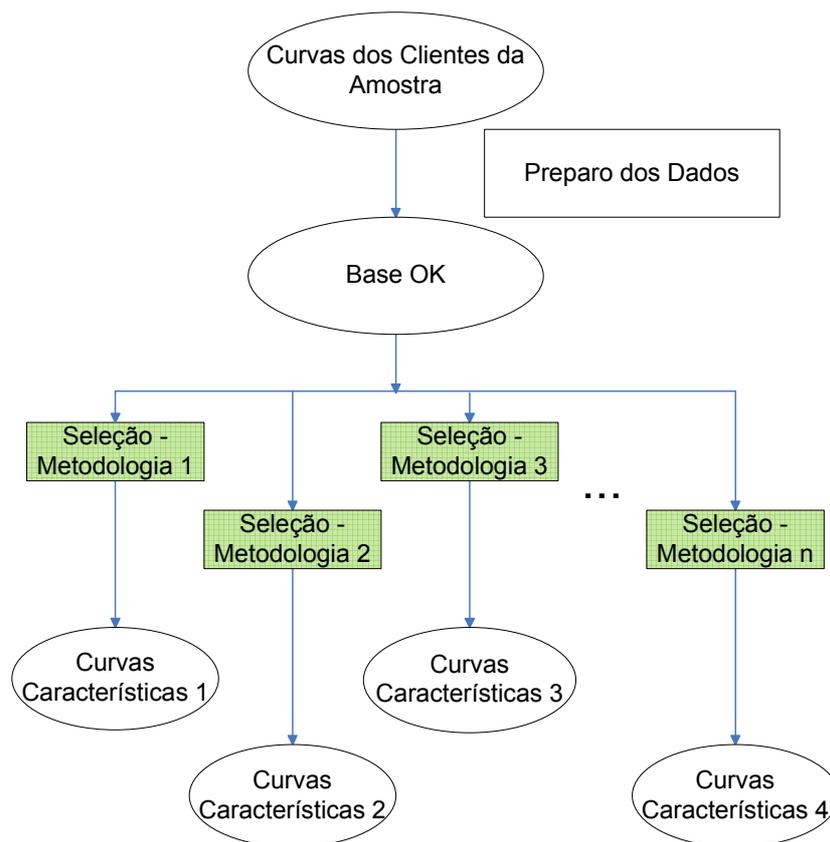


Figura 4.3 - Diagrama do Bloco II

Em uma etapa prévia à seleção (Preparo dos Dados) as curvas da amostra são filtradas, eliminando assim curvas inadequadas. Como critério padrão a todos os casos, foram eliminadas as curvas:

- Incompletas - Com qualquer ponto de leitura não registrado;
- Zeradas – A quantidade máxima de 30% de pontos com leitura zero foi definida como limite;
- Fator de carga inesperado - Para cada conjunto de registros (um cliente ou transformação), calcularam-se os fatores de carga de todas as curvas. Como referência de fator de carga esperado, utilizou-se o limite de duas vezes o desvio médio do fator de carga do conjunto. As curvas que se apresentaram fora do limite de referência foram eliminadas;
- Consumo inesperado - O consumo de energia diário foi limitado a duas vezes o consumo médio diário do conjunto; e

- Demanda inesperada - Foram desconsideradas as curvas com demanda máxima fora da faixa definida por duas vezes a demanda máxima da curva média do conjunto.

Uma vez conferida a base, foram realizados os processos de seleção propostos (descritos no item 4.2), gerando um banco de dados com as curvas características para cada método estudado. Independentemente do processo, o resultado final para cada cliente (ou transformação) é sempre a indicação de três curvas características: para sábado, domingo e dia útil.

Conforme indicado na Figura 4.2, as etapas seguintes ao Bloco I (Classificação de Dados, Responsabilidade de Potência e Associação das Curvas) foram também realizadas com configurações padronizadas, permitindo a devida comparação posterior entre as metodologias de seleção. Ao final, foram obtidos os Custos de Capacidade e as Curvas das Transformações para as variações dos processos de Seleção de Curvas Características.

4.3.3 Classificação de Dados

O segundo bloco de estudos, ilustrado na Figura 4.4, realiza os testes na etapa de Análise de Dados. Em um primeiro momento, a seleção de curvas típicas por cliente (ou transformação) foi realizada seguindo as metodologias definidas no item 4.2, gerando diferentes bancos de dados de curvas típicas. A seguir foram estudadas as metodologias de classificação de dados, para cada seleção realizada, complementando os bancos com as curvas das tipologias dos clientes para cada caso. O resultado final foi um conjunto de bancos de dados com a combinação dos resultados entre os processos de seleção e classificação.

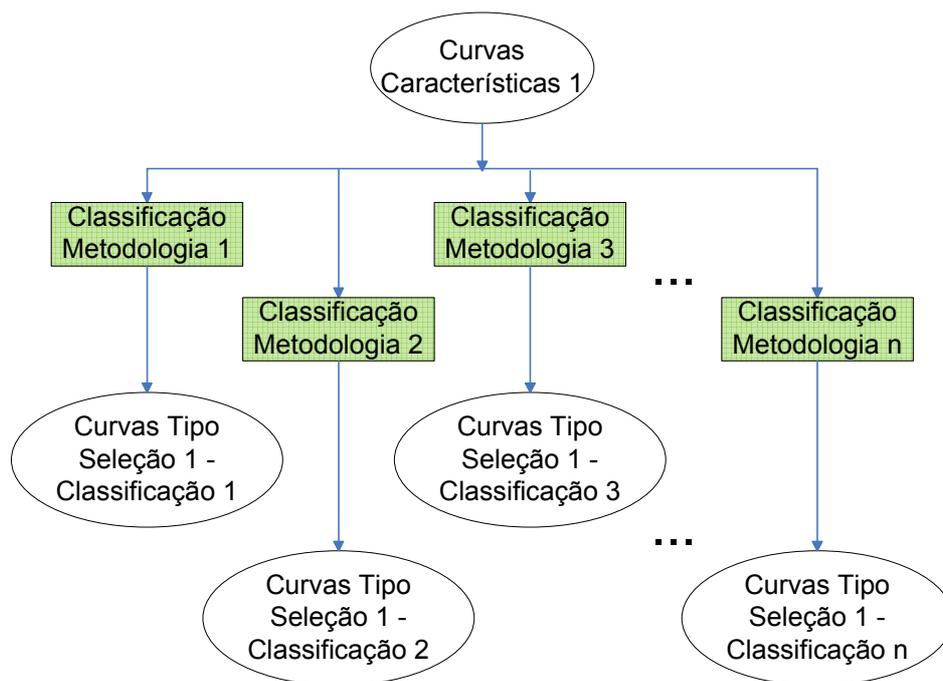


Figura 4.4 - Diagrama do Bloco II

As metodologias de classificação foram sempre executadas com os mesmos parâmetros, conforme as limitações dos programas e permitindo uma comparação justa dos resultados dos processos. Os valores definidos para os parâmetros podem não ser coincidentes com os utilizados em campanhas de revisão tarifária ou em estudos semelhantes, pois o foco nesse passo não é obter os melhores resultados de tarifas, mas sim comparar as particularidades das metodologias.

A definição dos parâmetros foi realizada individualmente para cada nível de tensão, classe e estrato de consumo (a tela da Figura 4.5 apresenta os valores ajustáveis pelo usuário). O item “número de grupos” iniciais foi calculado exclusivamente para cada estrato, procurando sempre manter o número de curvas utilizadas no sorteio das primeiras sementes inferior ao total de curvas do estrato. O item “número de indivíduos” define a quantidade inicial de curvas por grupo e foi mantido, sempre que possível, em três. Os itens “número de ensaios”, “tolerância” e “redução das formas fortes” foram iguais para ambas as concessionárias e para todos os estratos. As formas fortes foram reduzidas até que a menor tipologia do estrato correspondesse, no

mínimo, a 8% do mercado por conta da limitação do sistema computacional utilizado na etapa de responsabilidade de potência.

Formação de Clusters

Parâmetros para geração de clusters

Estrato: 05 - Cliente A4_0_50

Nº de grupos: 3 21 curvas

Nº de indivíduos: 3

Nº de ensaios: 5

Tolerância: 1 x 10- 10

Não reduzir as formas fortes

Reduzir as formas fortes até 1 curva(s)

Reduzir as formas fortes até 8 % de mercado

Método: Ponto a Ponto

Processar Visualizar Fechar

Figura 4.5 – Parâmetro para a formação de clusters

Assim como no Bloco I, para cada método utilizado foram realizados os cálculos da Responsabilidade de Potência e a Associação das Curvas, obtendo-se os Custos de Capacidade e as Curvas das Transformações referentes às variações nos processos de Classificação de Dados.

4.3.4 Responsabilidade de Potência, Associação das Curvas e Custos de Capacidade

O cálculo da responsabilidade de potência, conforme descrito no item 3.2.5, não apresenta parâmetros de ajuste pelo usuário e se trata apenas de cálculos matemáticos. Esta etapa não foi questionada pelo presente trabalho e para todos os casos testados se utilizou o algoritmo implementado no SAT. Através dos cálculos realizados com os dados de proporção de fluxo entre os níveis de tensão (ilustrado na Figura 4.6), procedeu-se a associação das curvas dos consumidores aos respectivos transformadores e o cálculo dos custos marginais de fornecimento descritos no item 3.2.6.

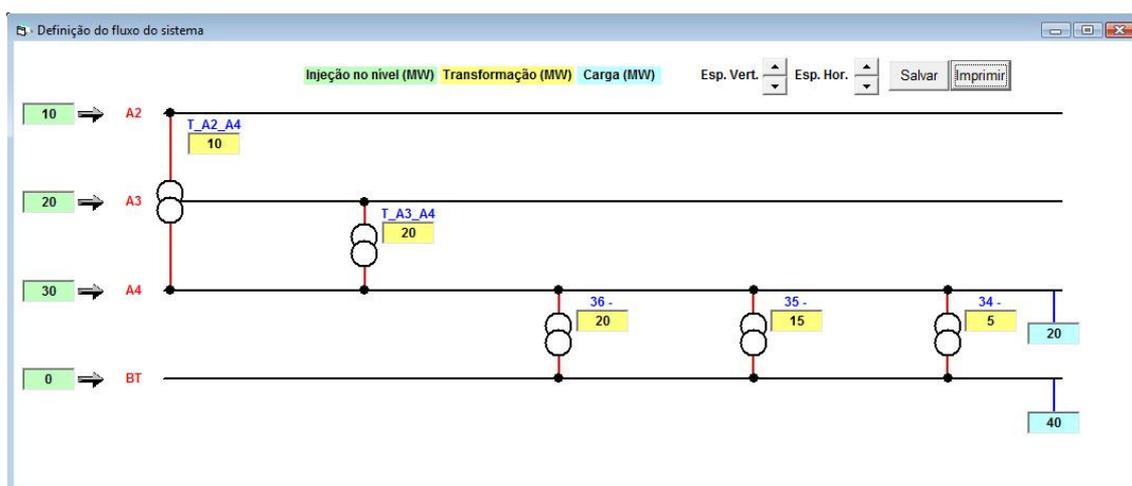


Figura 4.6 - Tipologias Calculadas para as Transformações

Como resultado das associações das curvas, obteve-se o comparativo das tipologias de carga dos transformadores com os consumidores do mesmo nível de tensão, como na Figura 4.7.

As avaliações realizadas entre os métodos utilizaram como parâmetro de comparação a distância euclidiana (conforme o item 3.2.3) entre as curvas reais - tipologias dos transformadores - e as curvas calculadas - associação das curvas dos consumidores. Como princípio básico, se supôs que o método

de seleção (ou classificação) ideal deveria ter as curvas real e calculada sobrepostas. Uma vez que existem erros nos dados de entrada dos processos (principalmente a imperfeição da amostra), as distâncias euclidianas calculadas não devem ser nulas, porém, ainda permitem a comparação dos métodos pela qualidade das aproximações. Os resultados calculados e os comparativos realizados são apresentados no capítulo 5.

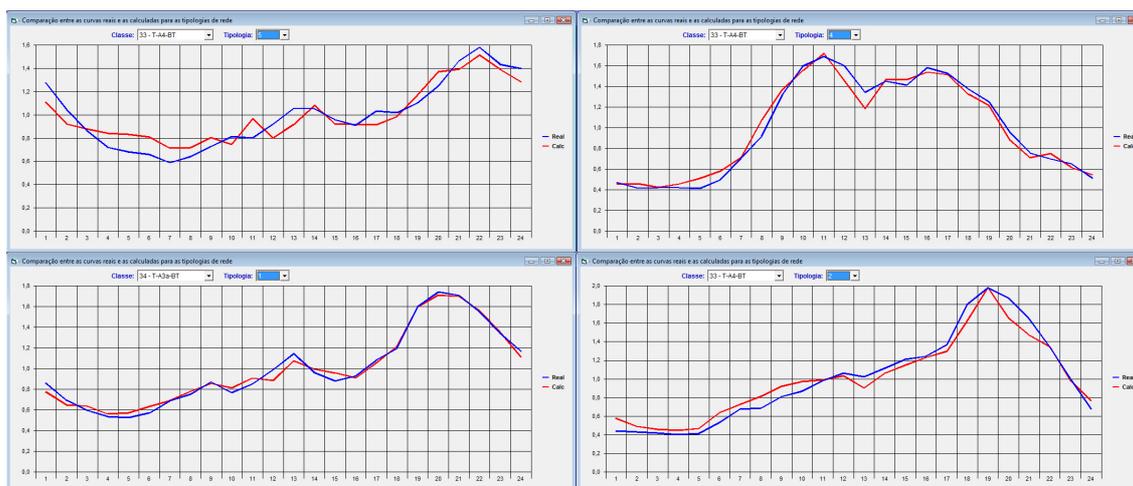


Figura 4.7 - Tipologias Calculadas para as Transformações

O cálculo dos custos marginais de fornecimento apresenta, para cada método testado, valores dos respectivos custos para os períodos de ponta e fora de ponta do sistema para cada nível de tensão onde existam consumidores. A comparação entre os métodos pode ser realizada de forma pontual sobre os valores obtidos ou através das relações entre os custos de diferentes níveis ou períodos. No capítulo 5 são ilustrados os valores calculados e os comparativos realizados.

4.4 AVALIAÇÕES COMPLEMENTARES

Além das avaliações das metodologias propostas para a seleção e a classificação, foram analisados os melhores critérios para a definição da unidade de potência das curvas de carga utilizadas, como W (Watt) e pu (por unidade), e a quantidade ideal de agrupamentos gerados nos processos de classificação.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os principais resultados obtidos nos casos teste realizados, separados por processo estudado (seleção e classificação das curvas) e por método de avaliação (tipologias das transformações e custos de capacidade). São expostas as informações apenas da concessionária “A”, de maior porte e com maior variedade de níveis de tensão e perfis de consumo. Os resultados são apresentados principalmente através de gráficos para facilitar a interpretação dos resultados. A informação completa, com todos os dados obtidos, pode ser analisada em detalhe nos Anexos 2, 3, 4 e 5.

5.1 SELEÇÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS

Os primeiros estudos realizados demonstraram que algumas das metodologias propostas não apresentam resultados adequados à definição dos custos marginais, pois não têm enfoque no horário de ponta do sistema (o período que mais provoca novos investimentos na rede), são elas: sorteio, curva média e curva mediana. Em contrapartida, duas foram identificadas como bastante promissoras: maior impacto na ponta e dia útil mais pesado. Portanto, se decidiu descartar os primeiros métodos e focar os casos de estudo deste trabalho nas metodologias com propensão a melhores resultados, realizando os casos teste de seleção de curvas características através de três técnicas: as duas mencionadas como promissoras (maior impacto na ponta, identificada nos gráficos com “MP”, e dia útil mais pesado, “DU”) e uma como base de comparação (algoritmo comercial atualmente utilizado no programa SAT, identificado como “SA”).

A comparação dos processos de seleção aconteceu em dois momentos distintos, através das tipologias das transformações e dos custos de

capacidade. Em ambos os casos, para cada metodologia testada, foram executados os processos de classificação disponíveis, permitindo a análise da influência da classificação nos processos de seleção.

A seguir são apresentados os principais resultados encontrados.

5.1.1 Tipologias das Transformações

As curvas das tipologias das transformações, conforme explicado no item 4.3.4, foram comparadas entre os casos “real” e “calculado”, obtendo-se a distância euclidiana para cada par de tipologias encontradas. Nos testes, as distâncias euclidianas foram organizadas, destacando-se os valores médios, máximos, totais e individuais.

Para cada método de classificação, os resultados dos métodos de seleção foram comparados através de três gráficos, ilustrados e comentados a seguir. Nos casos apresentados foi utilizado um classificador por nuvens dinâmicas, com semelhança por distância euclidiana. Os gráficos e dados para os outros métodos de classificação podem ser analisados no Anexo 2.

Inicialmente, foi comparada a quantidade de agrupamentos finais provocados por cada método de seleção, associado à distância euclidiana total. O gráfico da Figura 5.1 apresenta a quantidade de agrupamentos gerados e as distâncias euclidianas individuais e totais (acumuladas) para cada método de seleção. O comparativo entre os processos de seleção para as diferentes metodologias de classificação é apresentado após as análises individuais.

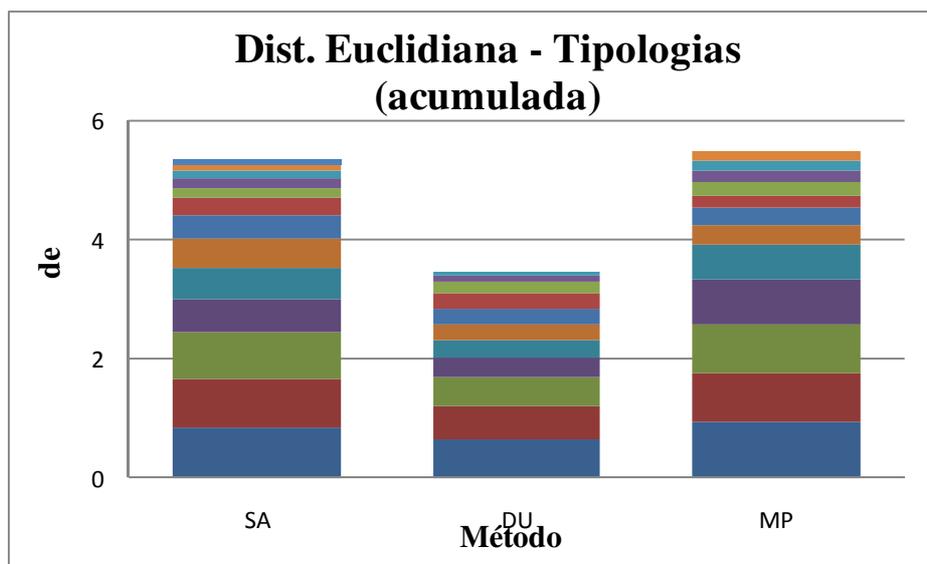


Figura 5.1 – Distância Euclidiana – acumulada - seleção

No exemplo da figura 5.1 pode-se observar que o método do “dia útil mais pesado - DU” apresentou a menor distância euclidiana total (~3,46) e a menor quantidade de agrupamentos gerados (11).

O segundo momento de comparação pode ser visualizado na Figura 5.2, onde é exposta a distribuição dos resultados individuais de cada tipologia, para cada método de seleção. Neste caso, observa-se, por exemplo, que a metodologia “MP” apresentou maiores dispersões nos resultados, principalmente se comparada à “DU”.

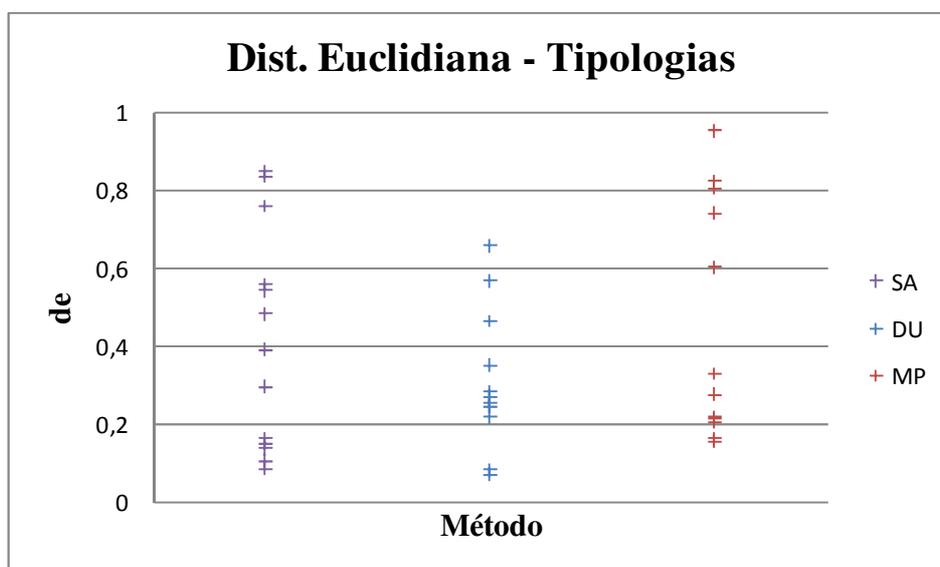


Figura 5.2 – Distância Euclidiana – distribuição - seleção

A última comparação por método de seleção é apresentada na Figura 5.3, através da indicação das distâncias euclidianas médias (centro dos círculos) e máximas (diâmetro dos círculos). Este exemplo destaca que a metodologia “DU” apresentou as menores distâncias média e máxima, podendo, por esse critério, ser identificado como o melhor método de seleção.

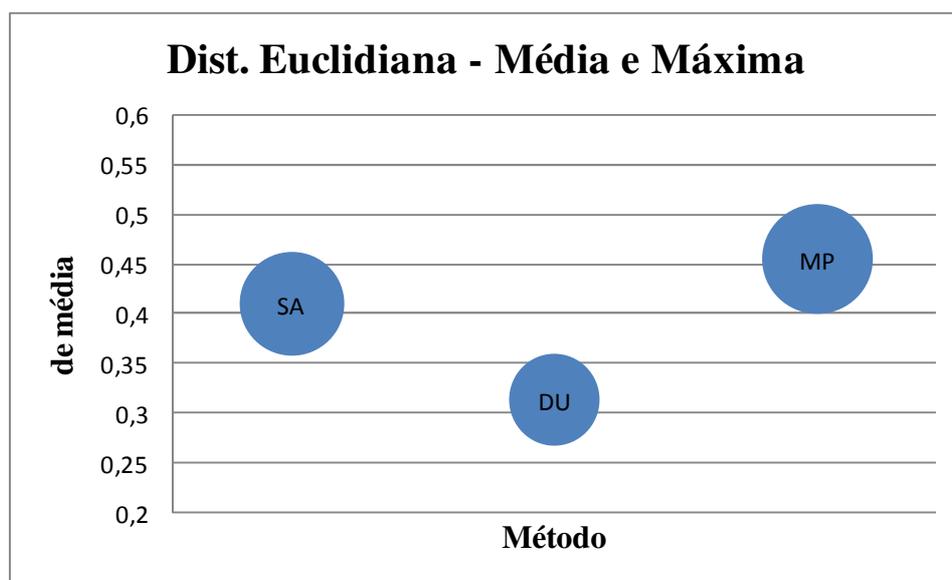


Figura 5.3 – Distância Euclidiana – média e máxima - seleção

A seguir são apresentados os comparativos das metodologias de seleção por método de classificação (distância euclidiana – “DE”, ponto a ponto – “PP”, ponto a ponto ponderado – “PPP” e fator de carga – “FC”). Os gráficos das Figuras 5.4, 5.5 e 5.6 ilustram, respectivamente, as distâncias euclidianas médias, máximas e totais.

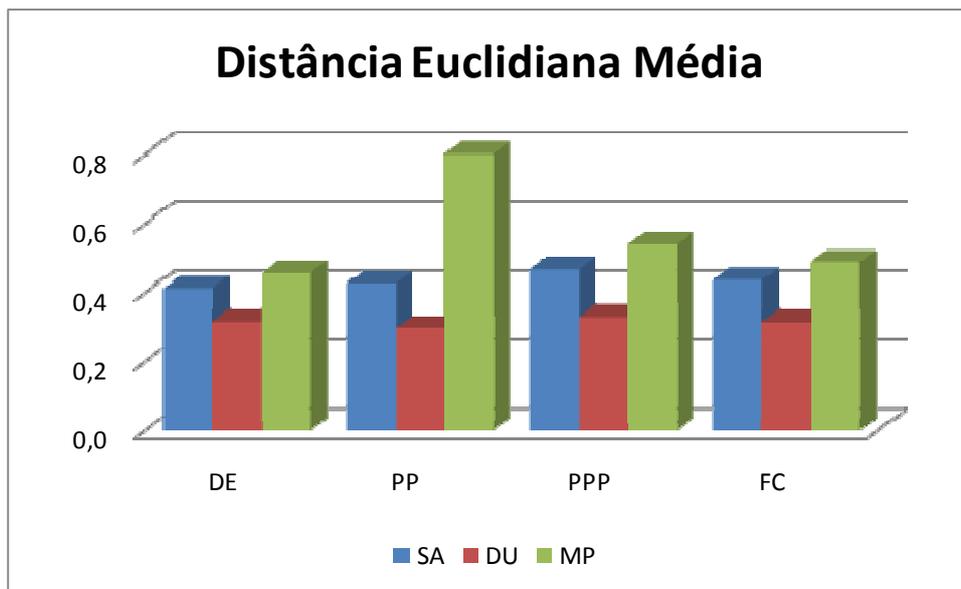


Figura 5.4 – Distância Euclidiana Média – comparativo da seleção

Nesta simulação, pode-se observar que o método “DU” apresentou sempre as menores distâncias euclidianas médias e máximas (figuras 5.4 e 5.5, respectivamente), independentemente da metodologia de classificação utilizada.

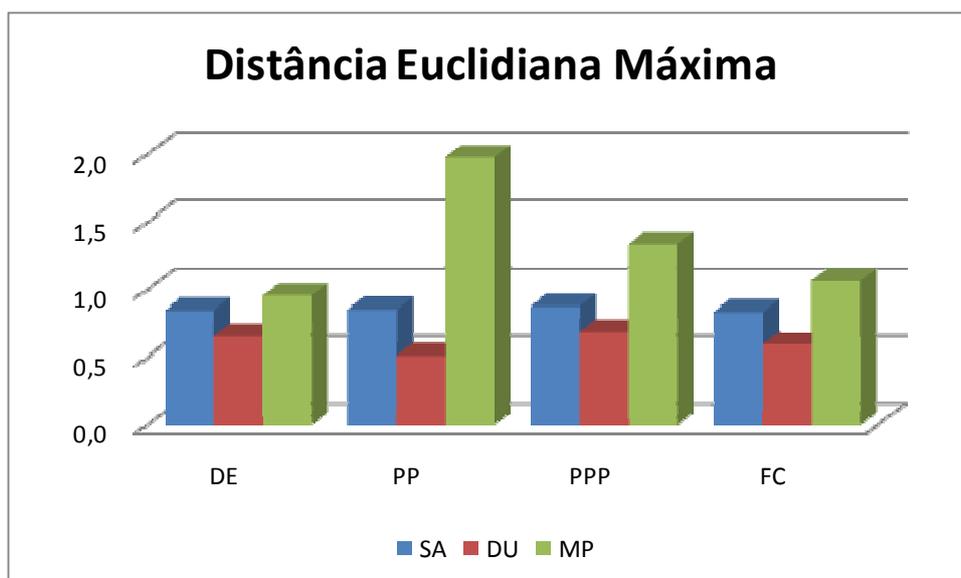


Figura 5.5 – Distância Euclidiana Máxima – comparativo da seleção

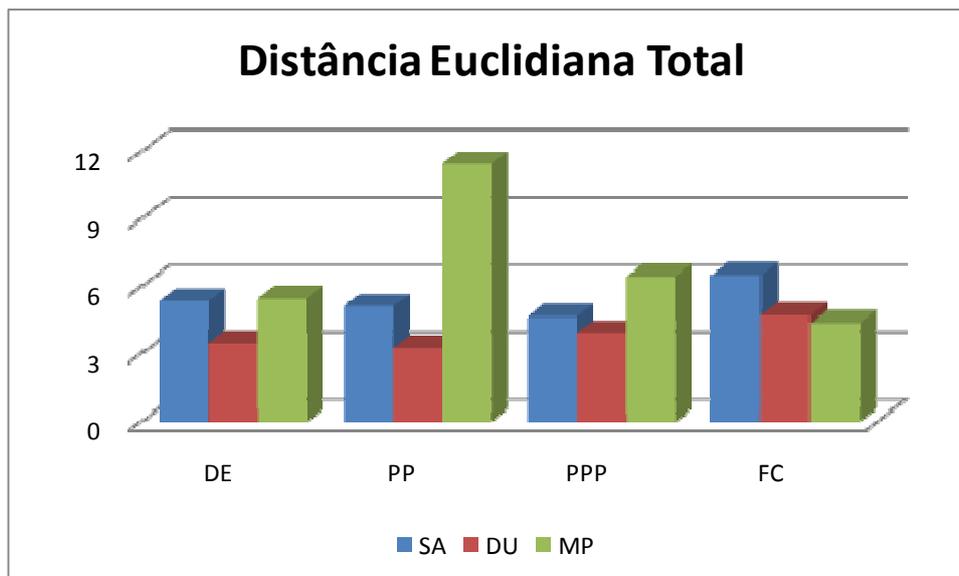


Figura 5.6 – Distância Euclidiana Total – comparativo da seleção

No exemplo da figura acima se pode concluir que a metodologia “DU” também apresenta, na maioria dos casos, as menores distâncias totais para diferentes métodos de classificação.

A organização dos dados dos três gráficos apresentados permite a análise das diferentes distâncias euclidianas (DE) em comparativo único, na Figura 5.7. A DE média é expressa no eixo horizontal, a DE total no eixo vertical e a DE máxima no diâmetro dos círculos. As cores definem a metodologia de seleção e os métodos de classificação correspondem a diferentes círculos de mesma cor, não identificados neste momento. Os gráficos com a transposição dos dados entre os eixos estão disponíveis no Anexo 2.

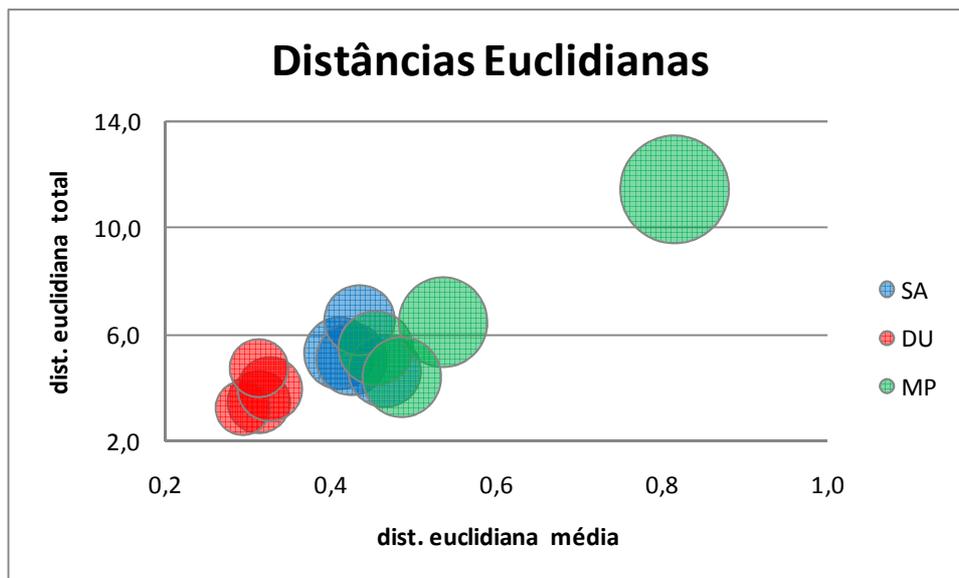


Figura 5.7 – Distância Euclidiana – comparativo geral da seleção

O gráfico da figura 5.7 consolida os resultados dos outros gráficos, onde a metodologia do “DU” (para esse caso exemplo) possui as melhores aproximações das curvas através do critério de comparação pela distância euclidiana, com os menores valores para as distâncias média, máxima e total, com pouca influência do método de classificação.

5.1.2 Custos de Capacidade

Os custos marginais de capacidade foram analisados em duas etapas. A primeira é um comparativo dos custos específicos e das relações entre custos para as metodologias de seleção, para os níveis de tensão BT e A4 nos períodos de ponta e fora de ponta. Assim como no caso das tipologias das transformações, para cada método de classificação, os resultados dos métodos de seleção foram comparados através de gráficos. No exemplo das Figuras 5.8 e 5.9 foi utilizado um classificador por nuvens dinâmicas com semelhança por distância euclidiana, com os valores em pu (por unidade, com base nos valores da seleção realizada pelo algoritmo do SAT). Os gráficos para os outros

métodos de classificação e com as unidades dos custos de capacidade em R\$/kW podem ser analisados no Anexo 3.

A figura a seguir compara os custos de capacidade obtidos para as diferentes metodologias de seleção nos níveis BT e A4, para ponta (P) e fora de ponta (FP). Neste exemplo, os valores estão com base nos valores “SA”, portanto os custos desta são todos iguais a 1,0. Para as outras metodologias, pode-se observar, por exemplo, que a “MP” provocou grandes acréscimos a alguns custos e a “DU” induziu uma distribuição nos resultados da baixa tensão (BT), aumentando o custo do período “fora ponta” e abaixando o “ponta”.

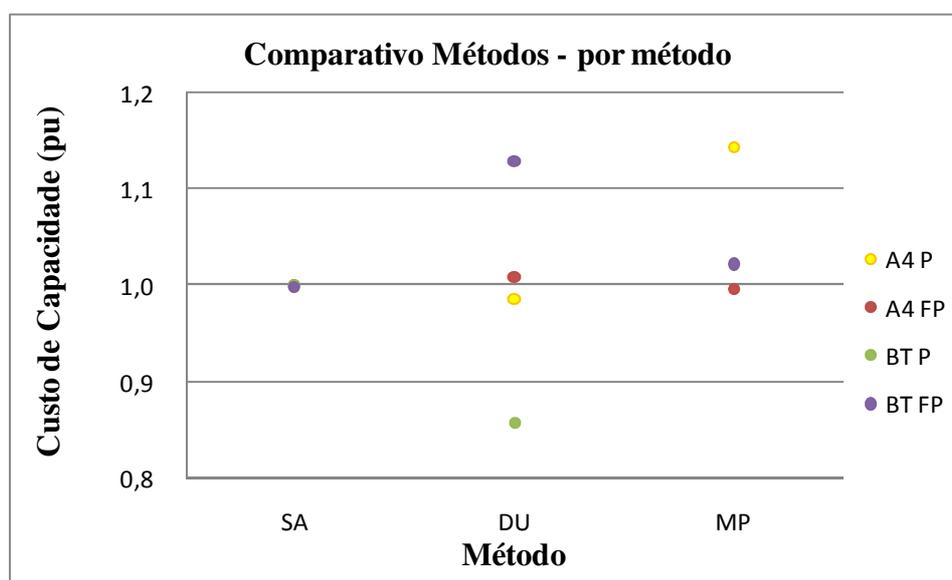


Figura 5.8 – Custos de Capacidade – seleção (pu)

O gráfico da Figura 5.9 apresenta as relatividades entre os custos de capacidade para as relações: BT ponta / A4 ponta, BT fora ponta / A4 fora ponta, BT ponta / BT fora ponta e A4 ponta / A4 fora ponta.

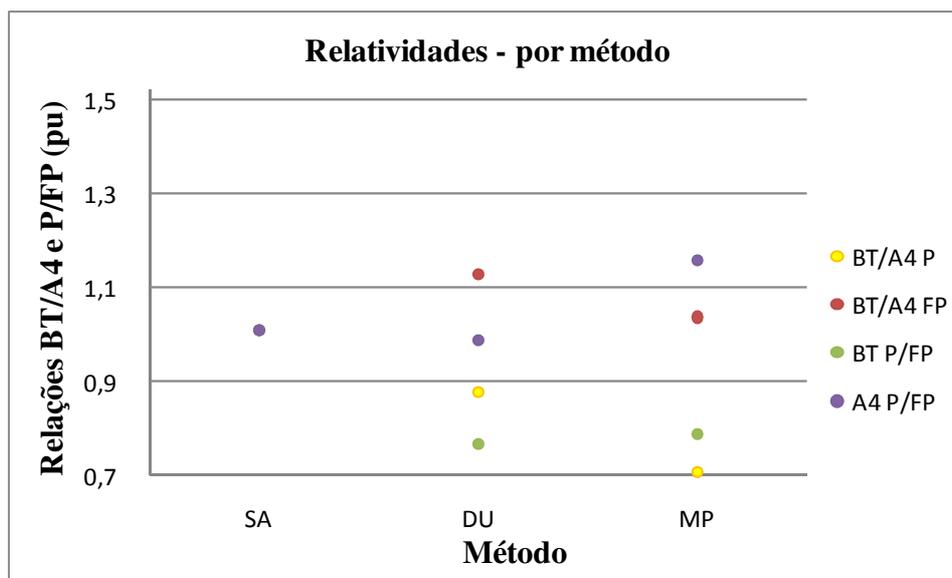


Figura 5.9 – Custos de Capacidade – seleção - relatividades (pu)

Os resultados do gráfico da figura 5.9 sugerem, por exemplo, que os métodos “DU” e “MP”, quando comparados ao “SA”, provocam queda significativa nas relações “BT/A4 na ponta” e “ponta/fora ponta no nível BT”. Vale ressaltar que esses resultados não devem necessariamente se repetir em outros casos, sendo conclusões específicas do exemplo em questão.

A segunda avaliação é a análise conjunta de todos os métodos de seleção, na qual é possível a comparação dos custos de capacidade para diferentes processos de classificação. A organização dos dados nos três gráficos apresentados a seguir, Figuras 5.10, 5.11 e 5.12, permite verificar a variação dos custos para as relações, respectivamente: BT ponta x A4 ponta, BT ponta x BT fora ponta e A4 ponta x A4 fora ponta. As cores definem a metodologia de seleção e os métodos de classificação correspondem aos diferentes círculos de mesma cor, não identificados neste momento.

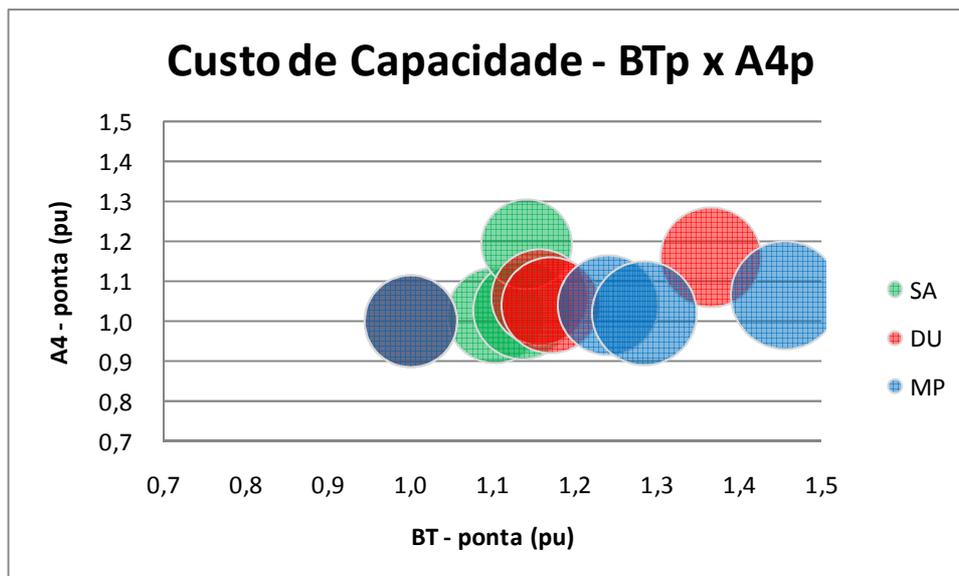


Figura 5.10 – Custos de Capacidade – seleção – BTP x A4p

O comparativo acima, para o caso exemplo, permite duas deduções principais: a metodologia de seleção não tem impacto claro no custo “A4 ponta”; e existe uma tendência do método “MP” provocar maior impacto no custo “BT ponta”, seguido pelo “DU”. Na figura 5.11, observa-se o método “MP” também gerando menores custos “BT fora ponta”.

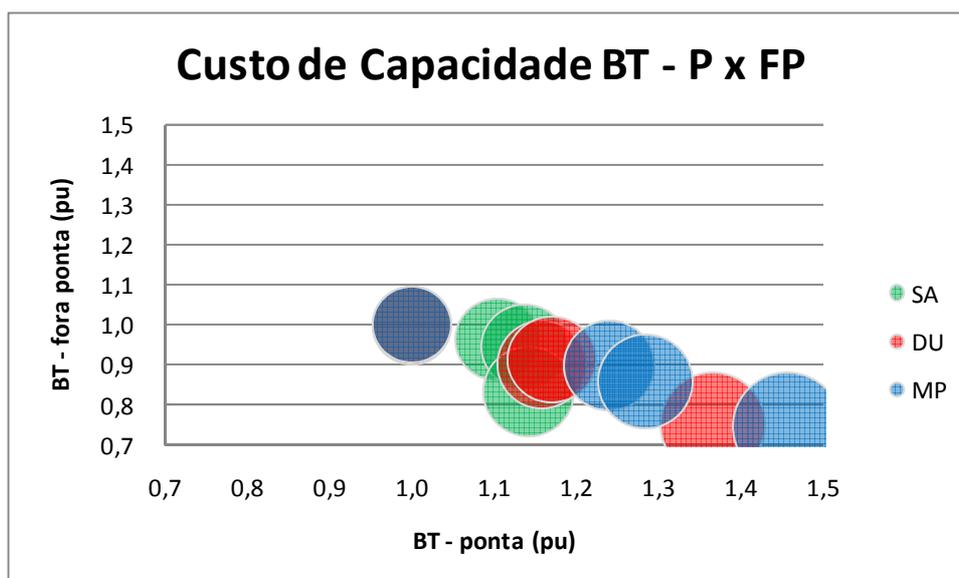


Figura 5.11 – seleção – BTP x BTfp

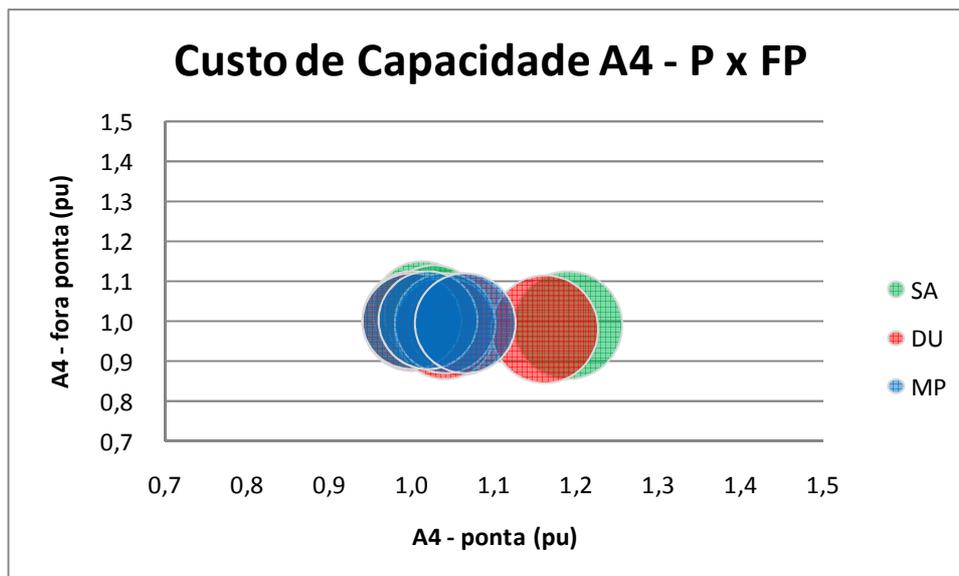


Figura 5.12 – seleção – A4p x A4fp

O comparativo da figura 5.12 ressalta a dificuldade de se encontrar tendências claras na variação dos custos para o nível A4, tanto para “ponta” como “fora ponta”, quando se analisando apenas as metodologias de seleção.

5.2 CLASSIFICAÇÃO DE DADOS

Os estudos dos métodos de classificação de dados foram realizados para todas as metodologias propostas no item 4.2. O caso do “Método das Nuvens Dinâmicas e Método de Ward – Tradicional (Distância Euclidiana)” (abreviado por “DE”) foi utilizado como referência para as comparações. As variações desse método foram abreviadas por “PP” (ponto a ponto), “PPP” (ponto a ponto ponderado) e “FC” (fator de carga). O método das redes neurais, devido a dificuldades de integração dos módulos de software desenvolvidos, não foi trabalhado a ponto de poder ser comparado adequadamente aos outros métodos e, portanto, não tem seus resultados apresentados neste trabalho.

Da mesma forma como foi realizada a análise dos processos de seleção, a comparação das metodologias de classificação aconteceu em dois momentos distintos, através das tipologias das transformações e dos custos de capacidade. Em ambos os casos, para cada metodologia testada, foram executados previamente os processos de seleção disponíveis, permitindo a análise da influência da seleção nos processos de classificação.

A seguir são apresentados os principais resultados encontrados.

5.2.1 Tipologias das Transformações

As curvas das tipologias das transformações, conforme realizado nos processos de seleção, foram comparadas entre os casos “real” e “calculado”, obtendo-se a distância euclidiana para cada par de tipologias encontradas. Nos testes, as distâncias euclidianas foram organizadas, destacando-se os valores médios, máximos, totais e individuais.

Para cada método de seleção, os resultados dos métodos de classificação foram comparados através de três gráficos, ilustrados a seguir. Nos casos apresentados, foi utilizada a seleção pelo algoritmo do SAT. Os gráficos para os outros métodos de classificação podem ser analisados no Anexo 4.

O gráfico da Figura 5.13 apresenta a quantidade de agrupamentos gerados e as distâncias euclidianas individuais e totais (acumuladas) para cada método de classificação. O comparativo entre a combinação dos métodos é apresentado após as análises individuais.

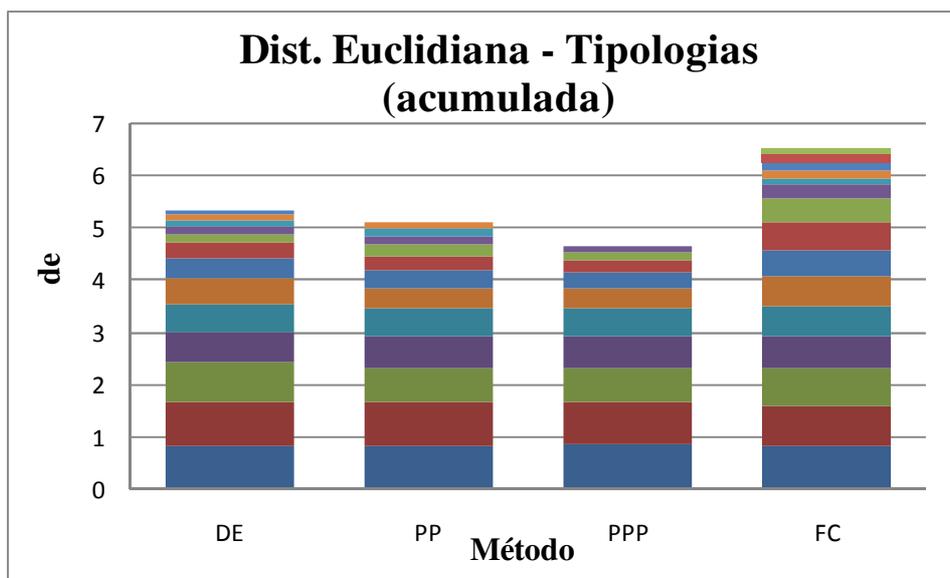


Figura 5.13 – Distância Euclidiana – acumulada - classificação

O exemplo acima permite identificar, por exemplo, que os métodos “ponto a ponto” e “ponto a ponto ponderado” possuem menores distâncias euclidianas totais e quantidade de agrupamentos levemente inferior.

A segunda comparação pode ser visualizada na Figura 5.14, onde é exposta a distribuição dos resultados individuais de cada tipologia, para cada método de classificação. Neste caso, pode-se observar a pequena influência dos métodos de classificação na dispersão das distâncias euclidianas.

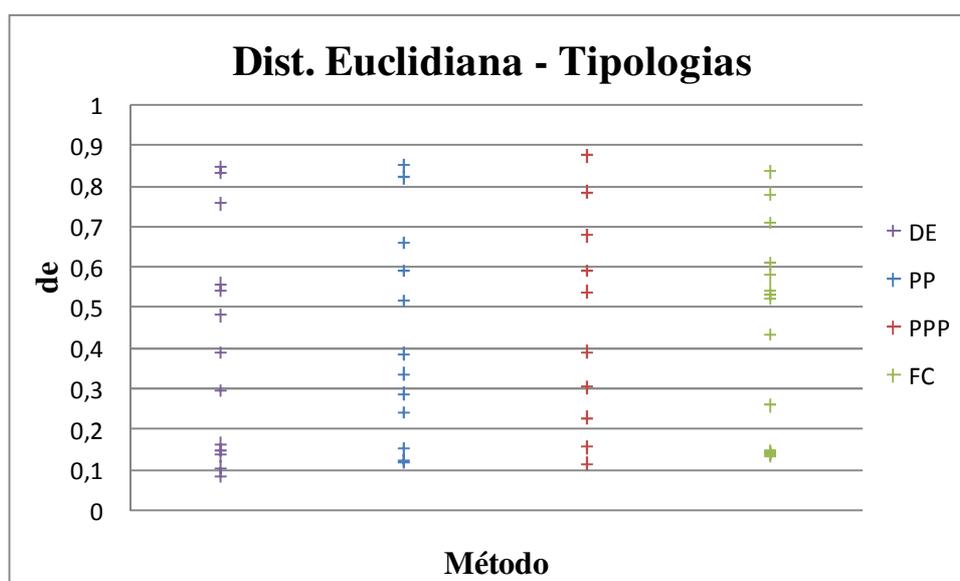


Figura 5.14 – Distância Euclidiana – distribuição - classificação

A última comparação dos métodos de classificação é apresentada na Figura 5.15, através da indicação das distâncias euclidianas médias (centro dos círculos) e máximas (diâmetro dos círculos). Este gráfico identifica, por exemplo, que a metodologia de classificação “PPP” apresenta as maiores distâncias euclidianas médias e máximas.

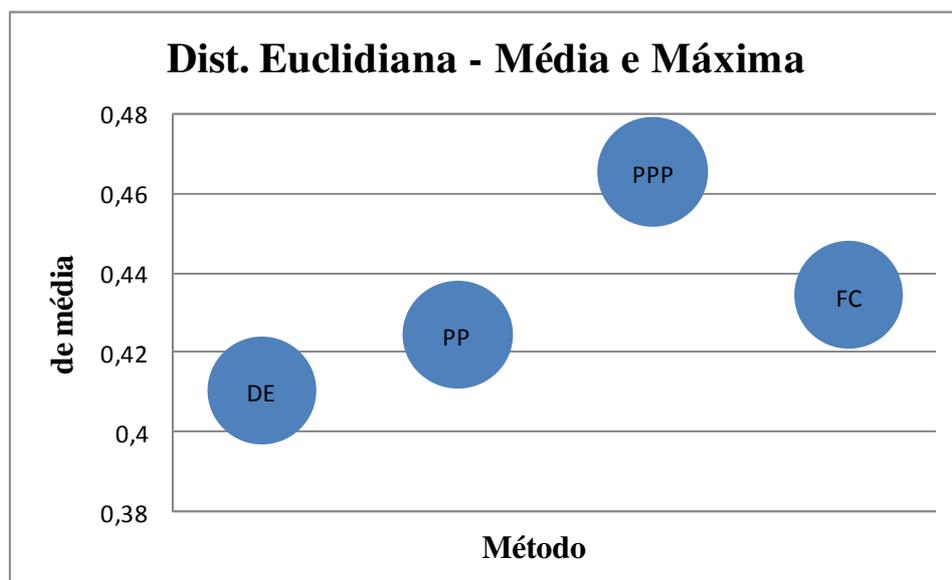


Figura 5.15 – Distância Euclidiana – média e máxima - classificação

A seguir são apresentados os comparativos das metodologias de classificação por método de seleção. Os gráficos das Figuras 5.16, 5.17 e 5.18 ilustram, respectivamente, as distâncias euclidianas médias, máximas e totais.

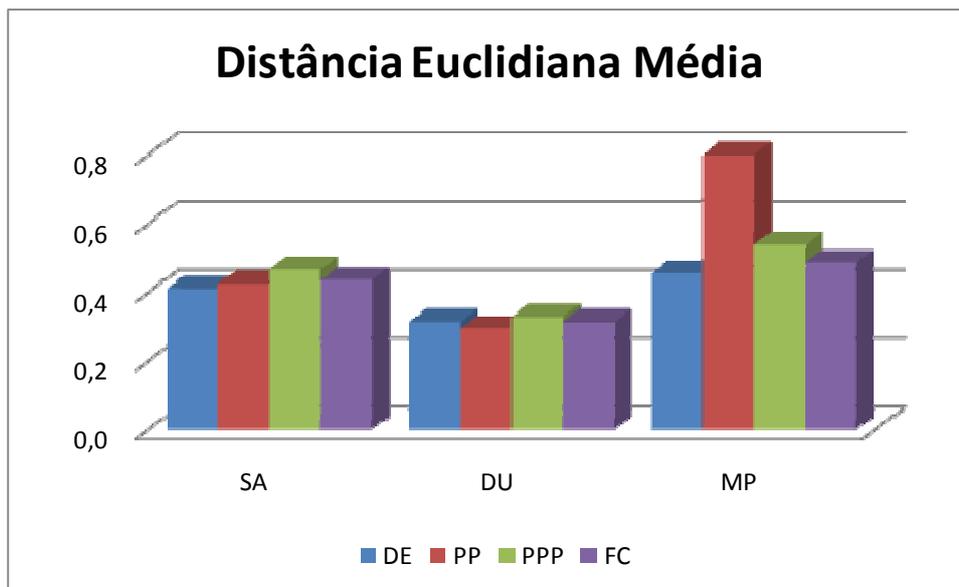


Figura 5.16 – Distância Euclidiana Média – comparativo da classificação

A comparação entre os métodos de classificação (analisando-se os três gráficos) permite verificar que as metodologias não apresentam tendências claras como na seleção, mas permite a observação do método “DE” como o que apresenta, na maioria dos casos, as distâncias mais baixas e constantes.

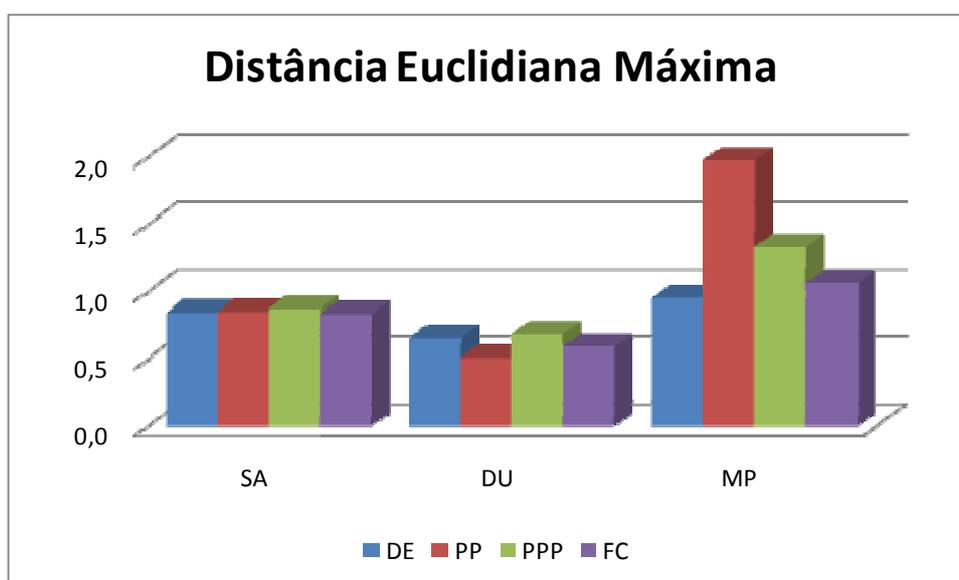


Figura 5.17 – Distância Euclidiana Máxima – comparativo da classificação

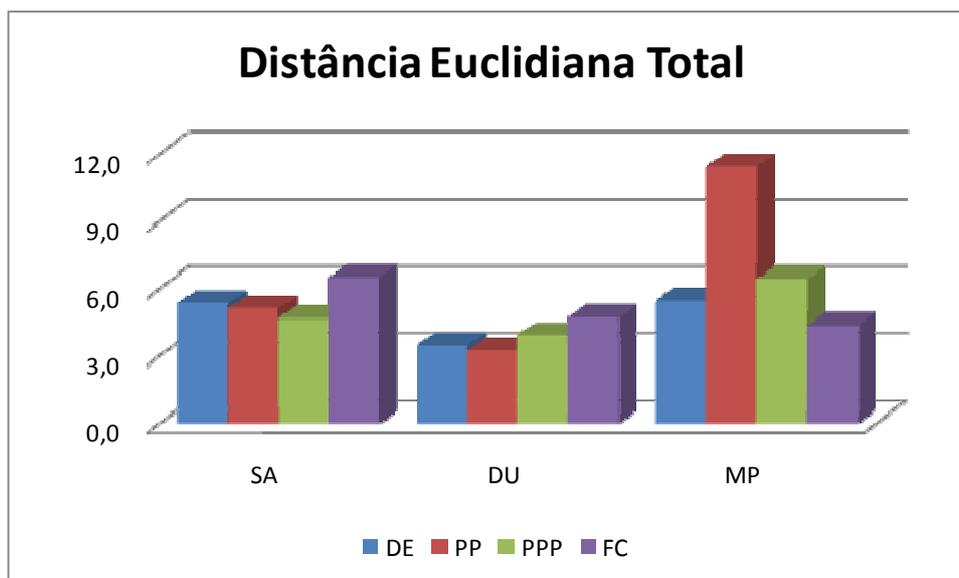


Figura 5.18 – Distância Euclidiana Total – comparativo da classificação

A organização dos dados dos três gráficos apresentados permite a análise das diferentes distâncias euclidianas (DE) em comparativo único, na Figura 5.19. A DE média é expressa no eixo horizontal, a DE total no eixo vertical e a DE máxima no diâmetro dos círculos. As cores definem a metodologia de classificação e os métodos de seleção correspondem a diferentes círculos de mesma cor, não identificados neste momento. Os gráficos com a transposição dos dados entre os eixos estão disponíveis no Anexo 4.

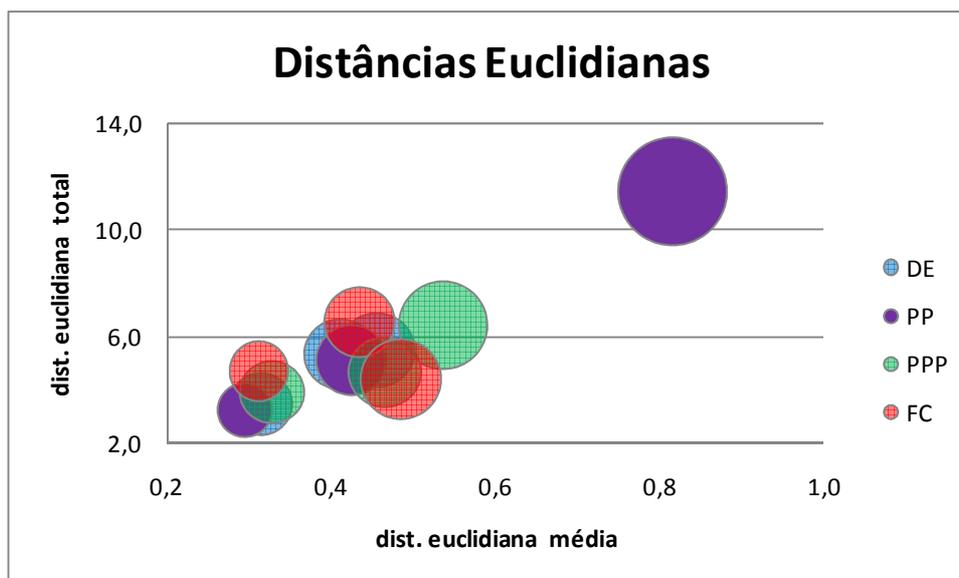


Figura 5.19 – Distância Euclidiana – comparativo geral da classificação

O exemplo da figura 5.19 ilustra possível dificuldade de se encontrar um padrão claro na influência dos métodos de classificação, no qual a metodologia “PP” apresenta os melhores resultados, ligeiramente superiores aos dos outros métodos.

5.2.2 Custos de Capacidade

Os custos marginais de capacidade foram analisados em duas etapas. A primeira é um comparativo dos custos específicos e das relações entre custos para as metodologias de classificação, para os níveis de tensão BT e A4 nos períodos de ponta e fora de ponta. Assim como no caso das tipologias das transformações, para cada método de seleção, os resultados dos métodos de classificação foram comparados através de gráficos. No exemplo das Figuras 5.20 e 5.21, foi utilizada a seleção pelo processo de seleção implementado no SAT, com os valores em pu (por unidade, com base nos valores do classificador por nuvens dinâmicas, com semelhança por distância euclidiana). Os gráficos para os outros métodos de classificação e com as unidades dos custos de capacidade em R\$/kW podem ser analisados no Anexo 5.

A figura a seguir compara os custos de capacidade obtidos para as diferentes metodologias de classificação nos níveis BT e A4, para ponta (P) e fora de ponta (FP). Neste exemplo, os valores estão com base nos valores “SA”, portanto os custos desta são todos iguais a 1,0. Para as outras metodologias, pode-se observar, por exemplo, que o método “FC” provoca as maiores variações nos custos e que o valor “BT ponta” é o mais sensível à variação das metodologias

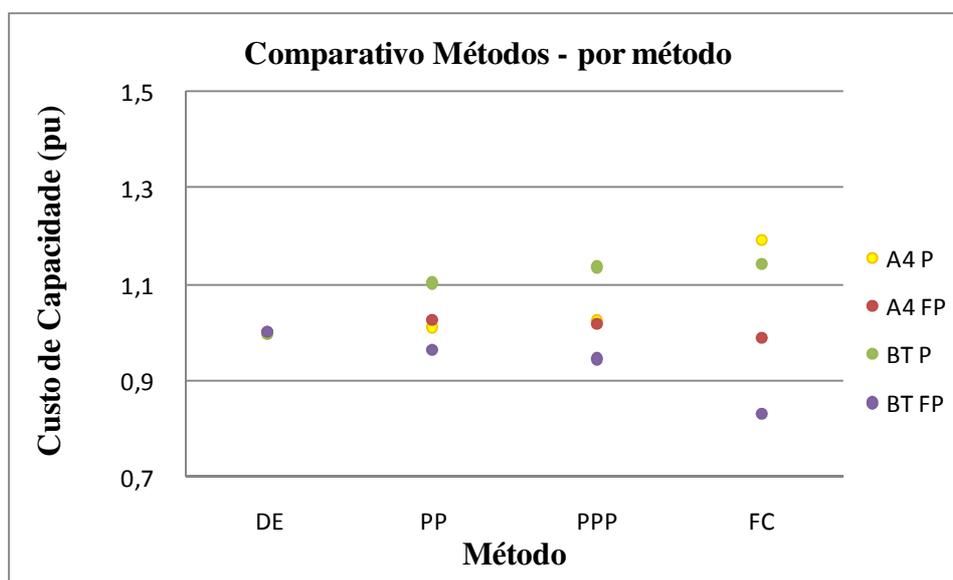


Figura 5.20 – Custos de Capacidade – classificação (pu)

O gráfico da Figura 5.21 apresenta as relatividades entre os custos de capacidade para as relações: BT ponta / A4 ponta, BT fora ponta / A4 fora ponta, BT ponta / BT fora ponta e A4 ponta / A4 fora ponta.

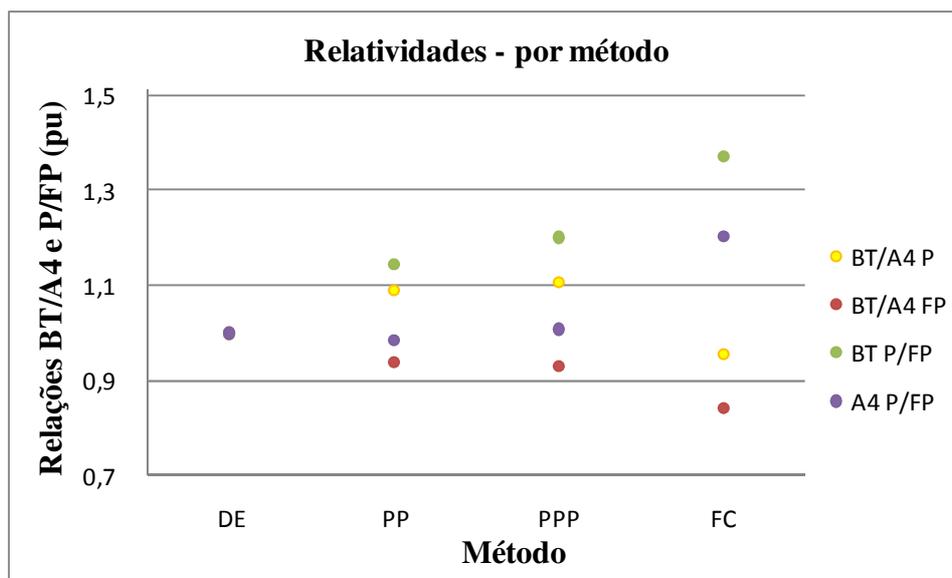


Figura 5.21 – Custos de Capacidade – classificação - relatividades (pu)

O exemplo do gráfico acima ressalta, entre outras possíveis observações, o grande impacto nas relações dos custos “BT ponta/fora ponta” e “BT/A4 fora ponta” para todas as metodologias.

A segunda etapa é a análise conjunta de todos os métodos de classificação, onde é possível a comparação dos custos de capacidade para diferentes processos de seleção. A organização dos dados nos três gráficos apresentados a seguir, Figuras 5.22, 5.23 e 5.24, permite verificar a variação dos custos para as relações, respectivamente: BT ponta x A4 ponta, BT ponta x BT fora ponta e A4 ponta x A4 fora ponta. As cores definem a metodologia de classificação e os métodos de seleção correspondem aos diferentes círculos de mesma cor.

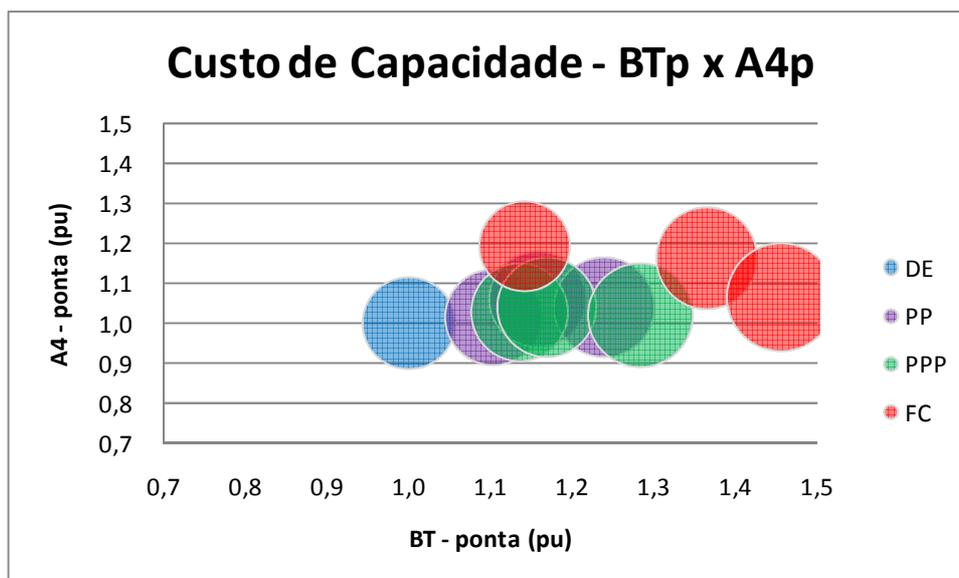


Figura 5.22 – Custos de Capacidade – classificação – BTP x A4p

O comparativo acima, para o caso exemplo, permite duas deduções principais: a única metodologia de classificação com impacto significativo no custo “A4 ponta” é o “FC”; e o método “PP” apresenta as menores variações no custo “BT ponta”, seguido pelo “PPP”. Na figura 5.23, observa-se o método “FC” também gerando os menores custos “BT fora ponta”.

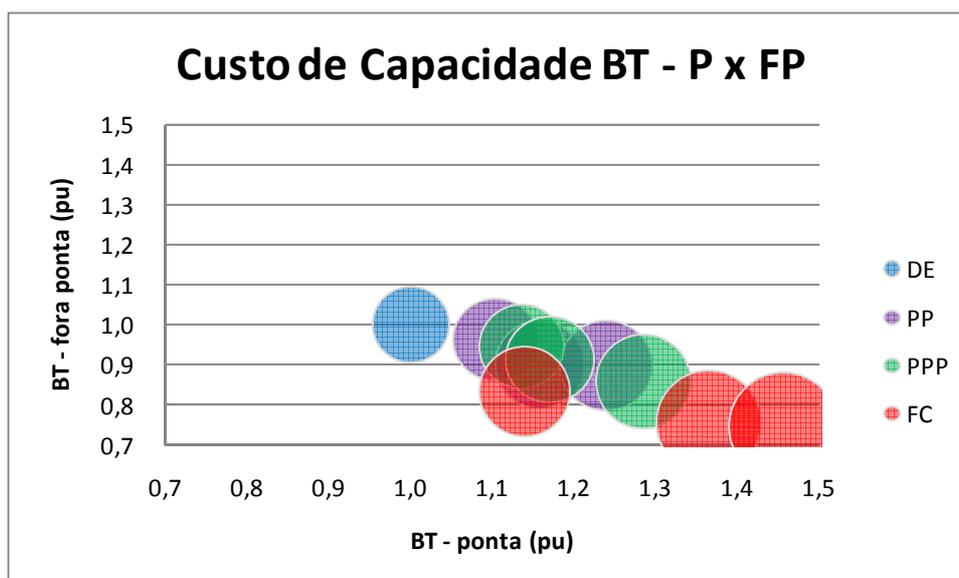


Figura 5.23 – classificação – BTP x BTfp

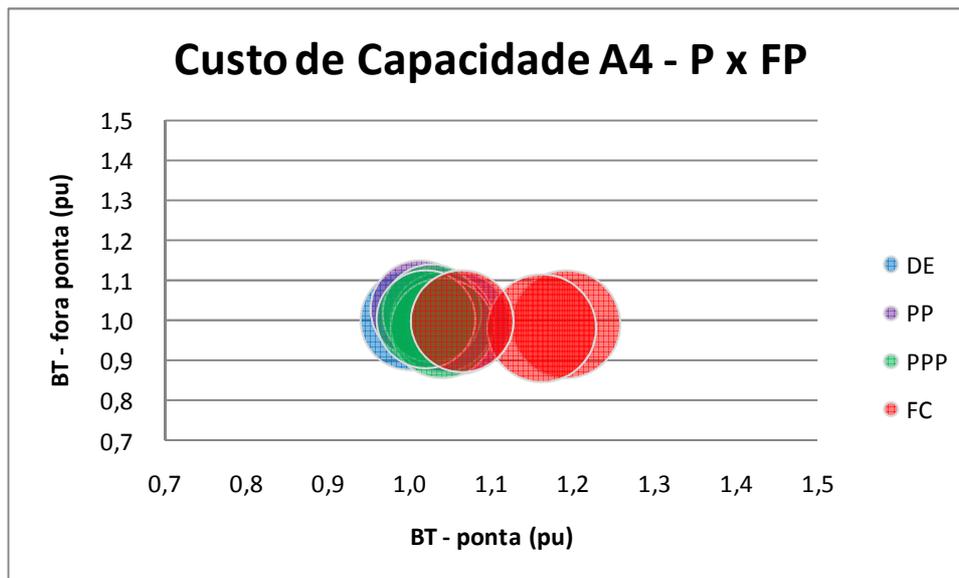


Figura 5.24 – classificação – A4p x A4fp

O comparativo da figura 5.12 destaca as variações encontradas para a metodologia “FC” no custo “BT ponta” e mostra que não há maiores alterações “fora ponta”. As outras metodologias não apresentam tendências significativas de comportamento.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho permitiu a análise da influência de duas etapas do processo de caracterização de carga para revisões tarifárias: a seleção de curvas características e a classificação das mesmas em tipologias de carga. Uma vez que não há definição do órgão regulador para os métodos utilizados nas etapas e existem diferentes técnicas empregadas no mercado, foram propostas e comparadas metodologias alternativas baseadas em critérios estatísticos e métodos heurísticos. Em todos os casos, foram utilizados processos automatizados através de algoritmos, eliminando influências humanas por erro, imprecisão e subjetividade na avaliação.

A comparação entre as metodologias desenvolvidas foi realizada para cada etapa do processo, por dois pontos de análise diferentes: as tipologias das transformações e os custos marginais de capacidade. Como avaliações complementares, foram estudadas a unidade de potência das curvas de carga e as quantidades de agrupamentos gerados nos processos de classificação. Os resultados obtidos são descritos nos itens a seguir.

6.1.1 Avaliações Complementares

No início dos testes foi realizada uma avaliação adicional sobre a unidade de potência das curvas utilizadas, decidindo a melhor alternativa entre as curvas originais em Watt ou a equalização por pu (por unidade), com base nas potências média ou máxima.

Os casos testados indicaram resultados bastante inadequados para a utilização das curvas originais e apresentaram ligeira vantagem para as equalizações por pu da potência máxima. Não foi necessária avaliação mais profunda, uma vez que os resultados foram bastante claros e o assunto não estava incluso nos objetivos principais desta pesquisa.

A quantidade de agrupamentos gerados foi analisada apenas de forma comparativa entre as metodologias desenvolvidas, pois a definição da quantidade ótima encontrou duas barreiras em sua utilização. A primeira, e mais importante, tem caráter técnico: o software de cálculo das tarifas de referência utilizado pelo órgão regulador possui limitações para a quantidade de tipologias geradas. A segunda é originada por uma discussão conceitual sobre a formação das tarifas, na qual existem críticas sobre a necessidade de se criar diferentes tipologias quando na prática não são aplicadas tarifas individualizadas.

6.1.2 Escolha das Curvas de Carga Características

Os estudos das metodologias de seleção de curvas de cargas típicas foram iniciados pela identificação e exclusão das curvas dos consumidores com comportamento atípico, como a ausência de medição em um grande período do dia ou a variação da demanda média diária.

Após a análise das atipicidades, as metodologias de seleção elaboradas foram testadas experimentalmente, selecionando-se duas metodologias que apresentaram resultados bastante promissores (“dia útil mais pesado” e “maior impacto na ponta”) para implementação em um software piloto, de caráter acadêmico, para comparações com uma das técnicas atuais de seleção de curvas (algoritmo do “SAT”).

Uma grande dificuldade nas adaptações desse software foi implementar os critérios baseados no raciocínio humano, onde há subjetividade

na avaliação, para a metodologia de “maior impacto na ponta”. Os outros métodos, por se tratarem de técnicas estatísticas, foram facilmente transcritos para códigos de programação, não apresentando dificuldades.

A possibilidade de se implementar decisões que simulam a avaliação humana, ainda que complexas, permitiu escolhas de melhor qualidade. Os conjuntos de curvas resultantes do programa elaborado apresentam seleções normalmente melhores que possíveis processos manuais (na metodologia de “maior impacto na ponta”), eliminando interferência humana e escolhas demoradas e exaustivas. Essas características geram um resultado final mais fiel à metodologia, sendo reproduzível e proporcionando melhores estudos de caracterização da carga.

As metodologias desenvolvidas nessa etapa foram estudadas através dos dados de duas empresas distribuidoras de energia, com diferentes perfis de consumidores e redes. Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- As metodologias de seleção que desconsideram o período de ponta do sistema não são adequados para processos nos quais o objetivo final é relacionado aos custos marginais de expansão, como o caso das campanhas de revisão tarifária. Esta conclusão permitiu excluir, durante o decorrer do trabalho, as metodologias: sorteio, curva média e curva mediana;
- A quantidade de tipologias geradas, influenciadas apenas pela metodologia de seleção, não apresentou nenhum efeito claro. Os testes realizados oscilaram sem tendências provocadas pela seleção, independentemente da concessionária e do método de classificação;
- As diferenças entre as tipologias das transformações e dos consumidores (médias, máximas e acumuladas) são menores, na grande maioria dos casos, para a seleção das curvas do “dia útil

mais pesado do sistema”. Para casos nos quais as tipologias de transformação são prioritárias, esse método pode ser indicado como o mais adequado para a realização do processo de seleção das curvas de carga típicas;

- A amostra obtida pela concessionária “B” apresentou uma pequena divergência entre as curvas das transformações e clientes para a baixa tensão, sendo tratada de forma diferente por cada metodologia. Nos casos “SAT” e “maior impacto na ponta” as diferenças foram distribuídas por vários pares de tipologias e no “dia útil mais pesado” houve a concentração em apenas um ou dois pares. Essa particularidade, no segundo caso, prejudicou o resultado do cálculo da diferença máxima, porém identificou o par de curvas agregadas onde um possível erro estaria presente;
- A utilização de diferentes técnicas para a seleção não apresenta variações uniformes nos custos marginais de capacidade. Para as duas empresas testadas, nenhum método manteve um padrão de variação para os níveis de tensão ou patamares horários. Como exceção, a relação entre as tarifas “ponta” e “fora ponta” da baixa tensão foram aproximadamente 12% menores para o “dia útil mais pesado” quando comparado ao processo do “SAT”. Uma vez que os resultados sempre se apresentaram sem tendências, existe a possibilidade de essa observação ter sido originada por uma simples coincidência.

6.1.3 Classificação de Dados

Na segunda fase do trabalho, foram sugeridas e avaliadas metodologias alternativas para a classificação das curvas de carga típicas em tipologias das classes de consumidores e transformações.

Os primeiros testes realizados com as metodologias sugeridas não descartaram nenhum dos modelos, tornando necessária a simulação completa e as comparações para todas as propostas (nuvens dinâmicas por “distância euclidiana”, “ponto a ponto”, “ponto a ponto ponderado” e “fator de carga”). A execução dos processos foi realizada através de programas específicos para esse fim, como o SAT (de uso comercial, para as metodologias de nuvens dinâmicas). Ferramentas específicas para promover os ajustes necessários na organização das massas de dados de entrada e saída dos programas utilizados foram desenvolvidas paralelamente.

Estes processos de agrupamento testados são de conhecimento público e bem difundidos, não havendo problemas no desenvolvimento das metodologias de agrupamento. A principal dificuldade encontrada durante as simulações foi a definição do número de agrupamentos a serem gerados, pois os programas utilizados para as responsabilidades de potência possuem limitações quanto à quantidade de curvas. Os testes utilizaram a limitação por quantidade de mercado, igualmente para todas as metodologias e empresas.

A fim de evitar interferências dos métodos de seleção nos comparativos das metodologias de classificação, todas as combinações de dados de entrada (diferentes seleções realizadas) e classificações possíveis foram realizadas.

Assim como na etapa de escolha das curvas típicas, as propostas de classificação foram estudadas através da comparação das tipologias das transformações/consumidores e dos custos marginais de capacidade, para os dados das duas concessionárias. Os resultados encontrados possibilitaram as conclusões:

- O método “ponto a ponto” apresentou, na maioria dos casos, a menor quantidade de agrupamentos gerados. A pior técnica com esse ponto de vista foi o “fator de carga”, que sempre proporcionou uma quantidade elevada de conjuntos. Os métodos “distância euclidiana” e “ponto a ponto ponderado” oscilaram

conforme a concessionária e o processo de seleção, permanecendo sempre entre os limites dos outros dois métodos;

- As diferenças entre as tipologias das transformações e dos consumidores, máximas e acumuladas, foram ligeiramente menores para os processos “ponto a ponto” e “ponto a ponto ponderado”. As diferenças médias da “distância euclidiana” foram melhores ou semelhantes às duas mencionadas. O “fator de carga” se apresentou, quase sempre, como a pior técnica.
- Observando apenas pelo ponto de vista das tipologias geradas, a variação da metodologia do processo de classificação não causa impacto significativo no resultado final e não apresenta tendências claras;
- Os custos de capacidade, em alguns fatores, não foram alterados conforme a metodologia de classificação. No nível A4, os valores absolutos e a relação entre ponta e fora de ponta não apresentaram tendências para qualquer método ou empresa.
- A relação dos custos entre os níveis BT e A4, para o período de ponta, apresentou valores crescentes na seqüência: “distância euclidiana”, “ponto a ponto”, “ponto a ponto ponderado” e “fator de carga”. Para o período fora de ponta, é identificada a mesma seqüência, porém no sentido inverso.
- Os valores absolutos dos custos para o nível BT possuem tendências invertidas para os períodos de ponta e fora de ponta, mantendo a relação P/FP crescente na ordem: “distância euclidiana”, “ponto a ponto”, “ponto a ponto ponderado” e “fator de carga”.

6.2 PROSSEGUIMENTO DOS ESTUDOS

O desenvolvimento desta pesquisa permitiu a identificação de alguns temas que merecem ser trabalhados ou, quando já o foram, ser pesquisados com maior profundidade. Entre eles, se destacam:

- A quantidade ideal de agrupamentos nos processos de classificação pode ser estudada, assim como o número de iterações adequado, sem a limitação de conjuntos finais e sem o enfoque da formação de tarifas;
- O impacto dos processos de seleção e classificação, nos custos marginais de capacidade, não está claro para os testes realizados com as amostras de apenas duas concessionárias. A análise dos resultados para um número maior de empresas pode confirmar e complementar as tendências encontradas e, adicionalmente, podem ser desenvolvidas e testadas novas técnicas de comparação. Em alguns gráficos de comparação dos custos de capacidade evidenciou-se variação elevada desses valores, sugerindo também estudos mais detalhados. Ressalta-se então a importância de um trabalho complementar para a conclusão da análise dos custos marginais, uniformizando um critério adequado e detalhando os resultados encontrados;
- A metodologia de classificação por redes neurais apresentou, nos testes preliminares, resultados bastante promissores, estimulando futuras implementações. As principais avaliações foram realizadas através da comparação visual dos agrupamentos gerados, onde se pode perceber grande semelhança entre as curvas de cada conjunto sem a necessidade da criação de muitos agrupamentos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VIEIRA, G. J.; **Margem Tarifária Ideal em Empresas de Distribuição de Energia Elétrica**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: 2003.
- [2] ELETROBRAS. **Nova Tarifa de Energia Elétrica**: metodologia e aplicação. Brasília: 1985. 444 p.
- [3] PIRES, J. C. L.; PICCININI, M. S. **Modelos de Regulação Tarifária do Setor Elétrico**.
- [4] ELECTROPERU S. A. Sector Energia y Minas. Comision de Tarifas Electricas. **Nueva Tarifa de Energia Electrica**. Lima: 1989. 379 p.
- [5] BITU, R.; BORN, PAULO. **Tarifas de Energia Elétrica**: Aspectos Conceituais e Metodológicos. São Paulo: MM Editora Ltda, 1993. 173 p.
- [6] REZENDE, M. R., **Curso de Custos Marginais e Tarifação**. São Paulo: ENERQ/EPUSP, 1999.
- [7] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Programa de Revisão Tarifária - PRT**. Brasília: 1994.
- [8] DAIMON ENGENHARIA. **SAT – Especificação Técnica**. São Paulo: 2008.
- [9] GEMIGNANI, M. M. F.; OLIVEIRA, C. C. B. **Automatização do processo de seleção de curvas típicas de carga**. Trabalho de Conclusão de Curso. São Paulo: EPUSP, 2004.
- [10] DNAEE. **Programa de Revisão Tarifária – PRT**: Projeto 1 - Caracterização da Carga, Metodologia Para a Caracterização da Carga, Relatório 2. Brasília: 1994.
- [11] DAIMON ENGENHARIA. **SAT – Manual do Usuário**. São Paulo: 2008.

[12] ANEEL. **Resolução Normativa nº 166**. Out/2005, Brasília: disponível em <www.aneel.gov.br>. Acesso em 08.Fev.2006.

[13] MÉFFE, A.; OLIVEIRA, C. C. B.; OLIVEIRA, P. R. P. **Desenvolvimento de Modelos de Classificação para o Estabelecimento de Padrões Típicos de Representação de Redes de Baixa Tensão para Cálculo de Perdas Técnicas**: Desenvolvimento de Modelos de Classificação, Relatório Técnico 04 – Enerq/USP, São Paulo, Abril, 2002

[14] ANEEL. **Revisão Tarifária Periódica**. Brasília: disponível em <www.aneel.gov.br/182.htm>. Acesso em 10.set.2008.

[15] ANEEL. SRD/SRT. **Nota Técnica 0086/2008**. Abr/2008, Brasília: disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2008/026/documento/nota_tecnica_0086_srd.pdf>. Acesso em 10.dez.2008.

OUTRAS REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ANEEL. **Proposta de Tarifas de Uso** (Resolução nº 286/99): Nota de Esclarecimento, Jun/2000. Brasília: disponível em <www.aneel.gov.br>. Acesso em 03.Jul.2000.

ANEEL. SRE. **Nota Técnica 302/2005**. Out/2005, Brasília: disponível em <www.aneel.gov.br>. Acesso em 08.Fev.2006.

ANEEL. SRD. **Ofício Circular 0006/2006**. Brasília: 2006.

ENERQ/USP. **Estrutura Tarifária e Custos Marginais**, Relatório 2. São Paulo: 2008

DNAEE. **Programa de Revisão Tarifária – PRT**: Metodologia de Cálculo dos custos Marginais de Fornecimento e de Passagem dos Custos Marginais às Tarifas de Referência, Relatório 6, Brasília: 1994.

DNAEE. **Programa de Revisão Tarifária – PRT**: Projeto 3 – Tarifas de Referência, Considerações Sobre Métodos De Cálculo Das Probabilidades de Associação, Relatório 5, Brasília: 1994.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA – COPEL. **Caracterização da Carga da Copel**. Curitiba: 1993. 74 p.

ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVICOS SA, DAIMON ENGENHARIA. **Caracterização da Carga da Elektro**. São Paulo: 2007. 112 p.

CELPA-CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ. **Caracterização da Carga da Celpa**. São Paulo: 2007. 97 p.

CASOLARI, R. P. **Curvas de Carga de Consumidores Industriais – Agregação com Outras Cargas**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: 1996.

ENERQ/USP; AES-ELETROPAULO. **Desenvolvimento de Sistema de Estimativa de Consumo para Recuperação de Receitas**, São Paulo: 2005.

JARDINI, J. A.; TAHAN, C. M. V.; GOUVEA, M. R.; AHN, S. U.; FIGUEIREDO, F. M. **Daily Load Profiles for Residential, Commercial and Industrial Load Voltage Consumers**. [São Paulo]: IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 15, no. 1, January 2000.

JARDINI, J. A.; TAHAN, C. M. V.; CASOLARI, R. P.; AHN, S. U.; FIGUEIREDO, F. M. **Curvas Diárias de Carga**: Base de Dados Estabelecida com Medições em Campo. Argentina: CIRED, 1996.

JARDINI, J. A.; CASOLARI, R. P.; FERRARI, E. L. e outros. **Curvas Diárias de Carga de Consumidores Comerciais e Industriais**. São Paulo: XIII SENDI, 1997.

JARDINI, J. A.; CASOLARI, R. P.; FERRARI, E. L. e outros. **Curva de Carga de Consumidores Industriais de Média Tensão da Eletropaulo**. CED 202 / PLAN 006 / NT 004 / OR. São Paulo: 1995.

FACELI, K.; CARVALHO, A. C. P. L. F.; SOUTO, M. C. P. **Validação de Algoritmos de Agrupamento**. Relatórios Técnicos do ICMC/USP-São Carlos. São Carlos: 2005.

BOUROCHE, J.; SAPORTA, G.; RISSOLI, C. A. **Análise de Dados**. Tradução Marcus Penchel. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1982. 115 p.

PAKHIRA, M. K.; BANDYOPADHYAY, S.; MAULIK, U. **Validity Index for Crisp and Fuzzy Clusters**. Pattern Recognition. 2003.

KOHONEN, T. **The Self-Organizing Map (SOM)**. Disponível em: <<http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/theory/somalgorithm.shtml>>. Acesso em 23.fev.2008.

KOHONEN, T. **Self-organizing maps**. Springer Verlag, Heidelberg, 1995

PESSANHA, J. F. M.; VELASQUEZ, R. M. G.; MELO, A. C. G.; CALDAS, R. P. **Técnicas de Cluster Analysis na Construção de Tipologias de Curvas de Carga**. Salvador: XV SENDI, 2002.

BEALE, R.; JACKSON, T. **Neural computing: an introduction**. Adam Hilger, Bristol, 1990.

ANEXO 1 – PROGRAMAS NUDYC E DESCR2

O presente anexo apresenta os programas NUDYC e DESCR2, com descrição adaptada do trabalho da ELETROBRAS [2].

Os programas computacionais, que foram utilizados para as análises de curva de carga, foram trazidos da Electricité de France e denominam-se NUDYC e DESCR2. O programa NUDYC baseia-se no princípio de classificação automática, que mostra, dentro de uma população de indivíduos ou dentro de um conjunto de objetos, os grupos de indivíduos ou objetos semelhantes, tais que dois indivíduos ou objetos de um mesmo grupo sejam mais semelhantes entre eles que dois indivíduos ou objetos saídos de dois grupos diferentes.

O programa DESCR2 realiza agrupamentos a partir das formas fortes definidas pelo Programa NUDYC, permitindo a obtenção de um menor número de curvas típicas.

Estes programas são descritos a seguir, sendo possível obtê-los no DNAEE ou ELETROBRÁS, caso se deseje utilizá-los.

1 MÉTODO DAS NUUVENS DINÂMICAS – NUDYC

Este método define o que se chama de Formas Fortes de uma população de indivíduos a ser classificada. Formas Fortes são os grupos de indivíduos que guardam a maior semelhança entre si, caracterizando, portanto, uma “forma” dentro de uma população. Observe-se que uma Forma Forte pode ser constituída de um único indivíduo.

O NUDYC consiste, basicamente, na partição da população em grupos de indivíduos semelhantes, denominando-se esta função de classe.

As espécies escolhidas como partida para agregar todos estes indivíduos em suas classes são chamadas núcleos.

Os núcleos possuem um número constante de elementos. Um conjunto de núcleos forma um sistema. Tanto o número de elementos do núcleo como o número de núcleos são parâmetros do método.

O sistema inicial de núcleos pode ser fixado por uma tiragem aleatória de indivíduos dentro da população. Esta opção é escolhida dentre todos os casos (núcleos definidos na entrada do programa, por exemplo), quando não se conhece “a priori” os indivíduos desta população.

O algoritmo das nuvens dinâmicas se desenvolve a partir do sistema inicial de núcleos, por um processo iterativo onde cada interação decompõe-se em duas etapas:

- constituição das classes a partir dos núcleos; e
- escolha de um novo sistema de núcleos (melhor que o anterior) para as classes escolhidas.

A cada interação escolhem-se novas classes e, por conseguinte, um novo sistema de núcleos. Esse processo converge ao término de um certo número de interações, quando as novas classes escolhidas já não se modificam em relação às anteriores.

Todo este mecanismo que começa com a definição do sistema inicial de núcleos e termina com a convergência do algoritmo é denominado experiência. O número de experiências é também um parâmetro do método.

É evidente que as classes encontradas a cada experiência dependem do sistema inicial de núcleos. Uma outra tiragem aleatória conduzirá a uma partição diferente da população. Assim dentro da opção de tiragens aleatórias

de núcleos são reconhecidas várias experiências correspondentes a várias tiragens.

1.1 Constituição das classes a partir dos núcleos

Considerando-se uma função $D(x,A)$ que permite calcular a distância entre um indivíduo x da população e o núcleo A . A classe P_i será constituída por todos os indivíduos x que estão mais próximos do núcleo A_i que de todos os outros núcleos.

1.2 Escolha do novo sistema de núcleos para as classes escolhidas anteriormente

Considerando-se uma função $R(x,i,P)$ onde P significa a partição da população. Para a classe i da população P , o novo núcleo A_i será constituído pelos n_i indivíduos x da população que minimizem a função R , seguinte:

$$\sum_{i=1}^K \sum_{x \in A_i} R(x, i, P)$$

Esta função escolherá os núcleos mais próximos ao centro das classes.

As diferentes opções do NUDYC correspondem às diferentes escolhas das funções D e R , que dependem do tipo de ponderação escolhida para os indivíduos. A cada escolha destas corresponde um critério de minimização.

1.3 Definição das formas fortes

Após K experiências, onde a cada uma delas encontra-se uma partição da população i classes, pode-se definir as Formas Fortes existentes.

Como as classes encontradas na 1ª experiência não são as mesmas obtidas na 2ª experiência e assim por diante, as Formas Fortes serão os conjuntos de indivíduos que se mantiveram unidos em todas as experiências.

1.3.1 Escolha das Diferentes Distâncias entre os Indivíduos

Na definição das funções D e R aparece uma distância d entre os indivíduos, que será um parâmetro do método.

O programa oferece as possibilidades das seguintes distâncias:

- Distância Euclidiana Simples;
- Distância Euclidiana Ponderada; e
- Distância X^2 .

1.3.2 Inicialização do Algoritmo das Nuvens Dinâmicas

1.3.2.1 Nuvens dinâmicas com verdadeiros núcleos

Neste caso a inicialização consiste na definição dos núcleos de partida:

- Núcleos constituídos a partir de indivíduos tirados ao azar dentro da população;
- Núcleos calculados a partir de uma partição da população em classes (dada na entrada do programa). O programa calcula os núcleos a partir das classes lidas, como faz no desenvolvimento do algoritmo. A inicialização do algoritmo se dará, então pelas classes de partida; e
- Núcleos dados na entrada do programa.

1.3.2.2 Nuvens dinâmicas pelo método dos centros de gravidade

O algoritmo será inicializado pelo cálculo dos primeiros centros de gravidade. Isto pode ser feito por diferentes maneiras:

- Centro de gravidade calculado por uma partição da população em classes, dada na entrada do programa;
- Centro de gravidade calculado a partir dos núcleos tirados ao azar pelo programa; e
- Centro de gravidade calculado a partir de núcleos dados na entrada do programa.

2 MÉTODO DE DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO ASCENDENTE HIERÁRQUICO - DESCR2

O programa DESCR2 só pode ser usado precedido do NUDYC. Este último lhe transmitirá uma lista de argumentos necessária a sua execução.

O programa DESCR2 pode realizar duas funções:

- Descrição dos tipos de uma tipologia sobre variáveis quaisquer; e
- Reagrupamentos sucessivos dos tipos oriundos de uma tipologia, com possibilidade de descrição dos tipos obtidos a cada reagrupamento.

Nos trabalhos realizados neste relatório (tipologia de variáveis quantitativas), realizou-se a segunda função.

O DESCR2 realiza uma classificação hierárquica ascendente dos tipos com um critério chamado de maximização do momento de segunda ordem de uma partição.

2.1 CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA ASCENDENTE

Com toda uma população a ser classifica, este método começa por reagrupar os dois indivíduos ou conjuntos (formas fortes, neste caso) mais próximos. Forma-se depois o segundo par com os dois conjuntos que são, seguidamente, os mais semelhantes, a menos que se deva agrupar um

elemento ao primeiro par já formado. Assim, por fusões sucessivas, são definidos os TIPOS.

O processo de reagrupamento hierárquico ascendente é representado por um dendograma do tipo apresentado na Figura A1.1.

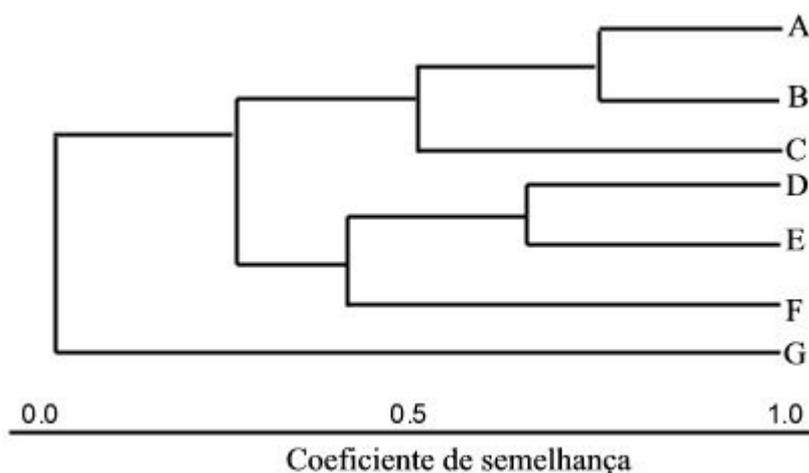


Figura A1.1 - Dendograma

Os elementos a serem classificados são dispostos na lateral direita do dendograma. Os pontos nos quais se efetuam os reagrupamentos, medidos sobre um eixo horizontal, correspondem às proximidades (ou índices de similaridade / semelhança) entre os conjuntos iniciais ou grupos já formados. Os elementos mais semelhantes se reagrupam próximos à direita do dendograma.

A construção deste gráfico, da direita para a esquerda, reflete o processo de reagrupamento. As uniões A-B, D-E e A/B-C, associados à ordenadas decrescentes sobre o eixo horizontal, correspondem, assim, pela ordem, aos três primeiros reagrupamentos. Este esquema é interessante, pois evidencia o número de classes no qual a população se divide nitidamente.

Para construir tal árvore de classificação é necessário calcular o afastamento entre um conjunto inicial e um grupo já formado, entre dois grupos, etc. São numerosas as fórmulas para definir a proximidade entre dois

grupos a partir da dissimilaridade entre os indivíduos de cada um dos dois grupos.

Cada uma das fórmulas define cada método ascendente hierárquico.

O DESCR2 defini-se pelo método da maximização do momento de segunda ordem de uma partição.

$$d(A, B) = \frac{Pa \cdot Pb}{Pa + Pb} \times d(Ga, Gb)$$

Onde:

Ga, Gb - Centros de gravidade dos grupos A e B.

D(Ga, Gb) - Representa a distância euclidiana ao quadrado entre os centros de gravidade dos grupos A e B.

Pa, Pb - Pesos dos grupos A e B. Cada um será a soma dos pesos dos indivíduos do grupo. Neste caso os indivíduos possuem pesos iguais a unidade.

Pode-se demonstrar que esta fórmula permite otimizar, a cada reagrupamento, o critério CR de variância intertipos. Este é um índice de homogeneidade dos tipos formandos, e portanto da qualidade da tipologia encontrada.

$$CR = \frac{\text{Variância InterTipos}}{\text{Variância Total da População}}$$

A cada reagrupamento de dois elementos mais próximos, se minimiza a variância inter-tipos (inevitável na passagem de n tipos para n-1 tipos).

Chama-se Momento de Segunda Ordem de uma Partição a seguinte relação:

$$\sum_{i=1}^n Pai \times d(Gai \times G) = \left(\sum_{i=1}^n Pai \right) \times \text{Var. InterTipos}$$

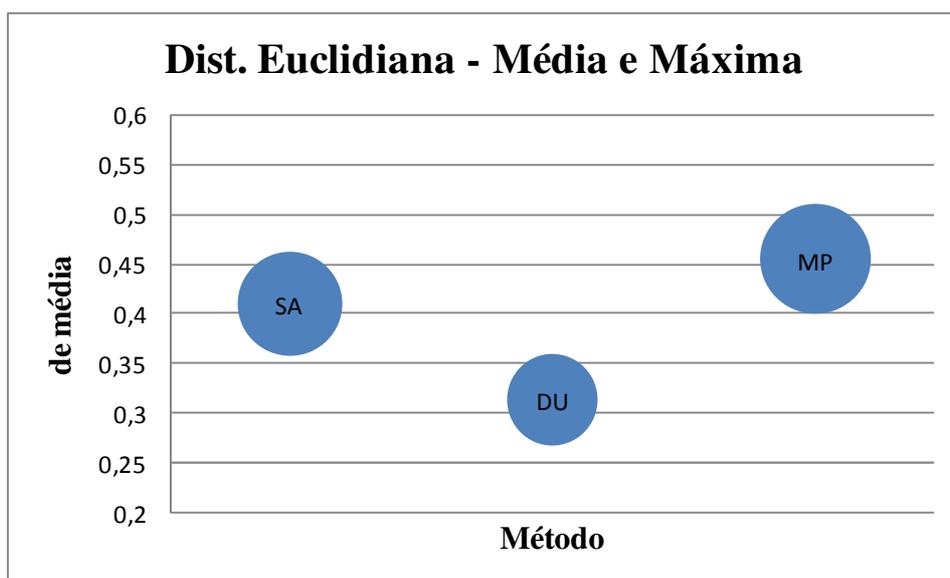
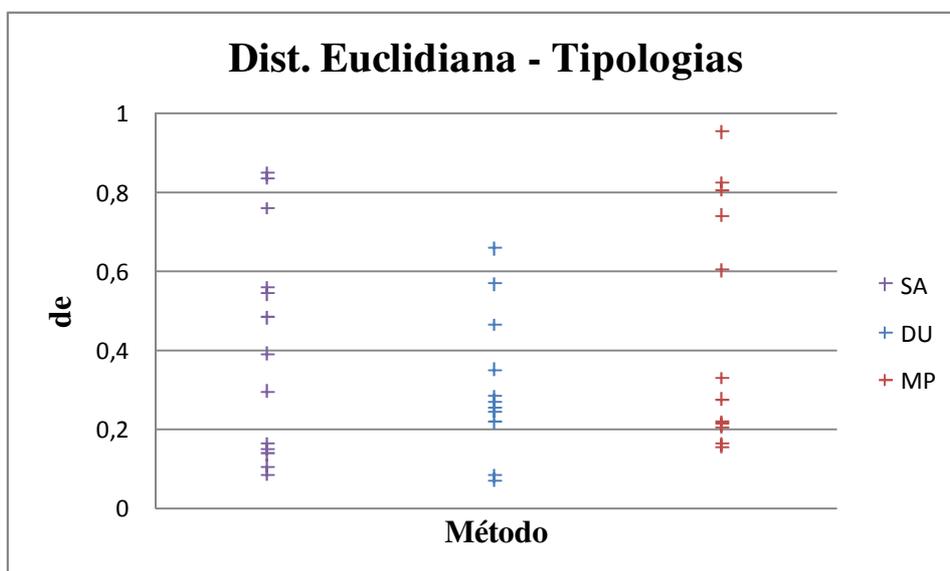
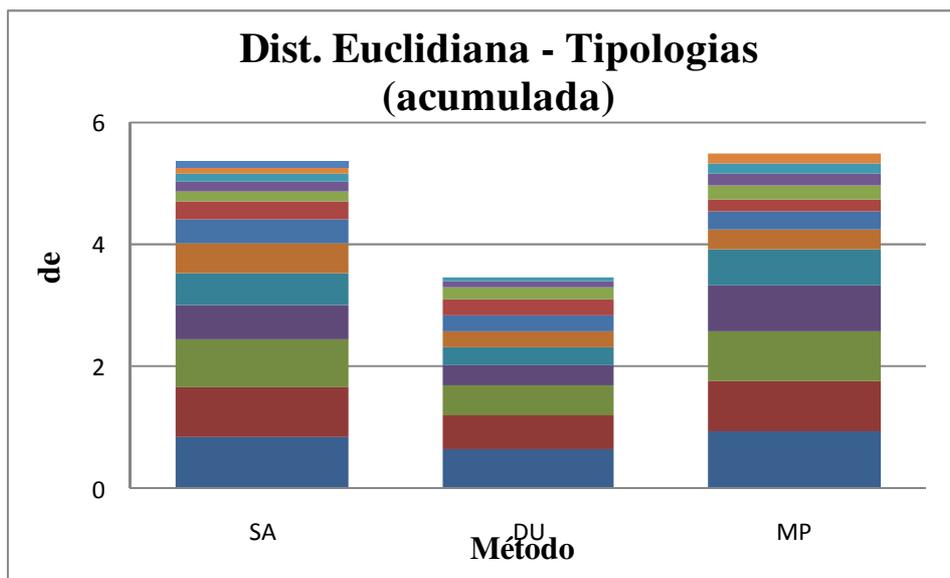
A partição é constituída de n Tipos A_i (i variando de 1 a n) de centro de gravidade G_{A_i} , e G representando o centro de gravidade de toda população. P_{A_i} será o peso do tipo A_i .

ANEXO 2 – RESULTADOS DOS TESTES – SELEÇÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS – TIPOLOGIAS DAS TRANSFORMAÇÕES

Este anexo apresenta os resultados obtidos nos testes realizados (para duas empresas concessionárias) nos processos de seleção de curvas características, com a comparação por tipologias das transformações. Os valores apresentados são as distâncias euclidianas entre as curvas reais e calculadas (em pu da potência máxima) para as tipologias das transformações. As abreviações SA, DU e MP indicam a metodologia de seleção, respectivamente, algoritmo do SAT, dia útil mais pesado e maior impacto na ponta. Os métodos de classificação são identificados por: DE (nuvens dinâmicas – distância euclidiana), PP (nuvens dinâmicas – ponto a ponto), PPP (nuvens dinâmicas – ponto a ponto ponderado) e FC (nuvens dinâmicas – fator de carga).

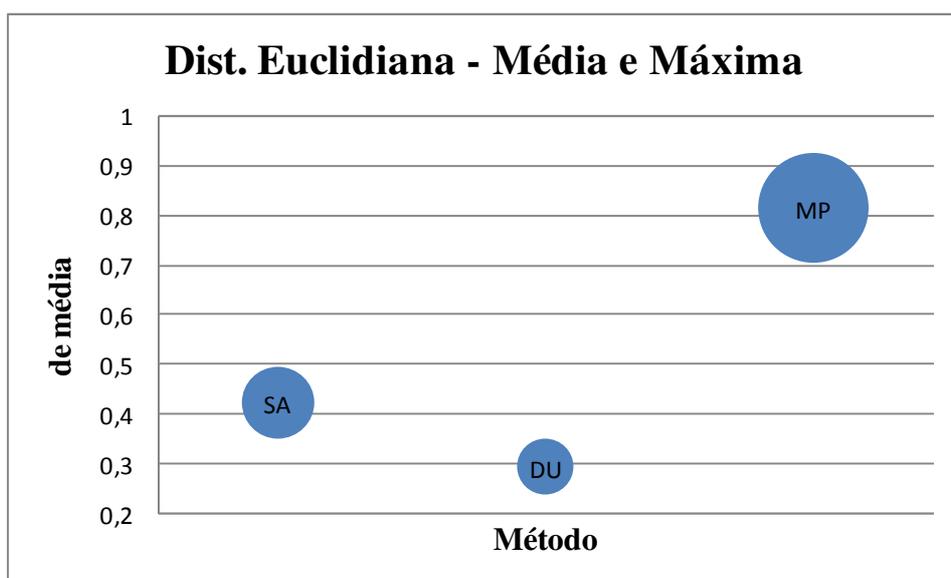
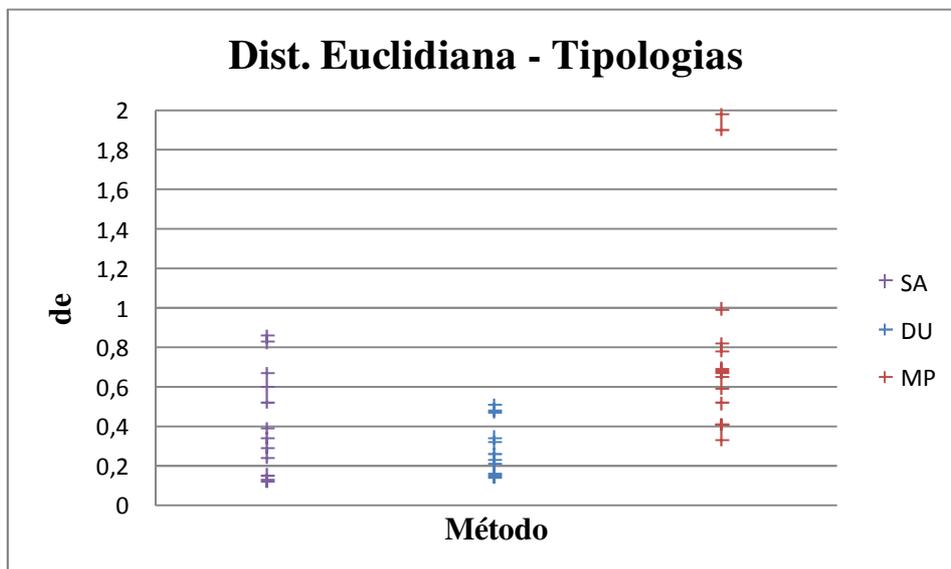
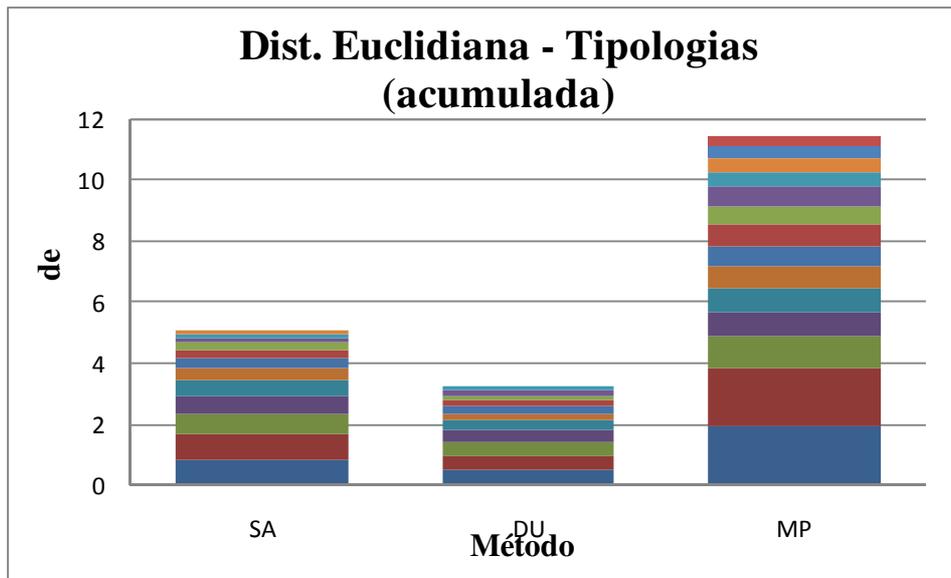
2.1 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança por distância euclidiana

SA	DU	MP
0,846433	0,654727	0,951789
0,832429	0,565158	0,823048
0,757803	0,462177	0,805245
0,558108	0,34905	0,739869
0,541964	0,283456	0,600221
0,481441	0,270423	0,327598
0,389186	0,251736	0,273909
0,294358	0,245553	0,215264
0,162949	0,218123	0,209598
0,147091	0,08408	0,202143
0,135137	0,071671	0,160411
0,104248		0,153213
0,084026		



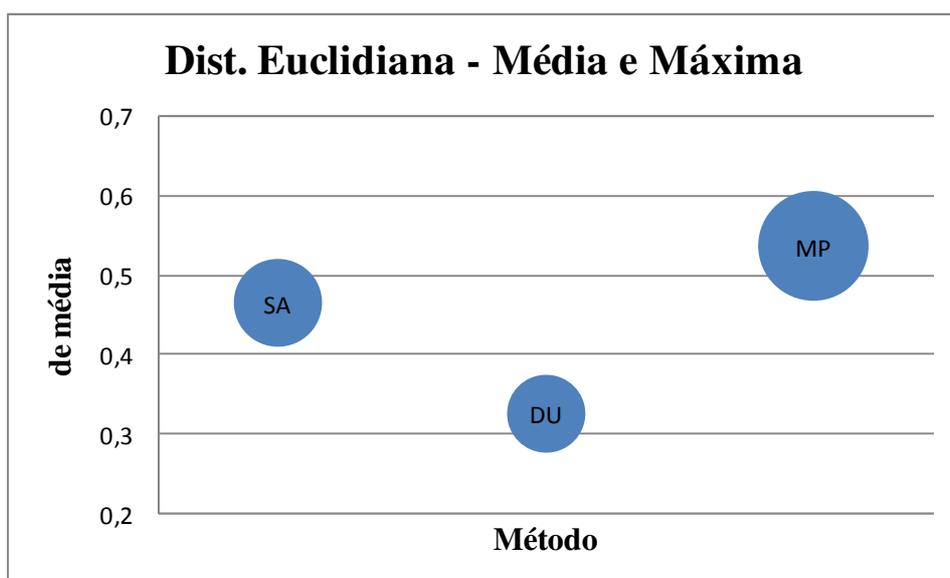
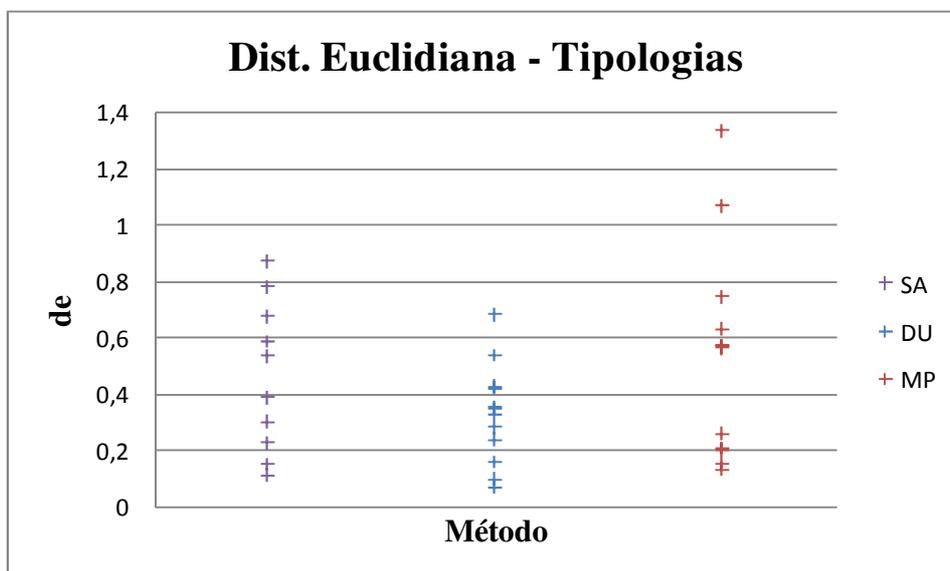
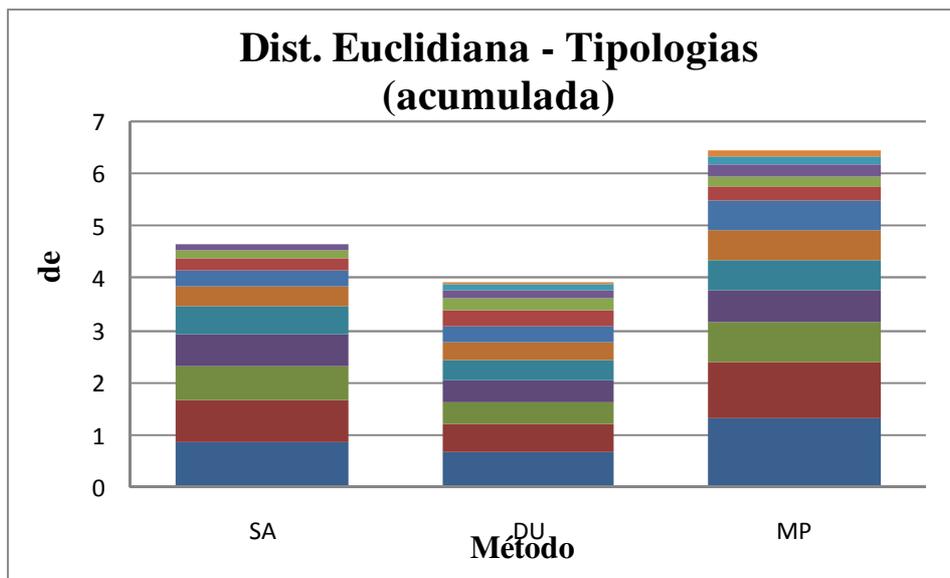
2.2 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança ponto a ponto

SA	DU	MP
0,851653	0,507913	1,974264
0,822022	0,482723	1,902652
0,660768	0,474615	0,993809
0,591693	0,341602	0,815884
0,518228	0,313834	0,78093
0,386887	0,253527	0,692912
0,337208	0,228985	0,68171
0,288205	0,200302	0,669089
0,241198	0,158453	0,650694
0,150946	0,141536	0,590141
0,124149	0,136634	0,515316
0,120403		0,410484
		0,406654
		0,333066



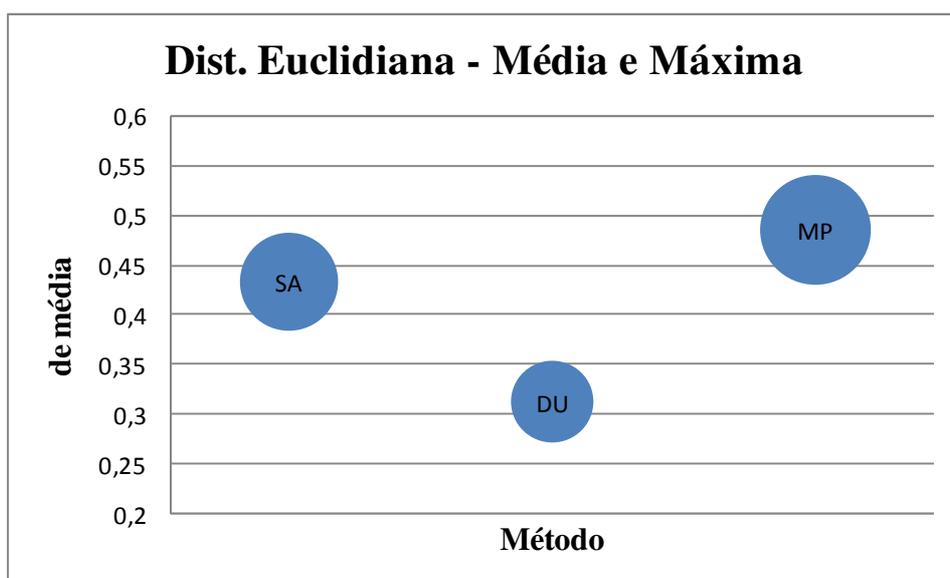
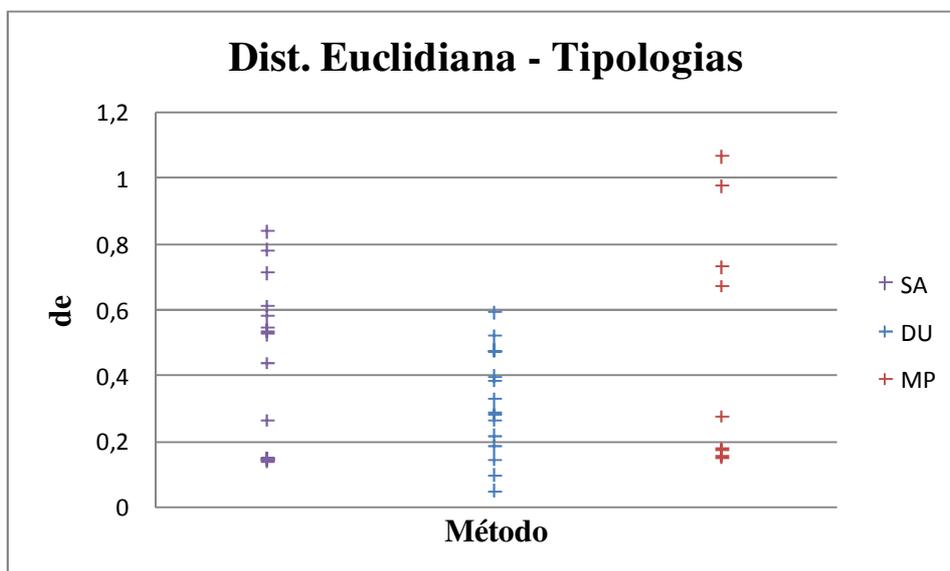
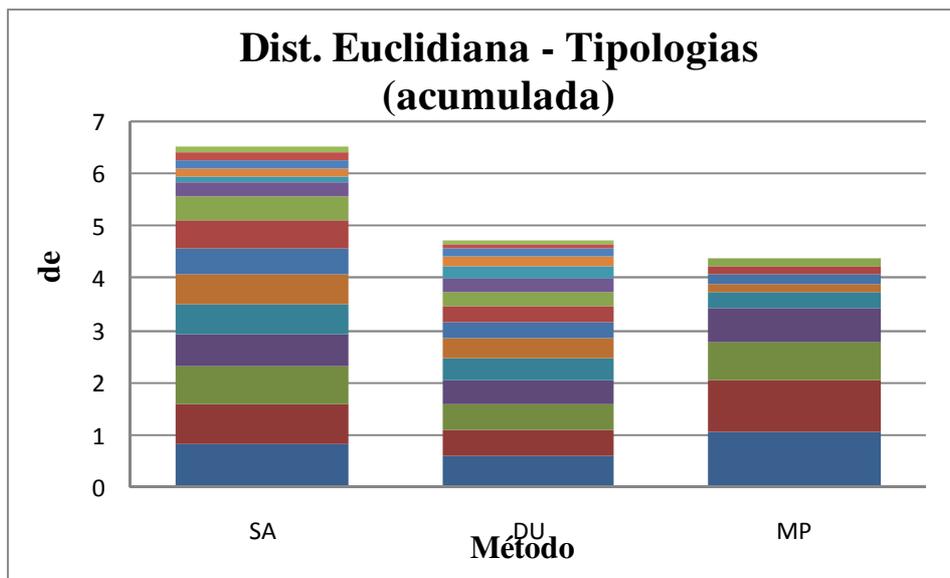
2.3 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança ponto a ponto ponderado

SA	DU	MP
0,873776	0,684155	1,334028
0,783362	0,538099	1,066862
0,677431	0,426302	0,745226
0,589896	0,42078	0,630265
0,537071	0,351522	0,570779
0,39065	0,346087	0,570523
0,303395	0,327829	0,562152
0,228225	0,280672	0,259565
0,155353	0,237328	0,208485
0,114598	0,155929	0,202478
	0,094179	0,154239
	0,066583	0,133385



2.4 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança por fator de carga

SA	DU	MP
0,83431	0,590828	1,064689
0,778311	0,51907	0,975808
0,709012	0,475646	0,72864
0,608492	0,474665	0,671373
0,57928	0,397403	0,27464
0,54316	0,383434	0,17992
0,531649	0,329449	0,172986
0,523406	0,290593	0,157174
0,43391	0,281562	0,15153
0,261046	0,263055	
0,147584	0,218579	
0,144525	0,185596	
0,14332	0,145309	
0,140537	0,098131	
0,136659	0,050481	



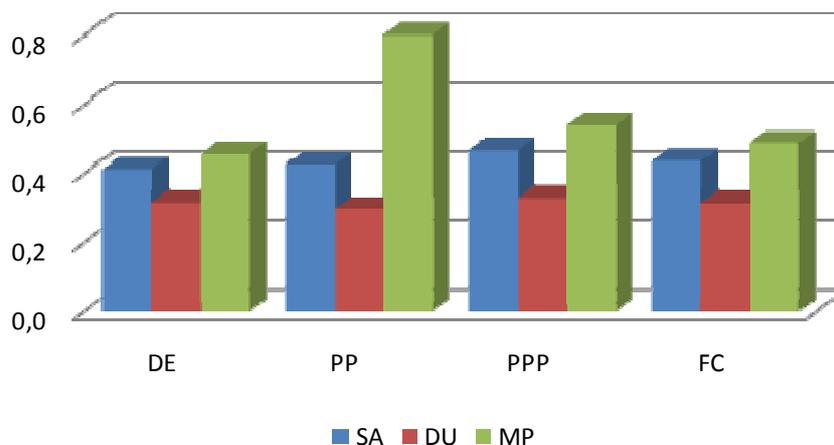
2.5 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de seleção, combinadas aos processos de classificação

SA			
DE	PP	PPP	FC
0,8464	0,8517	0,8738	0,8343
0,8324	0,8220	0,7834	0,7783
0,7578	0,6608	0,6774	0,7090
0,5581	0,5917	0,5899	0,6085
0,5420	0,5182	0,5371	0,5793
0,4814	0,3869	0,3907	0,5432
0,3892	0,3372	0,3034	0,5316
0,2944	0,2882	0,2282	0,5234
0,1629	0,2412	0,1554	0,4339
0,1471	0,1509	0,1146	0,2610
0,1351	0,1241		0,1476
0,1042	0,1204		0,1445
0,0840			0,1433
			0,1405
			0,1367

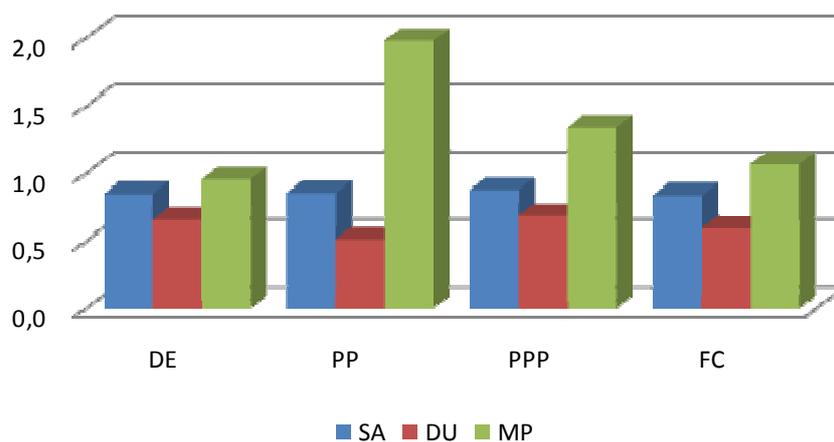
DU			
DE	PP	PPP	FC
0,6547	0,5079	0,6842	0,5908
0,5652	0,4827	0,5381	0,5191
0,4622	0,4746	0,4263	0,4756
0,3490	0,3416	0,4208	0,4747
0,2835	0,3138	0,3515	0,3974
0,2704	0,2535	0,3461	0,3834
0,2517	0,2290	0,3278	0,3294
0,2456	0,2003	0,2807	0,2906
0,2181	0,1585	0,2373	0,2816
0,0841	0,1415	0,1559	0,2631
0,0717	0,1366	0,0942	0,2186
		0,0666	0,1856
			0,1453
			0,0981
			0,0505

MP			
DE	PP	PPP	FC
0,9518	1,9743	1,3340	1,0647
0,8230	1,9027	1,0669	0,9758
0,8052	0,9938	0,7452	0,7286
0,7399	0,8159	0,6303	0,6714
0,6002	0,7809	0,5708	0,2746
0,3276	0,6929	0,5705	0,1799
0,2739	0,6817	0,5622	0,1730
0,2153	0,6691	0,2596	0,1572
0,2096	0,6507	0,2085	0,1515
0,2021	0,5901	0,2025	
0,1604	0,5153	0,1542	
0,1532	0,4105	0,1334	
	0,4067		
	0,3331		

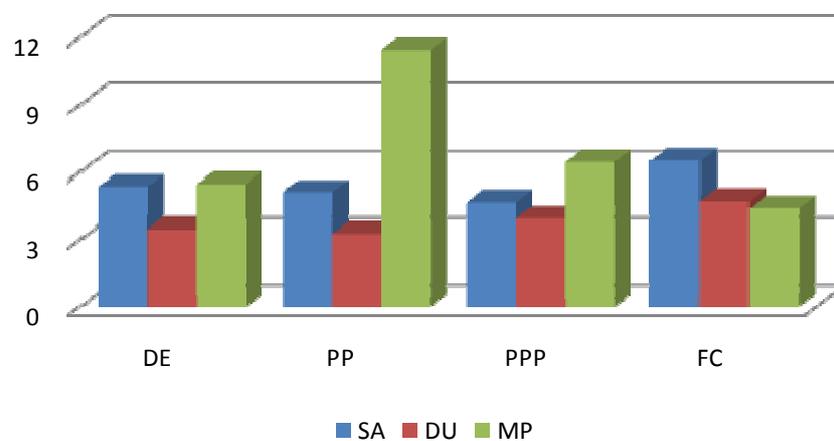
Distância Euclidiana Média

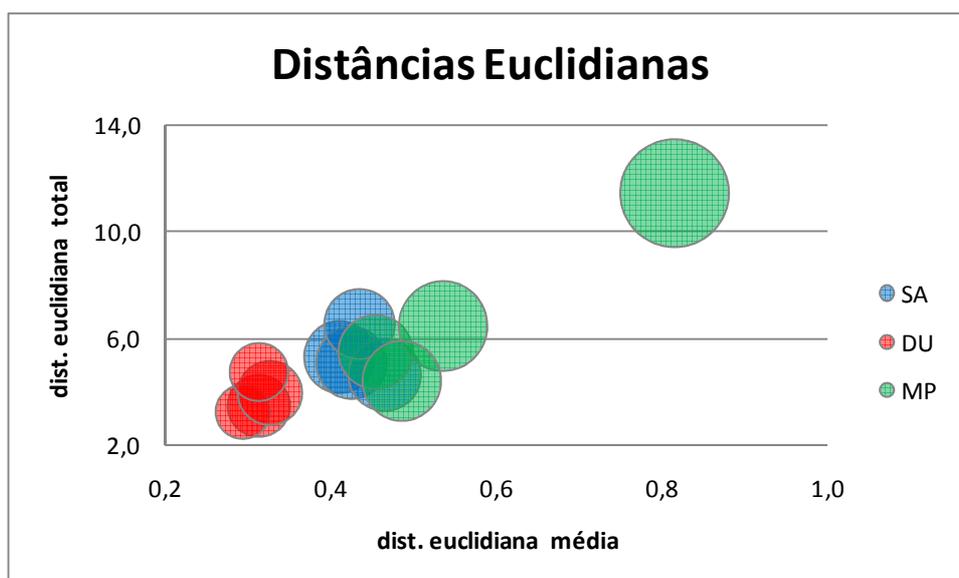
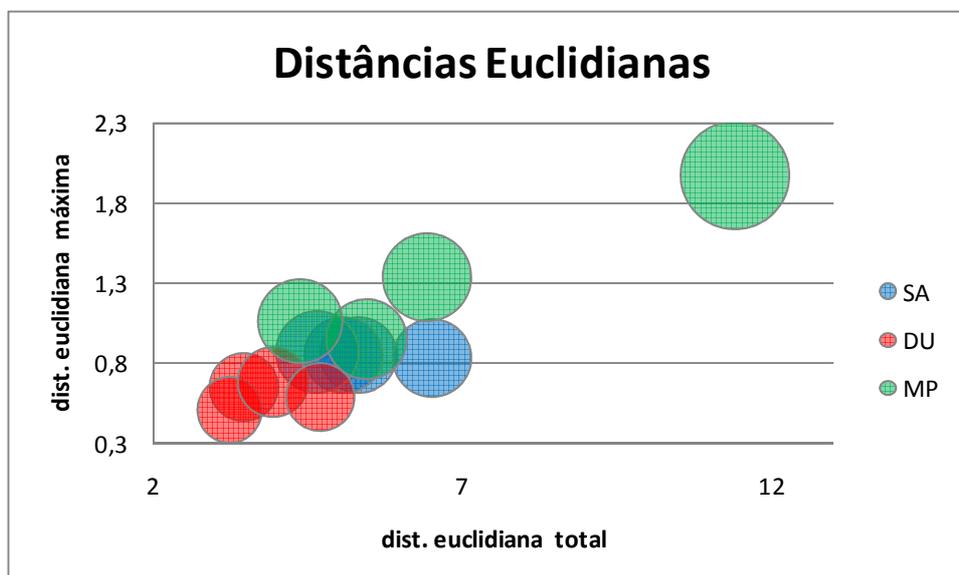
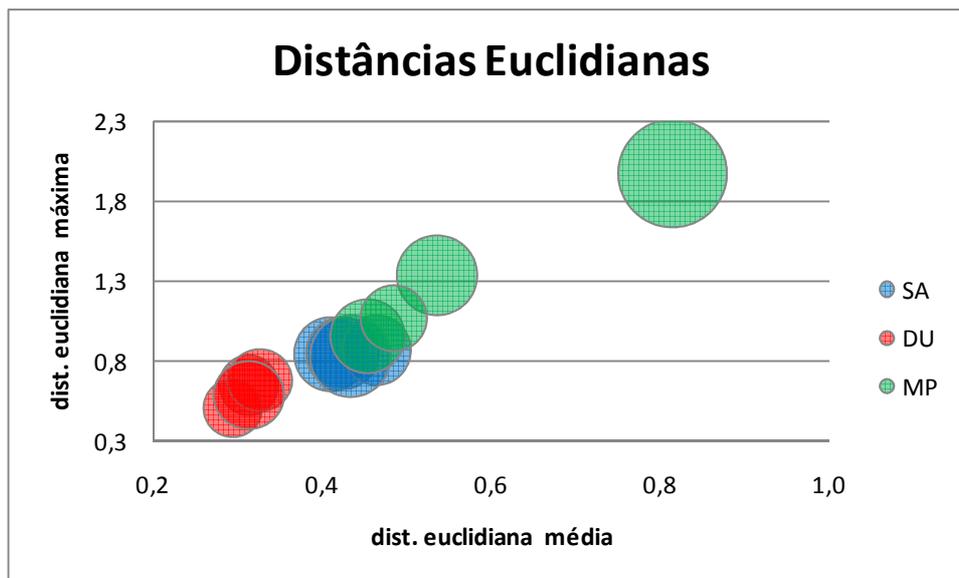


Distância Euclidiana Máxima



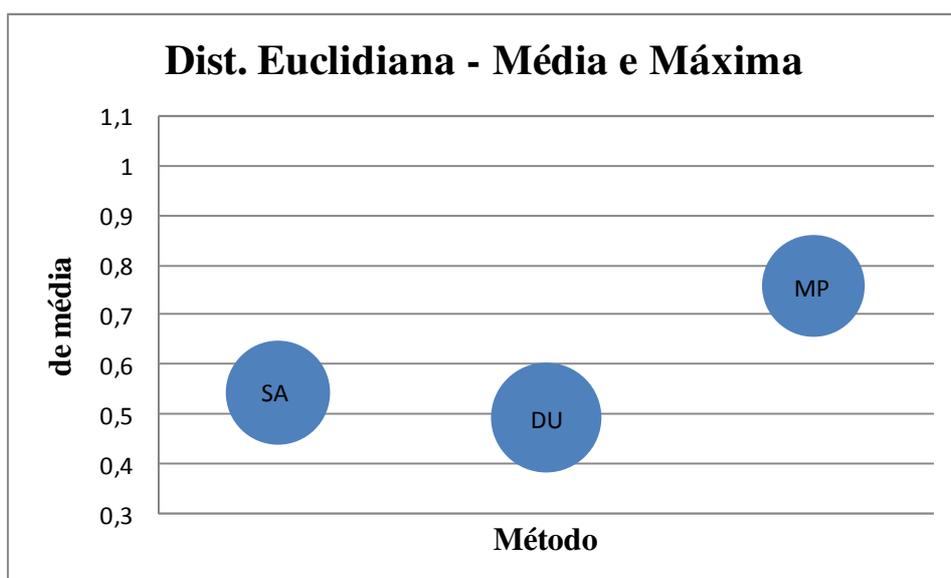
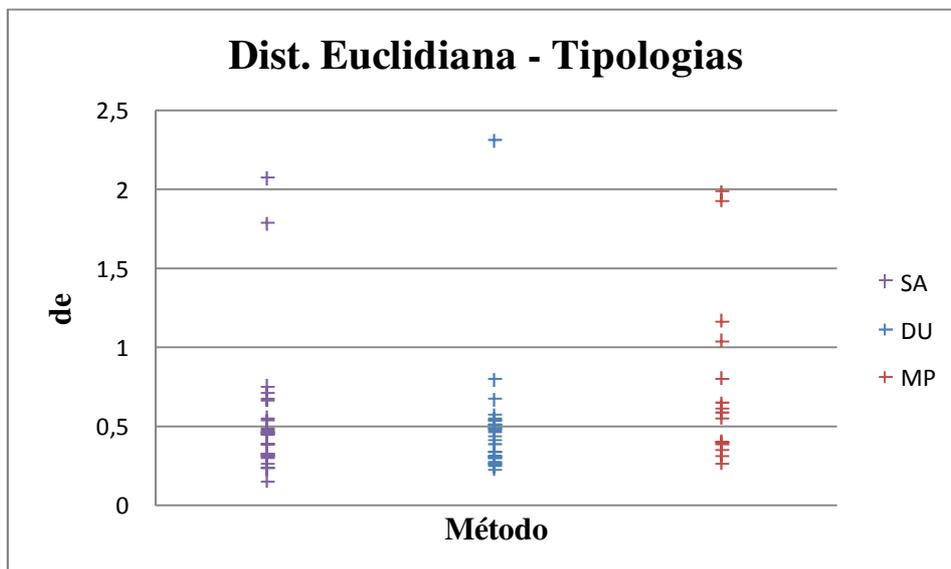
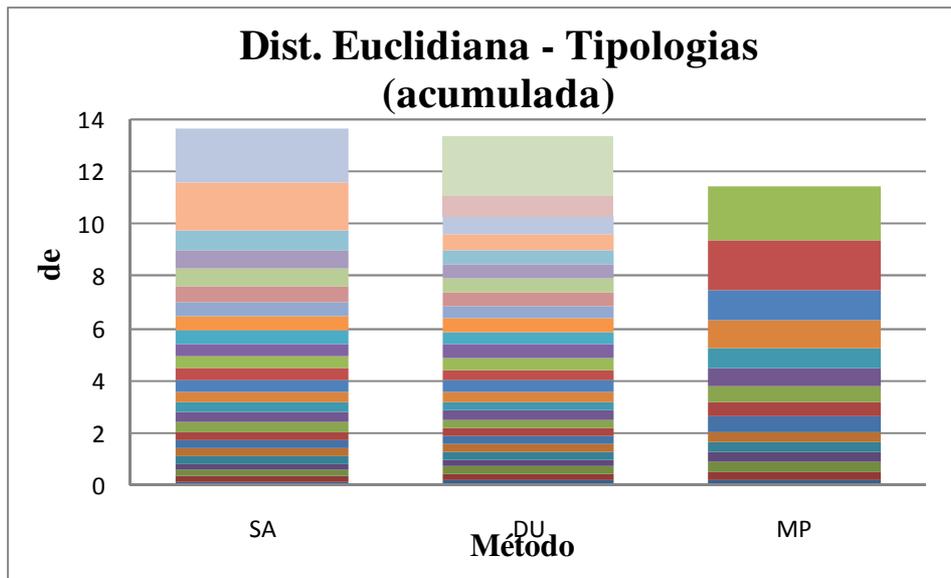
Distância Euclidiana Total





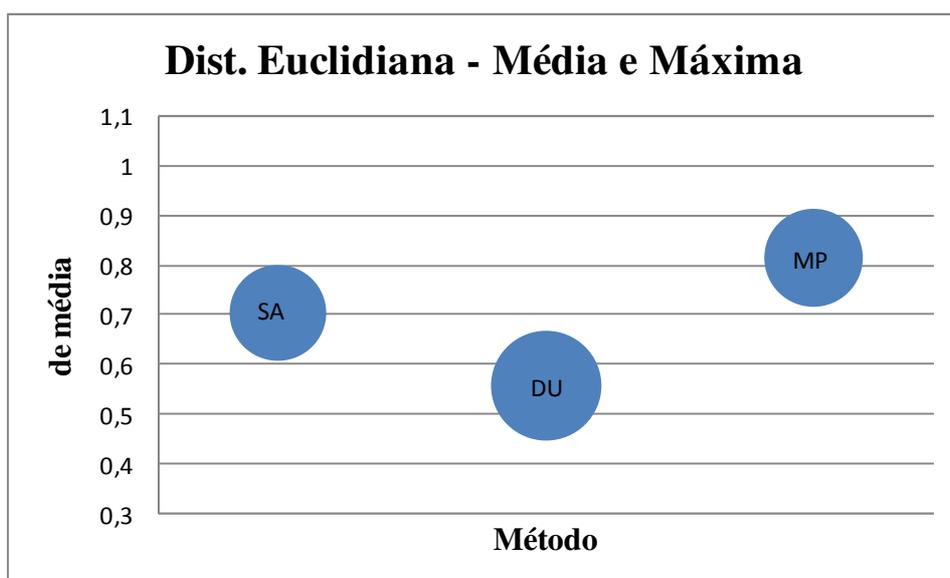
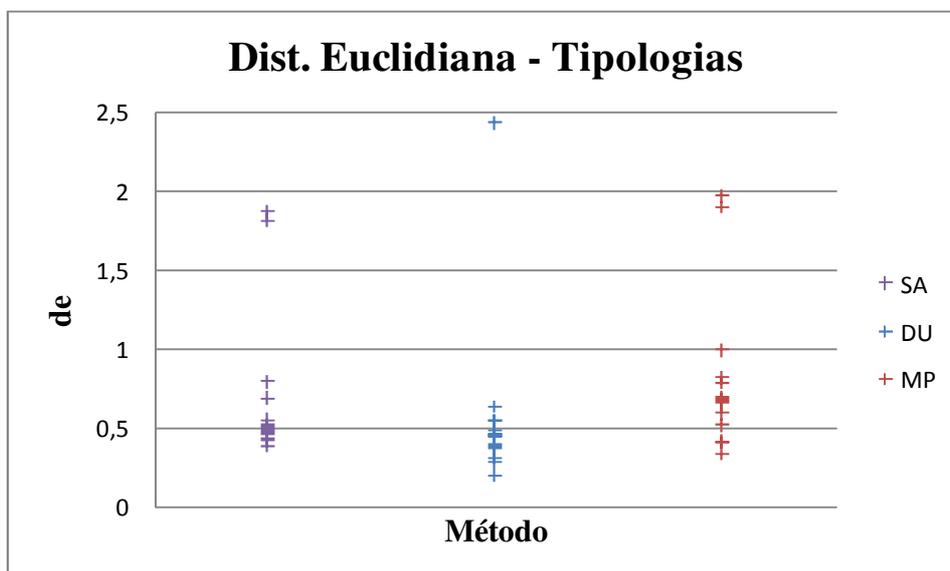
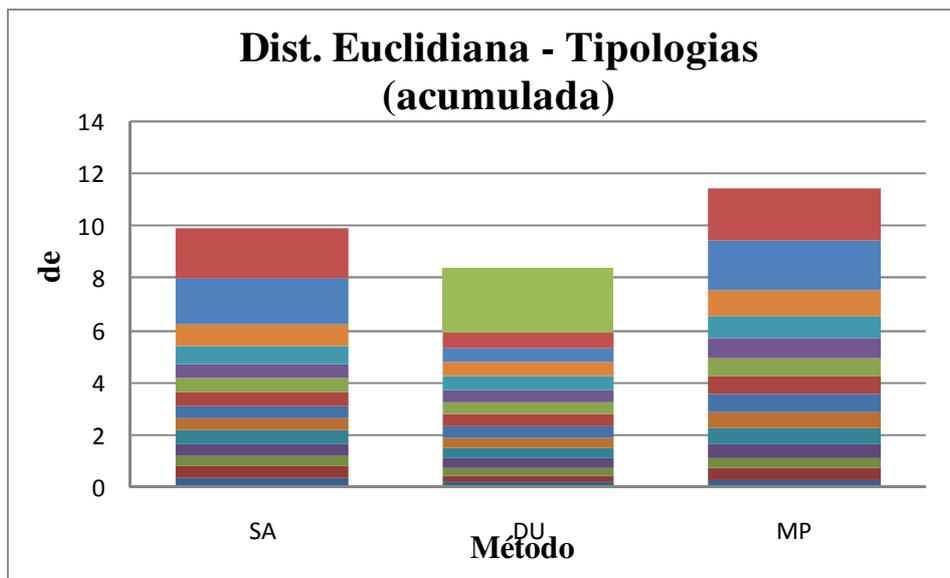
2.6 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança por distância euclidiana

SA	DU	MP
0,146438	0,230138	0,258795
0,223932	0,246463	0,304089
0,228773	0,266216	0,348037
0,257652	0,26654	0,379469
0,298129	0,276303	0,392844
0,301808	0,294548	0,398722
0,305533	0,3036	0,544844
0,321096	0,313965	0,580997
0,321937	0,318117	0,609427
0,380097	0,339244	0,644115
0,384678	0,342725	0,798567
0,441476	0,392132	1,037382
0,446168	0,409399	1,164916
0,450353	0,441377	1,929778
0,45051	0,462926	1,98496
0,473045	0,470561	
0,474651	0,487187	
0,530059	0,493076	
0,546543	0,509583	
0,654964	0,511214	
0,663575	0,53261	
0,707092	0,538979	
0,746016	0,550752	
1,780625	0,571005	
2,06674	0,668149	
	0,796207	
	2,302301	



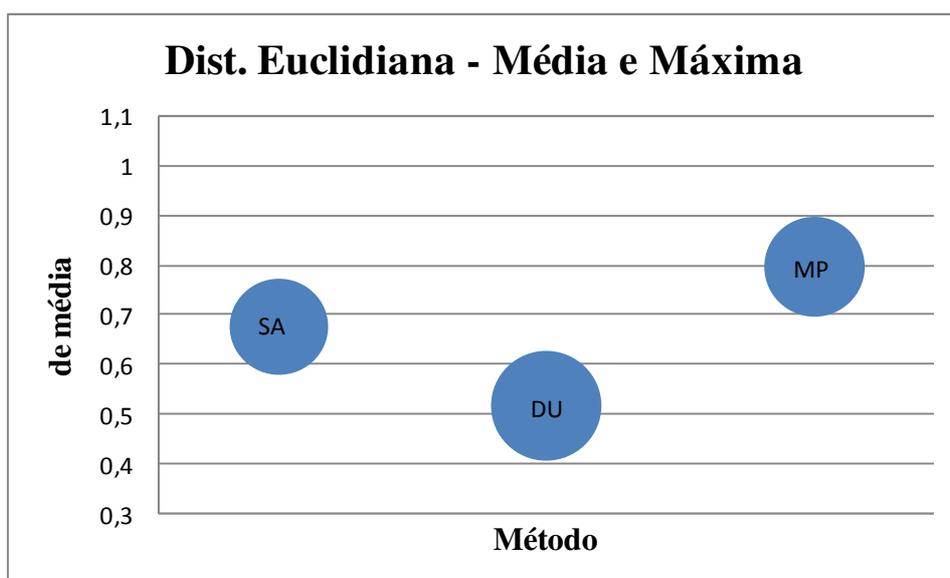
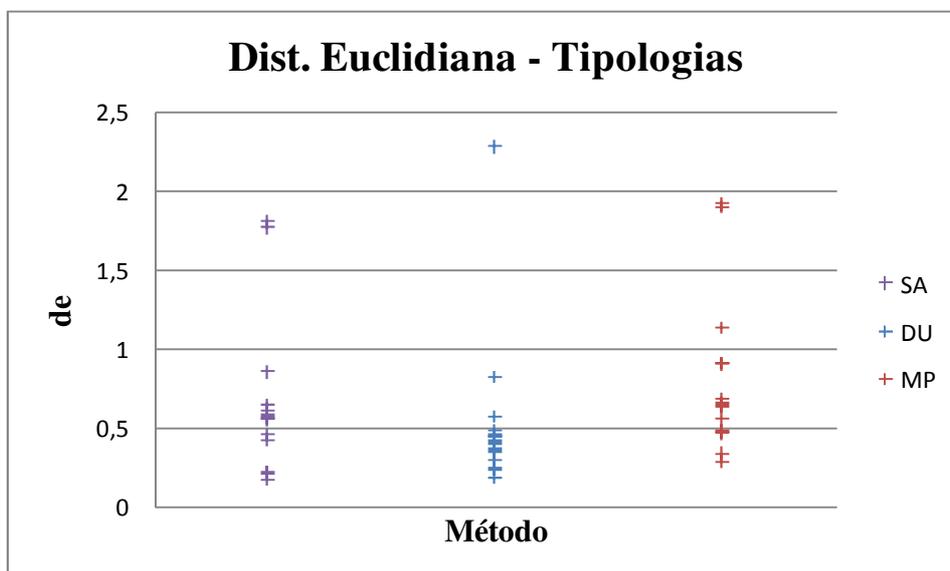
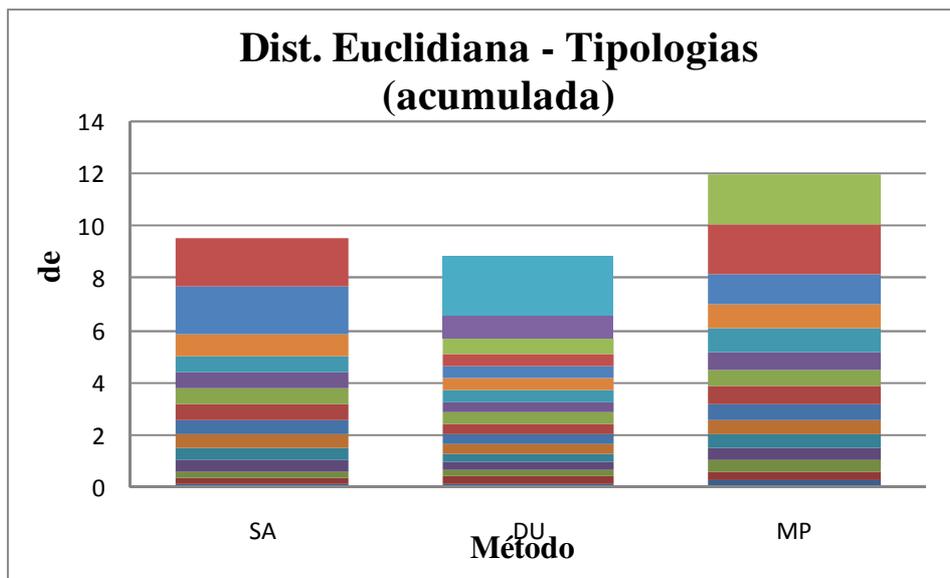
2.7 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança ponto a ponto

SA	DU	MP
0,387365	0,200146	0,333066
0,422018	0,286795	0,406654
0,433775	0,30704	0,410484
0,459245	0,372181	0,515316
0,472491	0,380299	0,590141
0,479072	0,393191	0,650694
0,496322	0,443762	0,669089
0,506664	0,451507	0,68171
0,521118	0,458726	0,692912
0,549903	0,462987	0,78093
0,687908	0,481541	0,815884
0,793681	0,542543	0,993809
1,81409	0,545813	1,902652
1,870329	0,63332	1,974264
	2,430358	



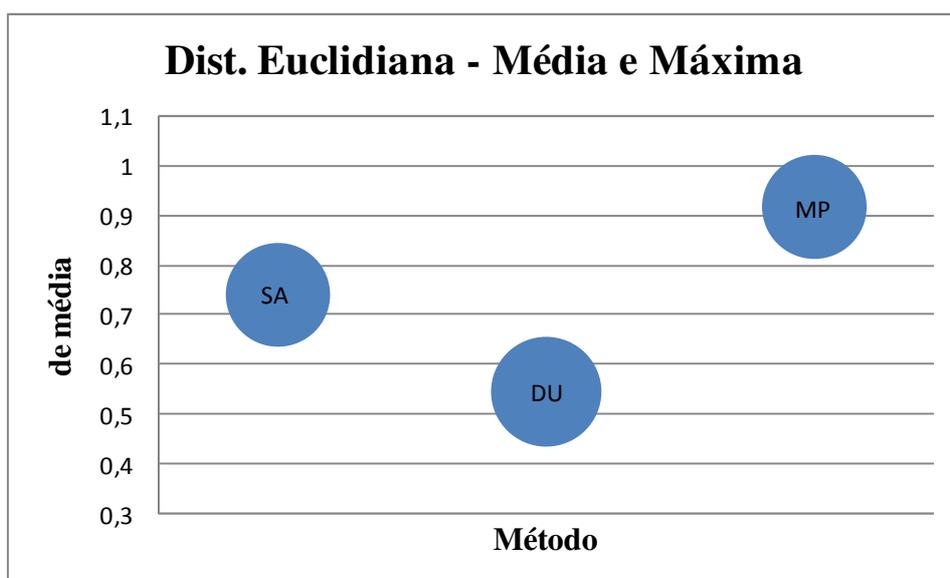
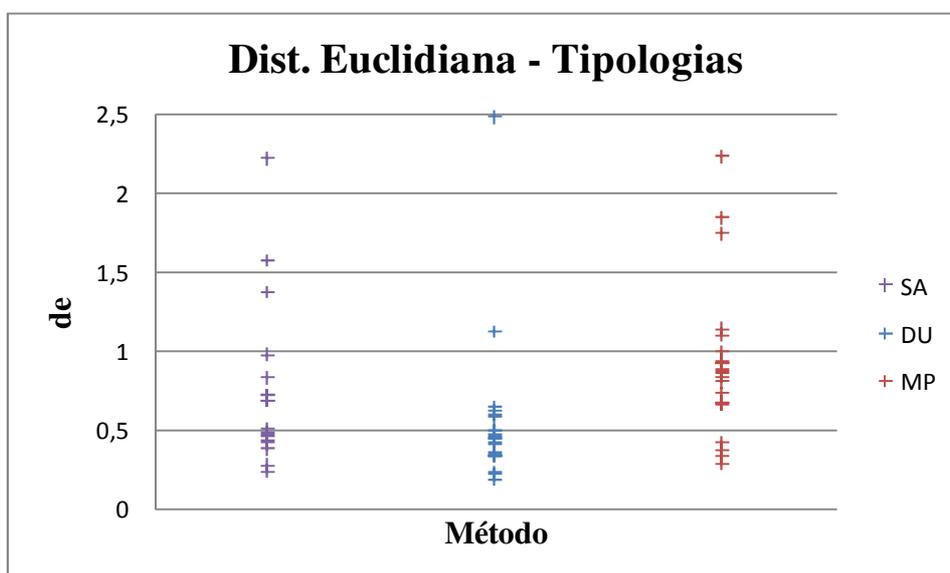
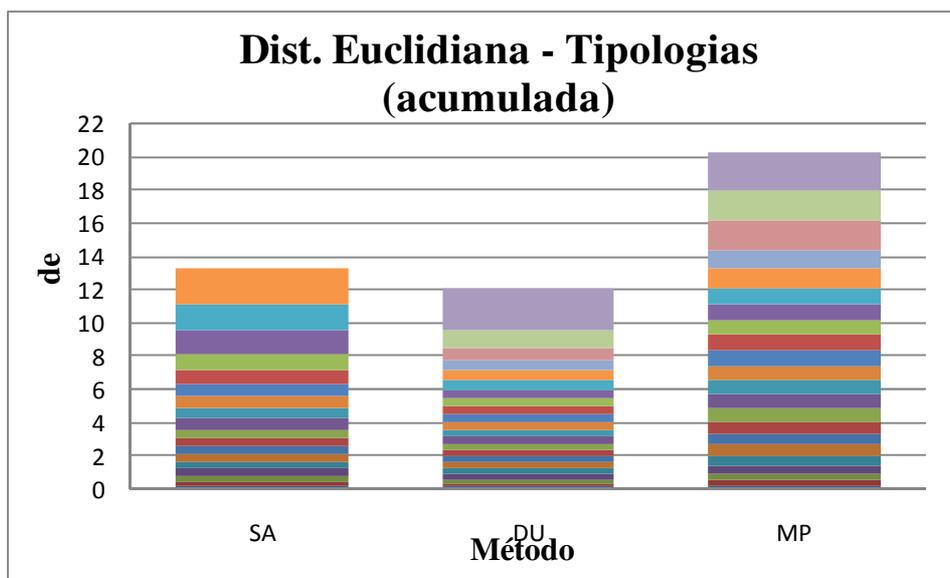
2.8 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança ponto a ponto ponderado

SA	DU	MP
0,174883	0,187534	0,284892
0,214637	0,234728	0,336379
0,219856	0,247742	0,466454
0,419811	0,301968	0,46709
0,459919	0,347764	0,481566
0,557389	0,356075	0,550738
0,563519	0,366942	0,637526
0,576622	0,402274	0,639294
0,589221	0,410163	0,655571
0,614701	0,415734	0,683902
0,648523	0,449776	0,904469
0,857478	0,451395	0,908652
1,773571	0,459237	1,131448
1,810635	0,483821	1,898365
	0,572	1,91911
	0,821073	
	2,286767	



2.9 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança por fator de carga

SA	DU	MP
0,23169	0,186083	0,28365
0,267873	0,218538	0,325706
0,371816	0,231136	0,363108
0,411668	0,330673	0,412613
0,42436	0,332815	0,655644
0,446744	0,336021	0,663078
0,46134	0,350354	0,671492
0,47638	0,353756	0,725068
0,501055	0,411292	0,803721
0,67649	0,424123	0,830997
0,682231	0,444716	0,86
0,711776	0,449149	0,872991
0,715514	0,463092	0,883222
0,82324	0,465208	0,918285
0,972126	0,494315	0,922378
1,367713	0,50147	0,935627
1,566496	0,581725	0,991147
2,214848	0,599039	1,100347
	0,621229	1,137508
	0,647812	1,744142
	1,120756	1,844825
	2,485649	2,231697



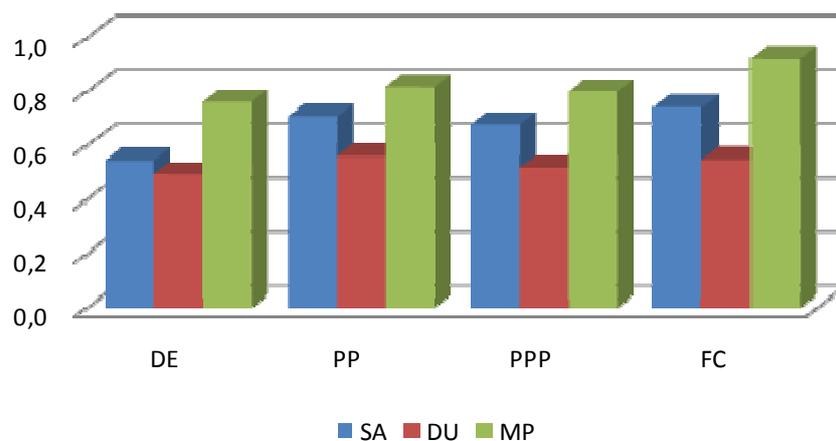
2.10 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de seleção, combinadas aos processos de classificação

SA			
DE	PP	PPP	FC
0,1464	0,3874	0,1749	0,2317
0,2239	0,4220	0,2146	0,2679
0,2288	0,4338	0,2199	0,3718
0,2577	0,4592	0,4198	0,4117
0,2981	0,4725	0,4599	0,4244
0,3018	0,4791	0,5574	0,4467
0,3055	0,4963	0,5635	0,4613
0,3211	0,5067	0,5766	0,4764
0,3219	0,5211	0,5892	0,5011
0,3801	0,5499	0,6147	0,6765
0,3847	0,6879	0,6485	0,6822
0,4415	0,7937	0,8575	0,7118
0,4462	1,8141	1,7736	0,7155
0,4504	1,8703	1,8106	0,8232
0,4505			0,9721
0,4730			1,3677
0,4747			1,5665
0,5301			2,2148
0,5465			
0,6550			
0,6636			
0,7071			
0,7460			
1,7806			
2,0667			

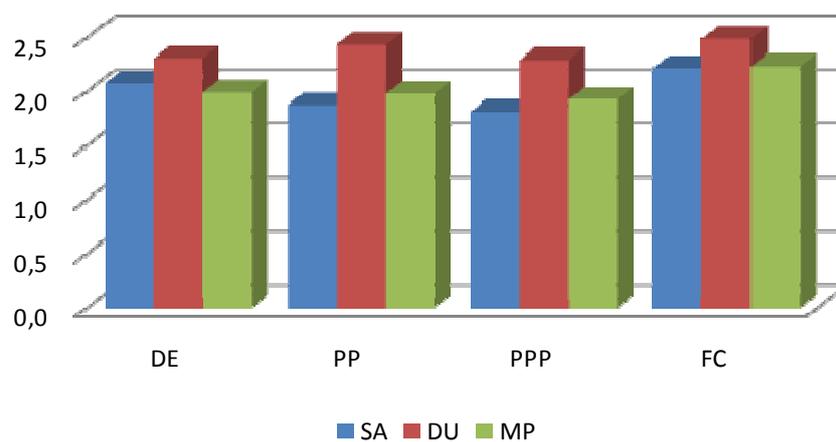
DU			
DE	PP	PPP	FC
0,2301	0,2001	0,1875	0,1861
0,2465	0,2868	0,2347	0,2185
0,2662	0,3070	0,2477	0,2311
0,2665	0,3722	0,3020	0,3307
0,2763	0,3803	0,3478	0,3328
0,2945	0,3932	0,3561	0,3360
0,3036	0,4438	0,3669	0,3504
0,3140	0,4515	0,4023	0,3538
0,3181	0,4587	0,4102	0,4113
0,3392	0,4630	0,4157	0,4241
0,3427	0,4815	0,4498	0,4447
0,3921	0,5425	0,4514	0,4491
0,4094	0,5458	0,4592	0,4631
0,4414	0,6333	0,4838	0,4652
0,4629	2,4304	0,5720	0,4943
0,4706		0,8211	0,5015
0,4872		2,2868	0,5817
0,4931			0,5990
0,5096			0,6212
0,5112			0,6478
0,5326			1,1208
0,5390			2,4856
0,5508			
0,5710			
0,6681			
0,7962			
2,3023			

MP			
DE	PP	PPP	FC
0,3795	0,3331	0,2849	0,2837
0,6441	0,4067	0,3364	0,3257
0,3041	0,4105	0,4665	0,3631
0,5810	0,5153	0,4671	0,4126
0,6094	0,5901	0,4816	0,6556
1,1649	0,6507	0,5507	0,6631
0,5448	0,6691	0,6375	0,6715
1,9298	0,6817	0,6393	0,7251
0,2588	0,6929	0,6556	0,8037
0,3928	0,7809	0,6839	0,8310
0,3987	0,8159	0,9045	0,8600
1,0374	0,9938	0,9087	0,8730
0,3480	1,9027	1,1314	0,8832
0,7986	1,9743	1,8984	0,9183
1,9850		1,9191	0,9224
			0,9356
			0,9911
			1,1003
			1,1375
			1,7441
			1,8448
			2,2317

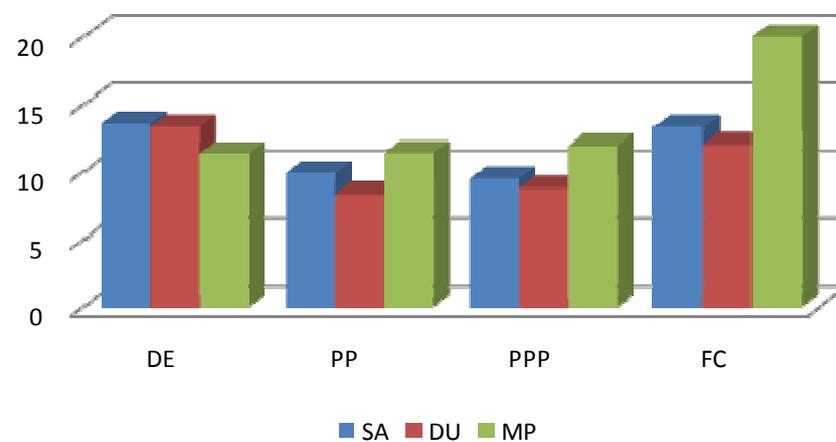
Distância Euclidiana Média

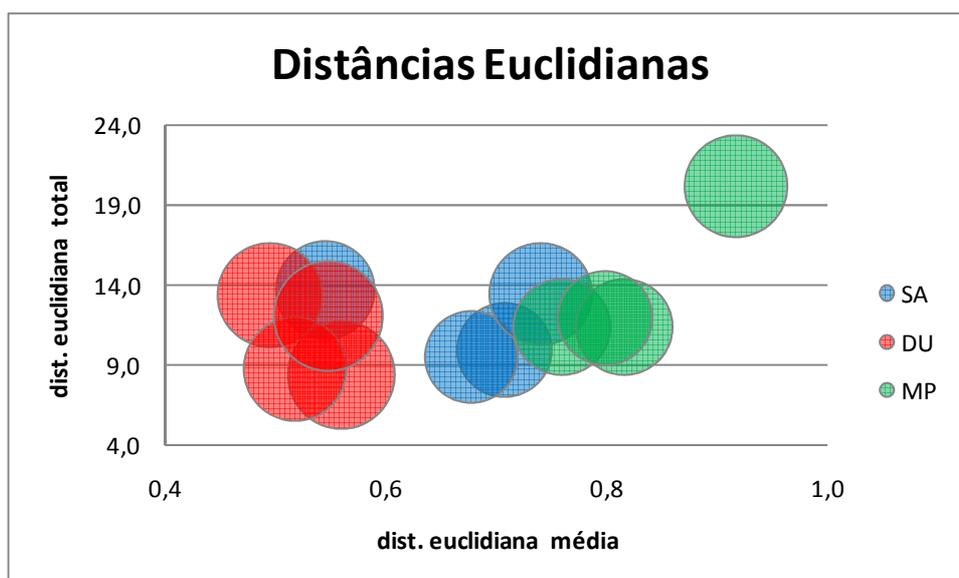
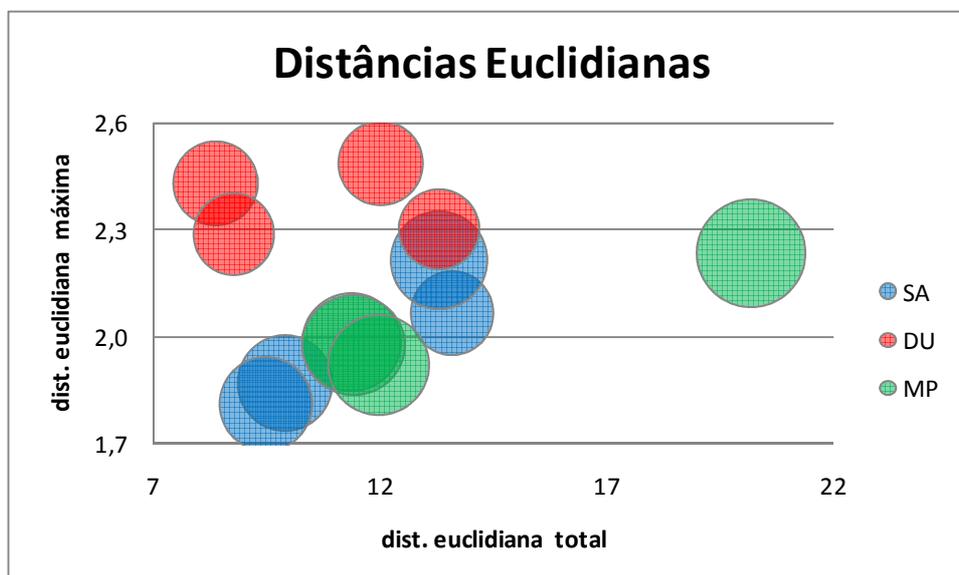
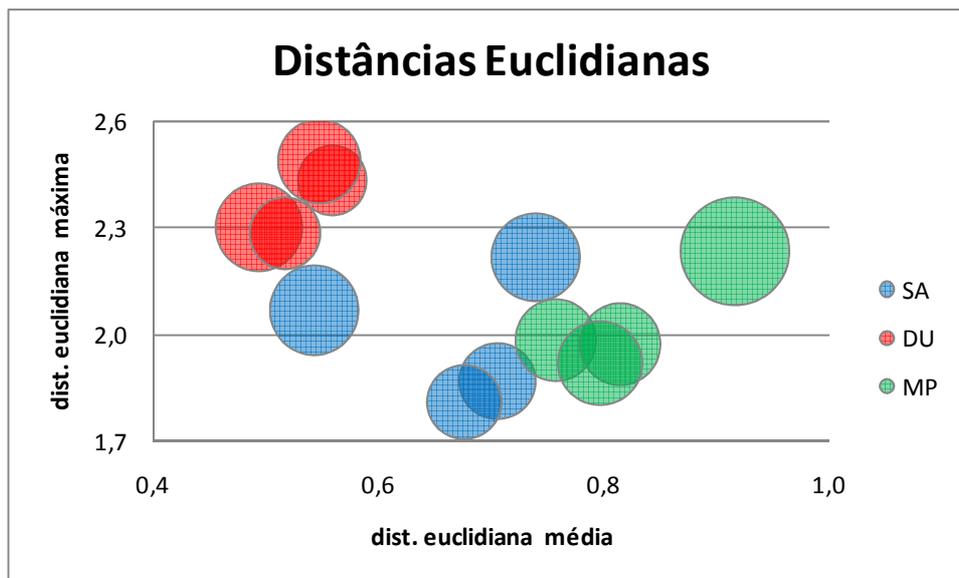


Distância Euclidiana Máxima



Distância Euclidiana Total





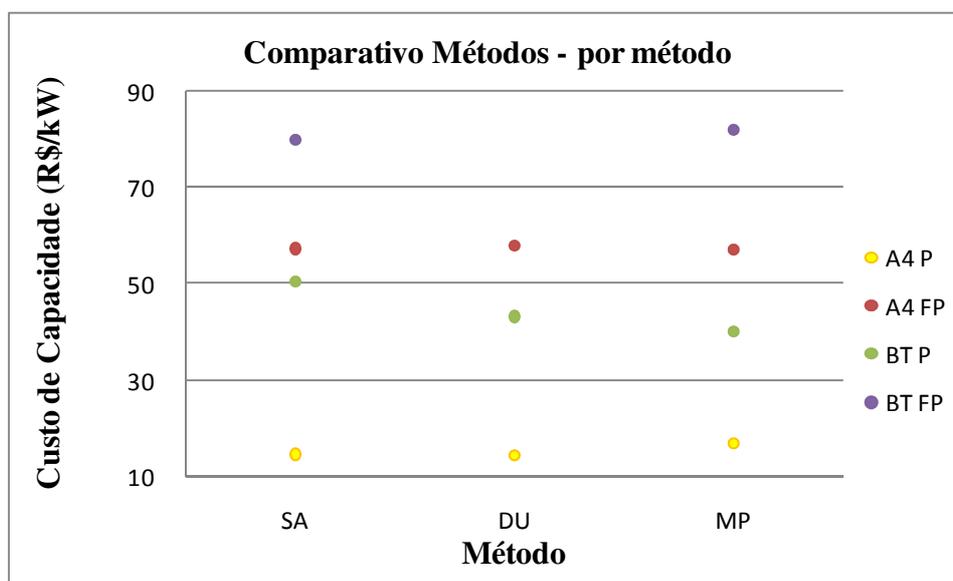
ANEXO 3 – RESULTADOS DOS TESTES – SELEÇÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS – CUSTOS DE CAPACIDADE

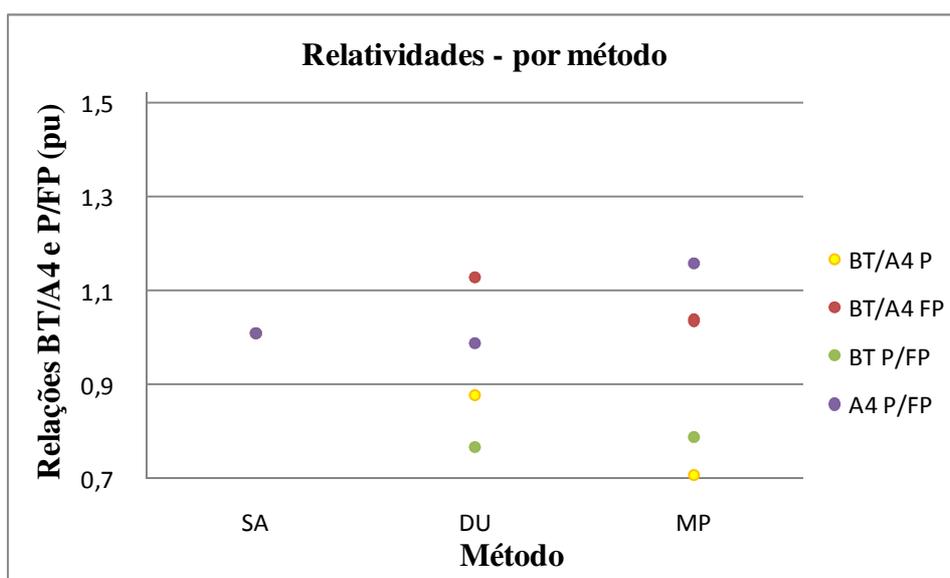
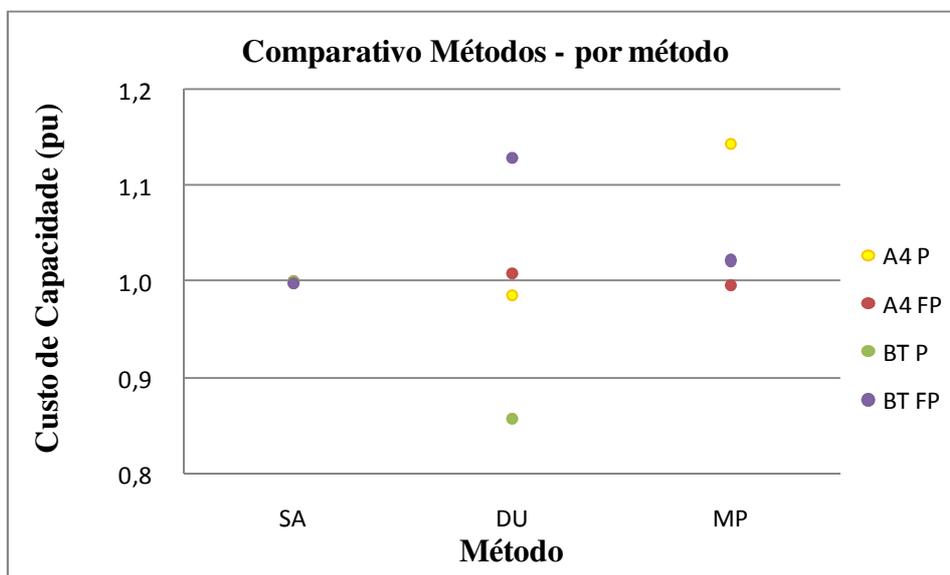
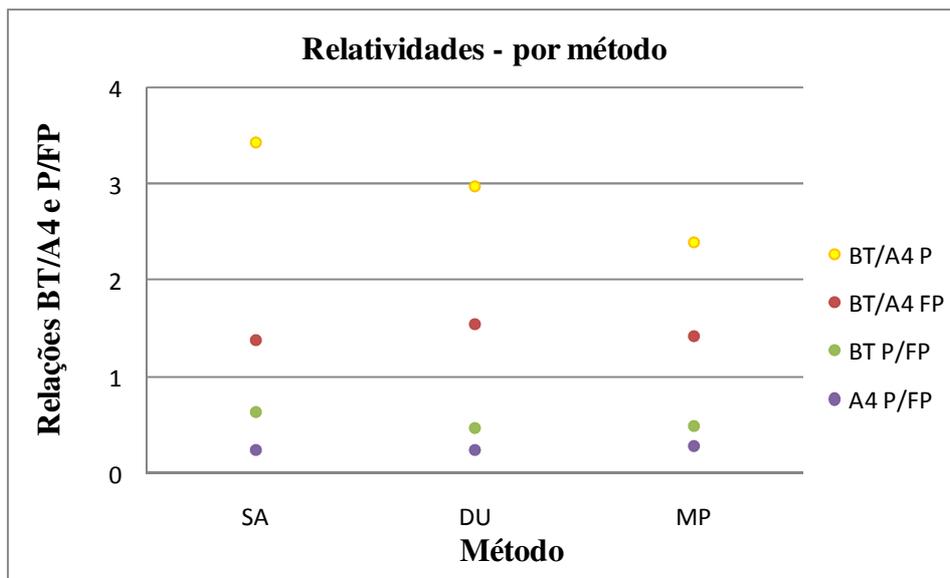
Este anexo apresenta os resultados obtidos nos testes realizados (para duas empresas concessionárias) nos processos de seleção de curvas características, com a comparação através dos custos de capacidade⁷. Para cada método apresentado são ilustrados os dados e gráficos dos custos de capacidade e das relatividades entre as combinações BT/A4 x P/FP, em valores absolutos e em pu - por unidade (os cálculos em pu foram realizados apenas para a concessionária “A”). As abreviações SA, DU e MP indicam a metodologia de seleção, respectivamente, algoritmo do SAT, dia útil mais pesado e maior impacto na ponta. Os métodos de classificação são identificados por: DE (nuvens dinâmicas – distância euclidiana), PP (nuvens dinâmicas – ponto a ponto), PPP (nuvens dinâmicas – ponto a ponto ponderado) e FC (nuvens dinâmicas – fator de carga).

⁷ No processo de cálculo dos custos marginais, as relatividades entre os níveis tarifários foram idênticas aos valores de referência da Aneel (BT – 5, A4 - 3, A3 – 3,65, A3a – 2,99 e A2 – 4,35).

3.1 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança por distância euclidiana

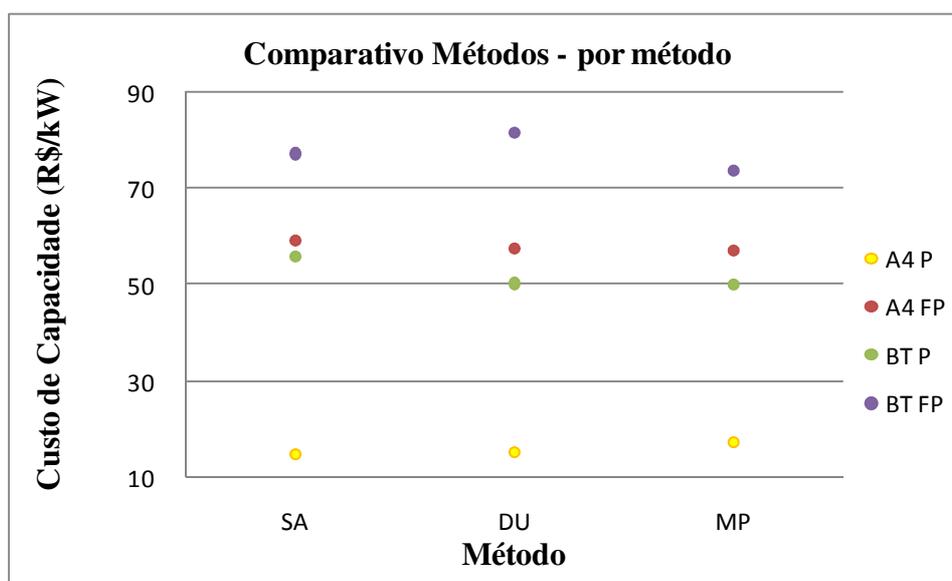
	SA	DU	MP
A4 P	14,70	14,51	16,80
A4 FP	57,61	58,12	57,41
BT P	50,60	43,40	40,39
BT FP	80,14	90,45	82,02
Relatividades			
BT/A4 P	3,442177	2,991041	2,404167
BT/A4 FP	1,391078	1,556263	1,428671
BT P/FP	0,631395	0,479823	0,492441
A4 P/FP	0,255164	0,249656	0,292632
PU da DE			
	SA	DU	MP
A4 P	1,00	0,99	1,14
A4 FP	1,00	1,01	1,00
BT P	1,00	0,86	0,80
BT FP	1,00	1,13	1,02
Relatividades			
BT/A4 P	1,00	0,87	0,70
BT/A4 FP	1,00	1,12	1,03
BT P/FP	1,00	0,76	0,78
A4 P/FP	1,00	0,98	1,15

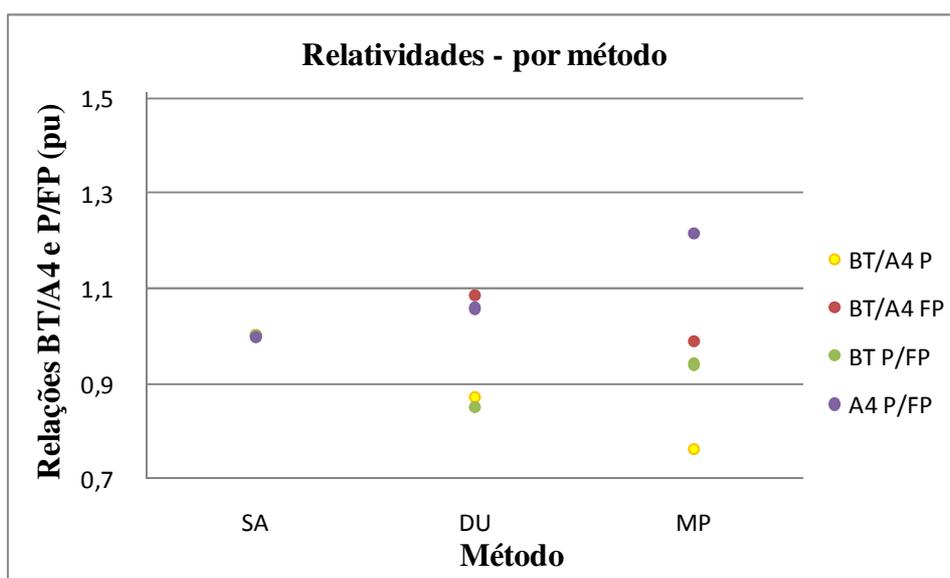
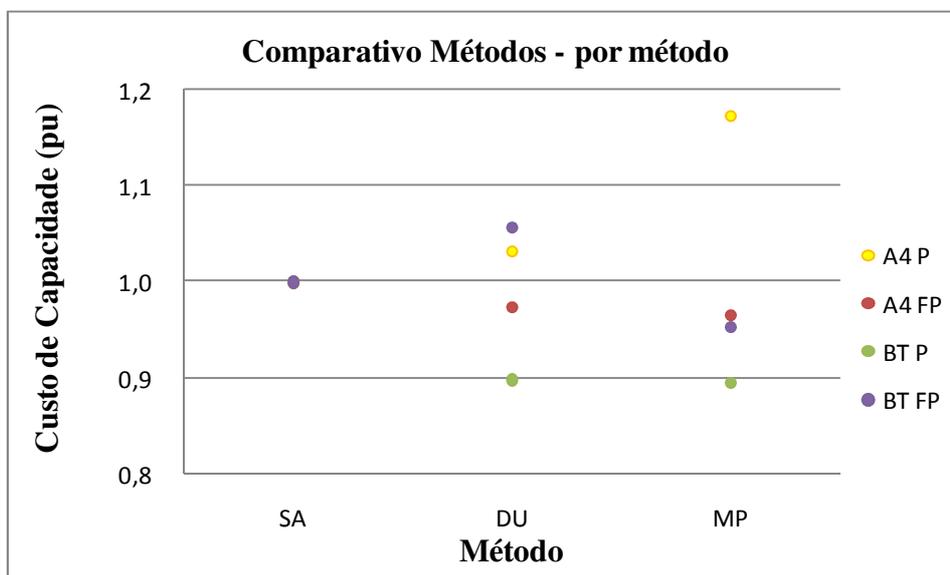
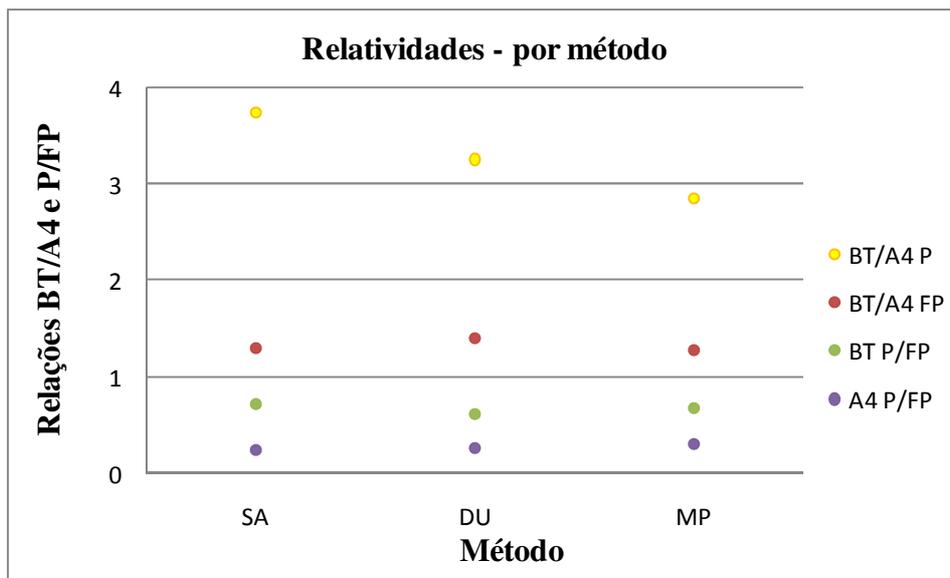




3.2 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança ponto a ponto

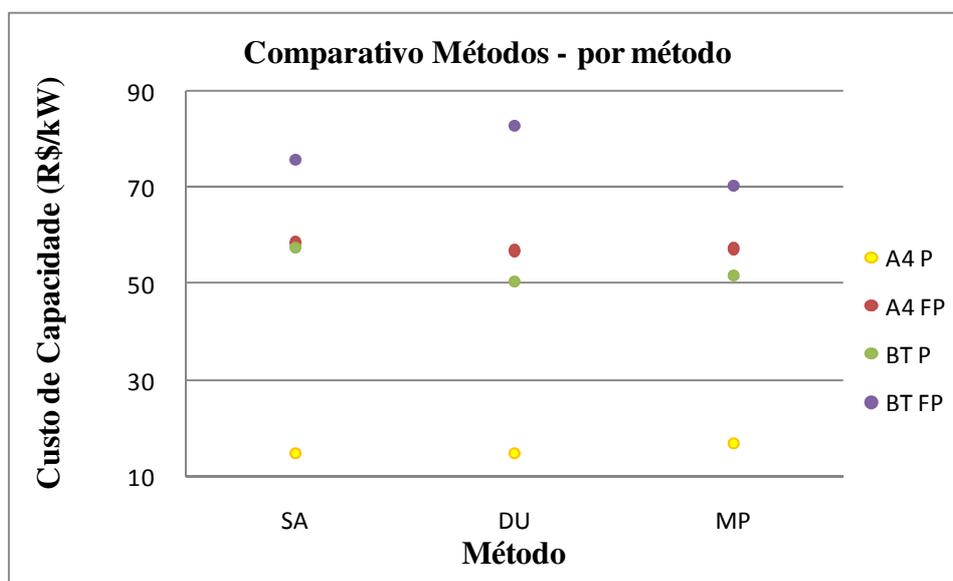
	SA	DU	MP
A4 P	14,89	15,37	17,47
A4 FP	59,22	57,66	57,18
BT P	55,85	50,23	50,07
BT FP	77,24	81,57	73,69
Relatividades			
BT/A4 P	3,750839	3,268055	2,866056
BT/A4 FP	1,304289	1,414672	1,288737
BT P/FP	0,723071	0,615790	0,679468
A4 P/FP	0,251435	0,266563	0,305526
PU da DE			
	SA	DU	MP
A4 P	1,00	1,03	1,17
A4 FP	1,00	0,97	0,97
BT P	1,00	0,90	0,90
BT FP	1,00	1,06	0,95
Relatividades			
BT/A4 P	1,00	0,87	0,76
BT/A4 FP	1,00	1,08	0,99
BT P/FP	1,00	0,85	0,94
A4 P/FP	1,00	1,06	1,22

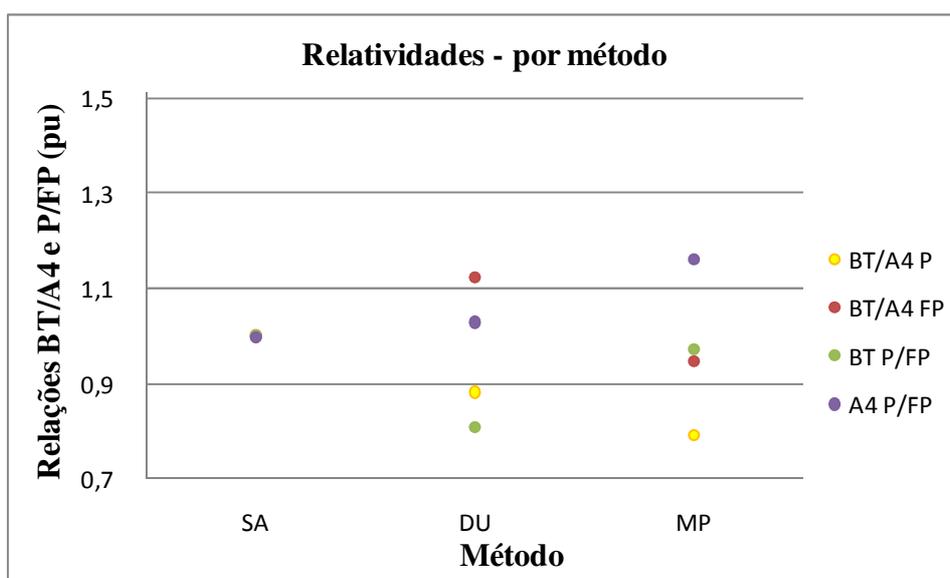
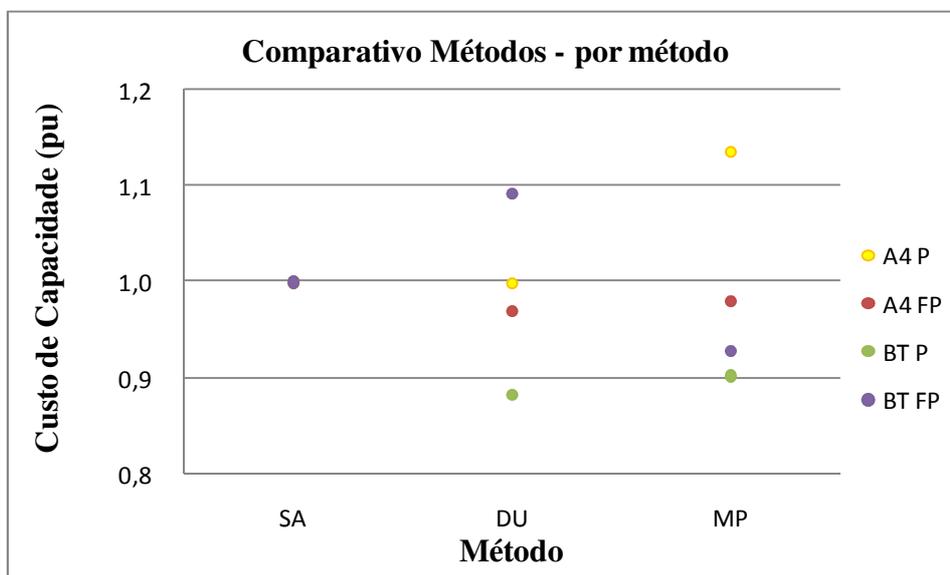
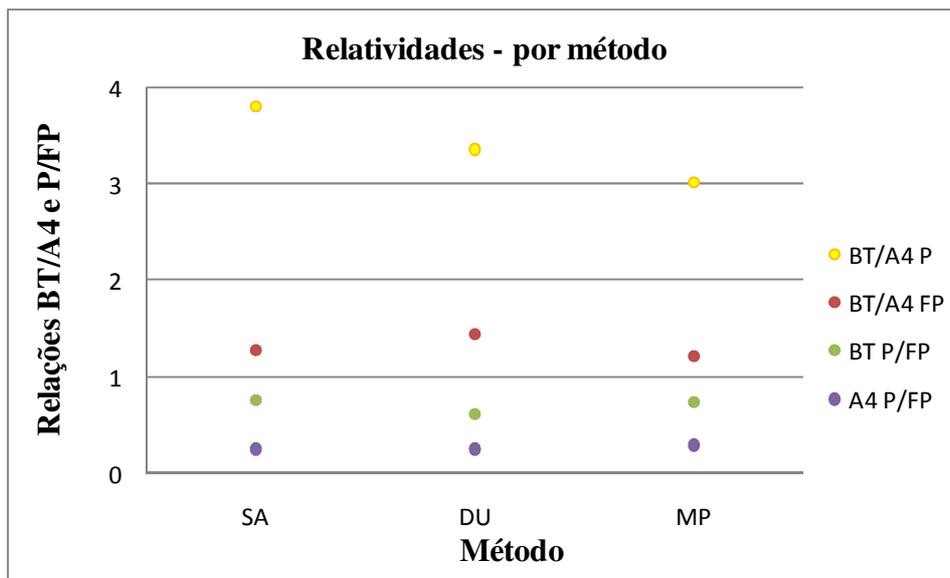




3.3 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança ponto a ponto ponderado

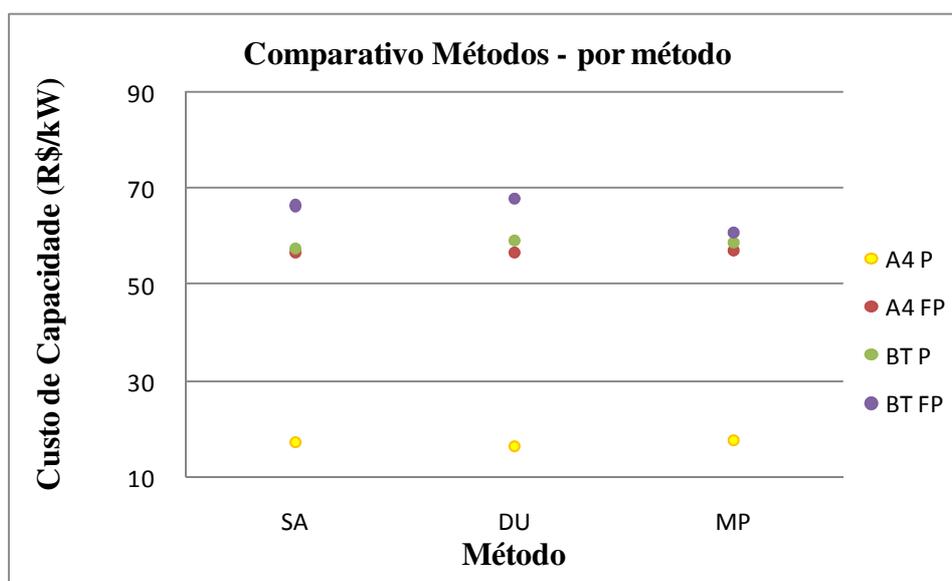
	SA	DU	MP
A4 P	15,09	15,09	17,14
A4 FP	58,69	56,98	57,54
BT P	57,49	50,76	51,87
BT FP	75,75	82,66	70,36
Relatividades			
BT/A4 P	3,809808	3,363817	3,026254
BT/A4 FP	1,290680	1,450684	1,222802
BT P/FP	0,758944	0,614082	0,737209
A4 P/FP	0,257114	0,264830	0,297880
PU da DE			
	SA	DU	MP
A4 P	1,00	1,00	1,14
A4 FP	1,00	0,97	0,98
BT P	1,00	0,88	0,90
BT FP	1,00	1,09	0,93
Relatividades			
BT/A4 P	1,00	0,88	0,79
BT/A4 FP	1,00	1,12	0,95
BT P/FP	1,00	0,81	0,97
A4 P/FP	1,00	1,03	1,16

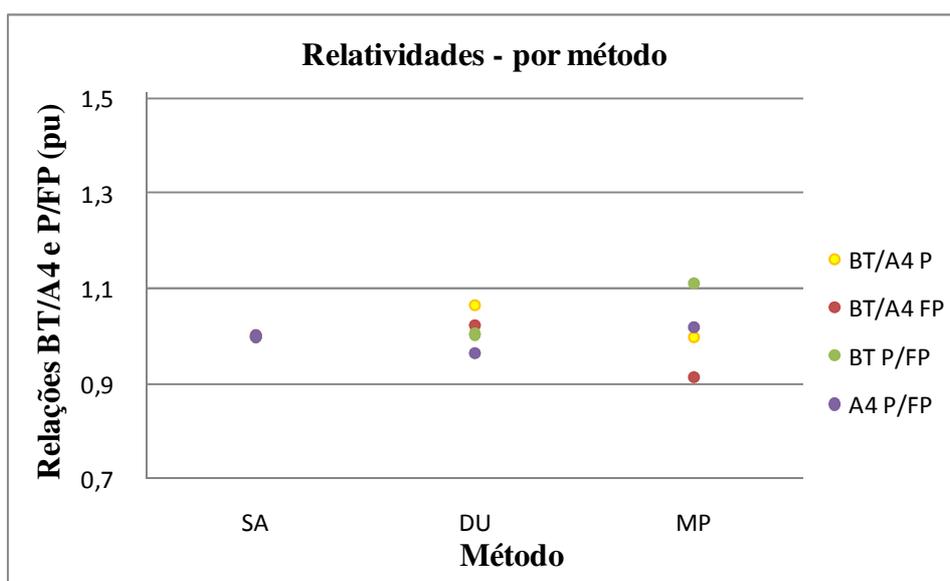
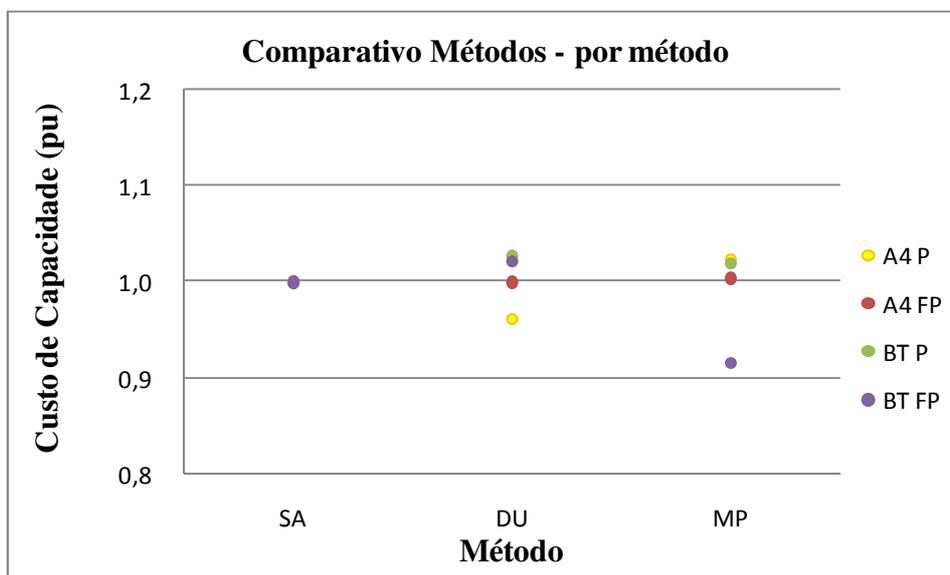
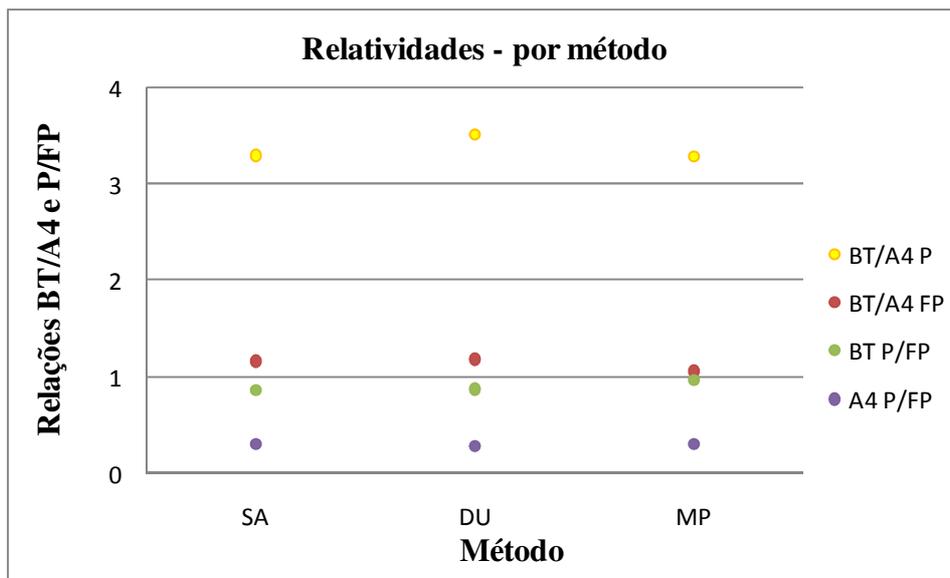




3.4 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança por fator de carga

	SA	DU	MP
A4 P	17,50	16,85	17,89
A4 FP	56,96	56,90	57,17
BT P	57,72	59,25	58,84
BT FP	66,65	68,07	61,10
Relatividades			
BT/A4 P	3,298286	3,516320	3,288988
BT/A4 FP	1,170119	1,196309	1,068742
BT P/FP	0,866017	0,870428	0,963011
A4 P/FP	0,307233	0,296134	0,312926
PU da DE			
	SA	DU	MP
A4 P	1,00	0,96	1,02
A4 FP	1,00	1,00	1,00
BT P	1,00	1,03	1,02
BT FP	1,00	1,02	0,92
Relatividades			
BT/A4 P	1,00	1,07	1,00
BT/A4 FP	1,00	1,02	0,91
BT P/FP	1,00	1,01	1,11
A4 P/FP	1,00	0,96	1,02



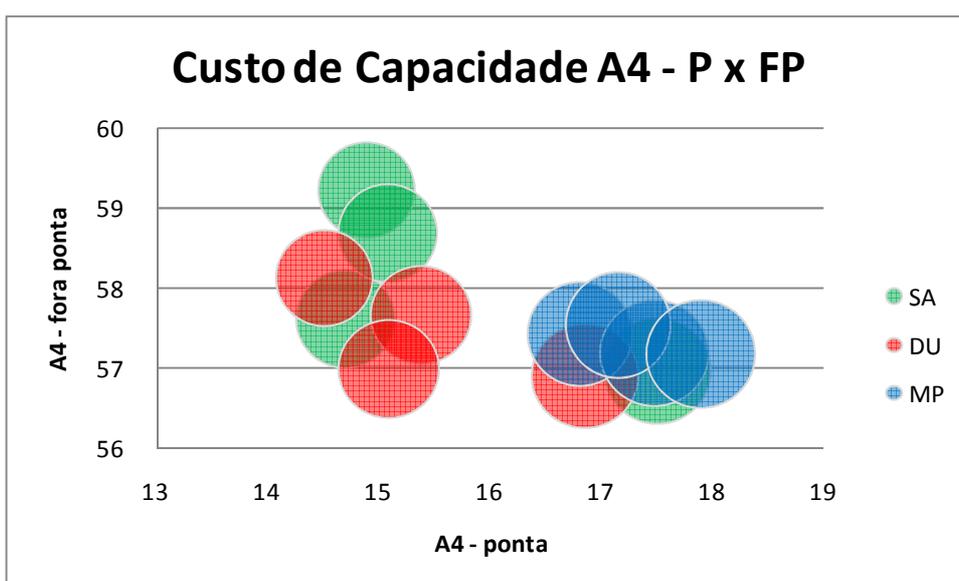
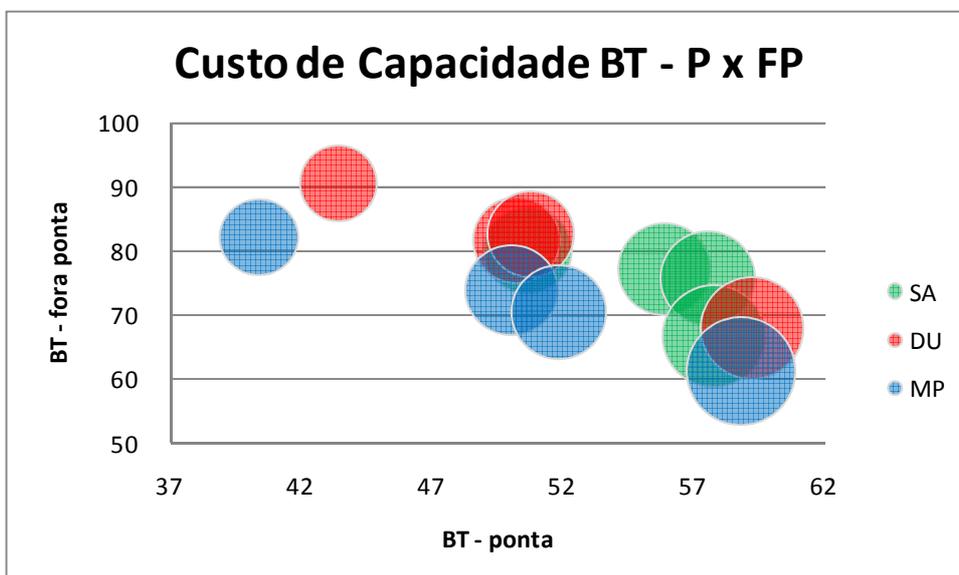
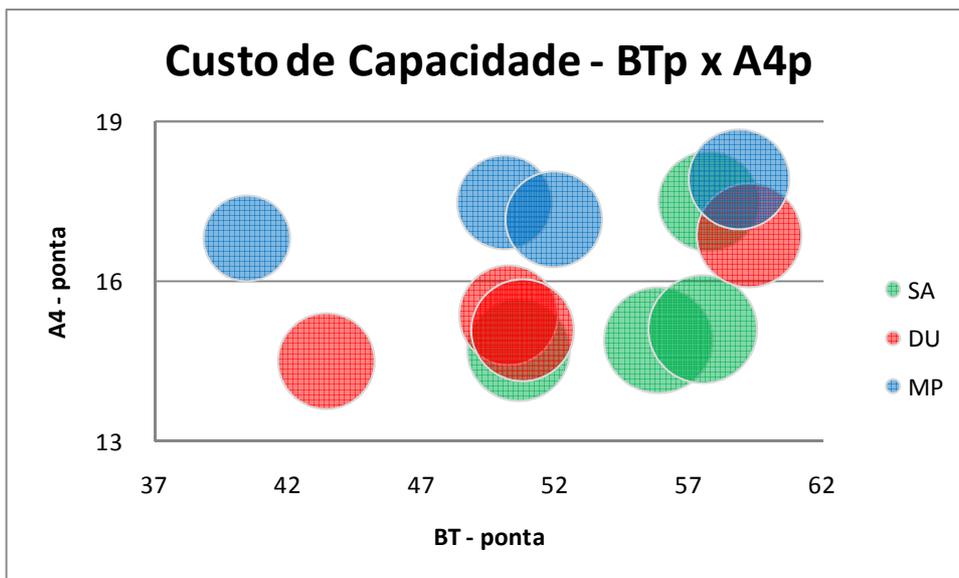


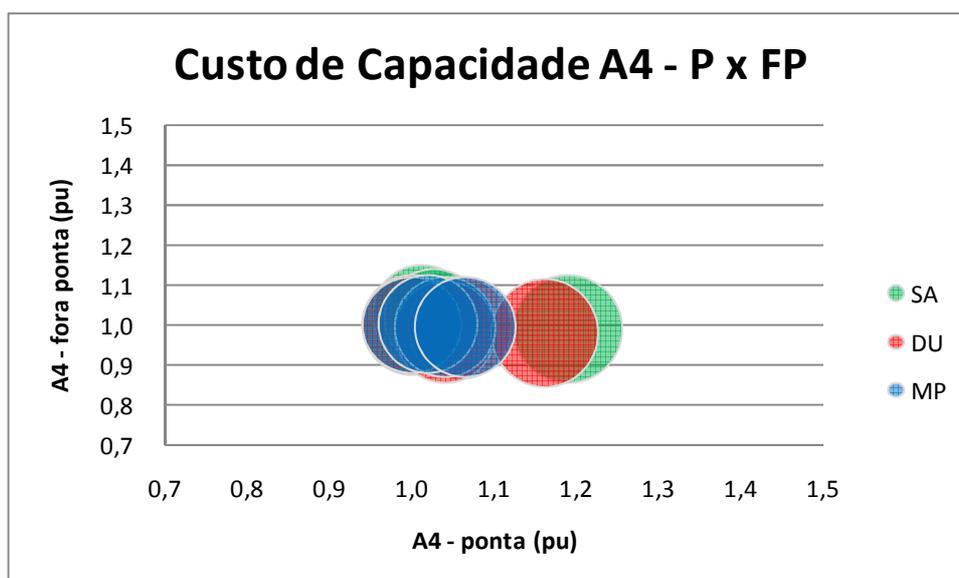
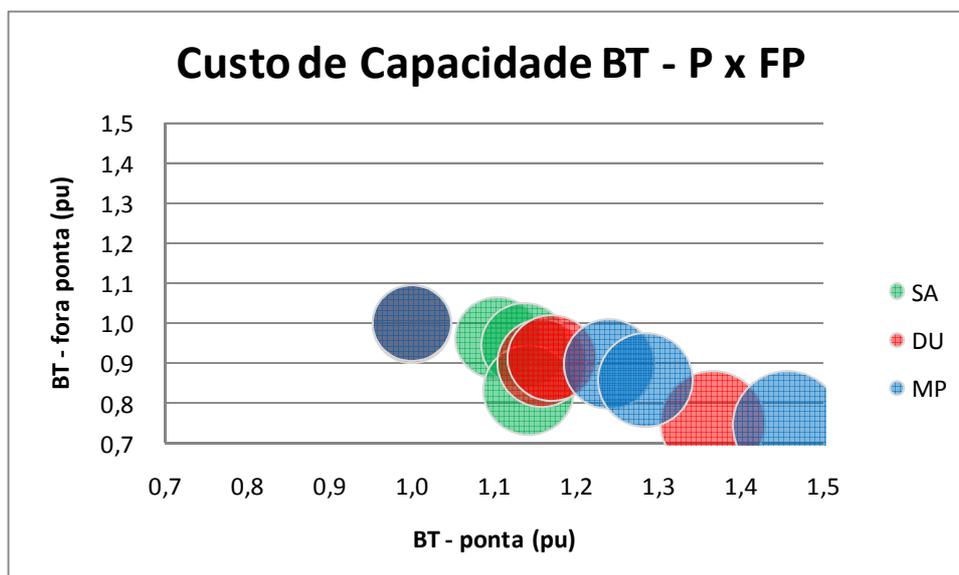
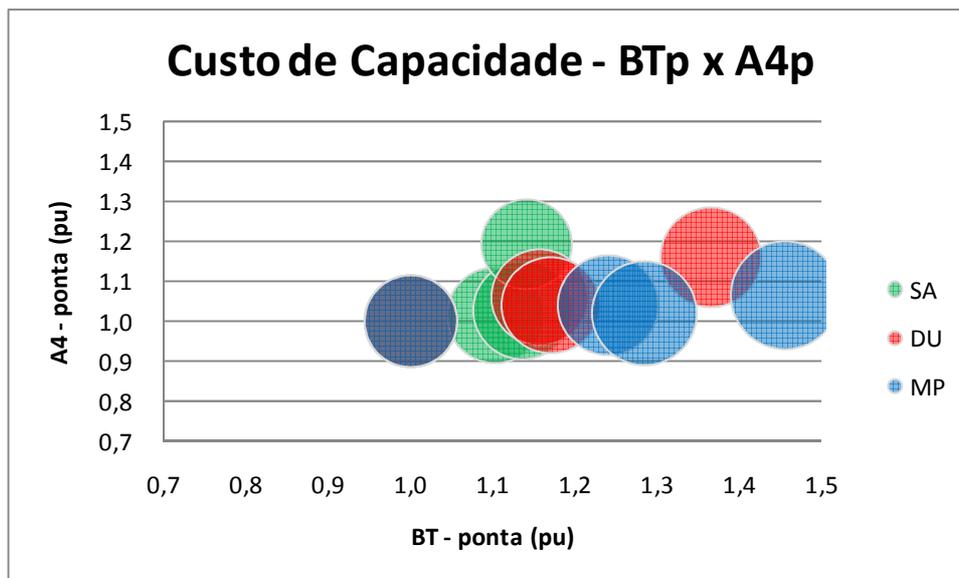
3.5 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de seleção, combinadas aos processos de classificação

	SA			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	14,70	14,89	15,09	17,50
A4 FP	57,61	59,22	58,69	56,96
BT P	50,60	55,85	57,49	57,72
BT FP	80,14	77,24	75,75	66,65
Relatividades				
BT/A4 P	3,442177	3,750839	3,809808	3,298286
BT/A4 FP	1,391078	1,304289	1,290680	1,170119
BT P/FP	0,631395	0,723071	0,758944	0,866017
A4 P/FP	0,255164	0,251435	0,257114	0,307233
Em PU da DE				
	SA			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	1	1,012925	1,026531	1,190476
A4 FP	1	1,027947	1,018747	0,988717
BT P	1	1,103755	1,136166	1,140711
BT FP	1	0,963813	0,945221	0,831670
Relatividades				
BT/A4 P	1	1,089671	1,106802	0,958198
BT/A4 FP	1	0,937610	0,927827	0,841160
BT P/FP	1	1,145196	1,202011	1,371592
A4 P/FP	1	0,985387	1,007641	1,204061

	DU			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	14,51	15,37	15,09	16,85
A4 FP	58,12	57,66	56,98	56,90
BT P	43,40	50,23	50,76	59,25
BT FP	90,45	81,57	82,66	68,07
Relatividades				
BT/A4 P	2,991041	3,268055	3,363817	3,516320
BT/A4 FP	1,556263	1,414672	1,450684	1,196309
BT P/FP	0,479823	0,615790	0,614082	0,870428
A4 P/FP	0,249656	0,266563	0,264830	0,296134
Em PU da DE				
	DU			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	1,000000	1,059269	1,039972	1,161268
A4 FP	1,000000	0,992085	0,980385	0,979009
BT P	1,000000	1,157373	1,169585	1,365207
BT FP	1,000000	0,901824	0,913875	0,752570
Relatividades				
BT/A4 P	1,000000	1,092615	1,124631	1,175618
BT/A4 FP	1,000000	0,909019	0,932159	0,768706
BT P/FP	1,000000	1,283369	1,279809	1,814059
A4 P/FP	1,000000	1,067720	1,060779	1,186167

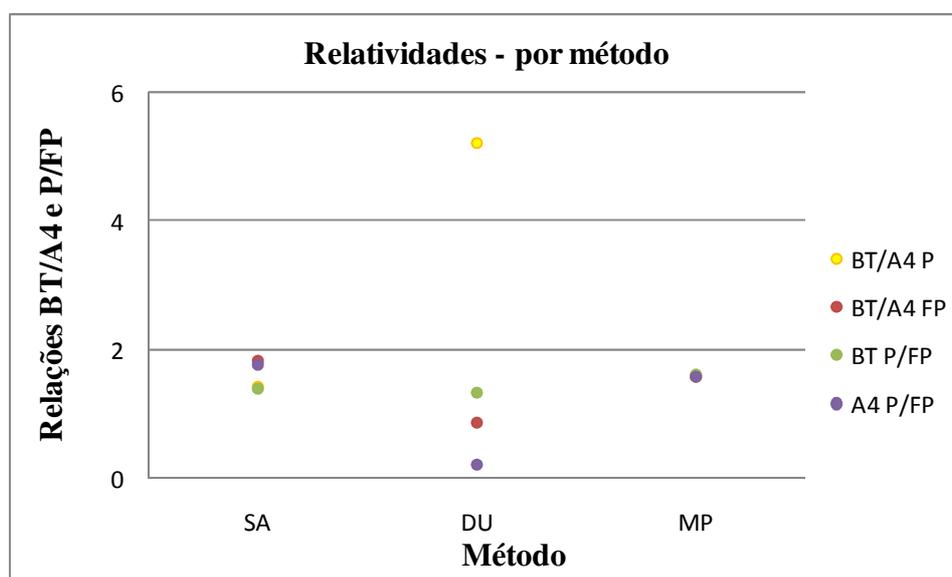
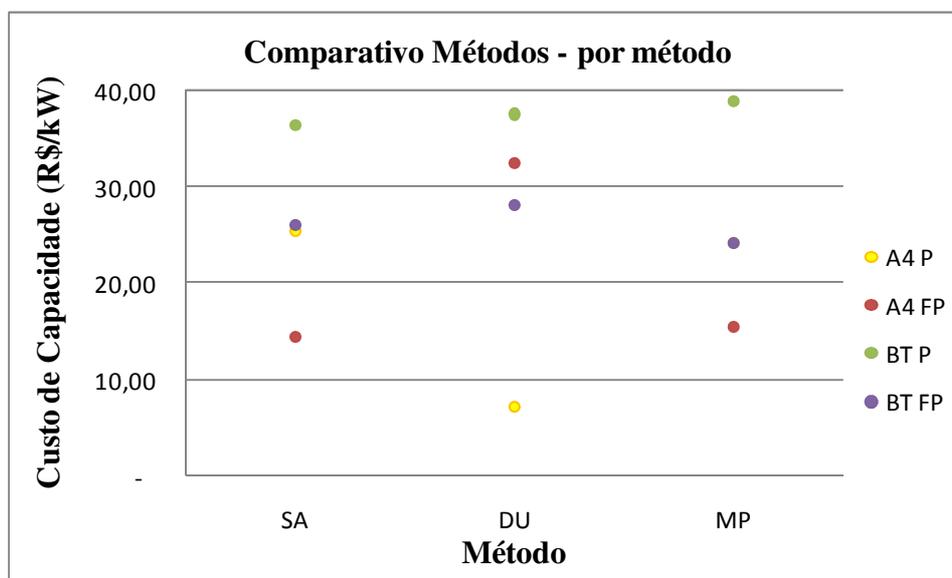
	MP			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	16,80	17,47	17,14	17,89
A4 FP	57,41	57,18	57,54	57,17
BT P	40,39	50,07	51,87	58,84
BT FP	82,02	73,69	70,36	61,10
Relatividades				
BT/A4 P	2,404167	2,866056	3,026254	3,288988
BT/A4 FP	1,428671	1,288737	1,222802	1,068742
BT P/FP	0,492441	0,679468	0,737209	0,963011
A4 P/FP	0,292632	0,305526	0,297880	0,312926
Em PU da DE				
	MP			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	1,000000	1,039881	1,020238	1,064881
A4 FP	1,000000	0,995994	1,002264	0,995820
BT P	1,000000	1,239663	1,284229	1,456796
BT FP	1,000000	0,898439	0,857840	0,744940
Relatividades				
BT/A4 P	1,000000	1,192120	1,258754	1,368037
BT/A4 FP	1,000000	0,902053	0,855901	0,748068
BT P/FP	1,000000	1,379796	1,497050	1,955588
A4 P/FP	1,000000	1,044064	1,017933	1,069351





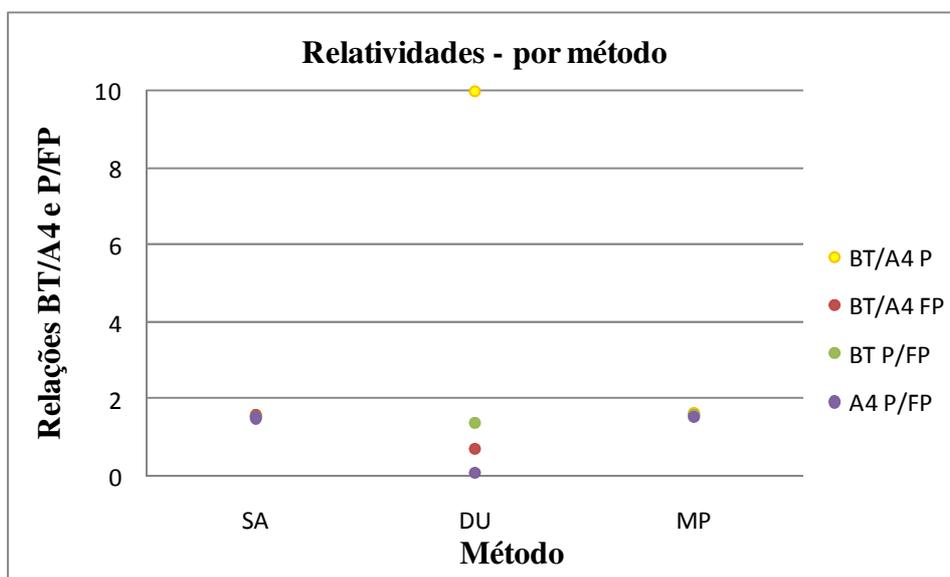
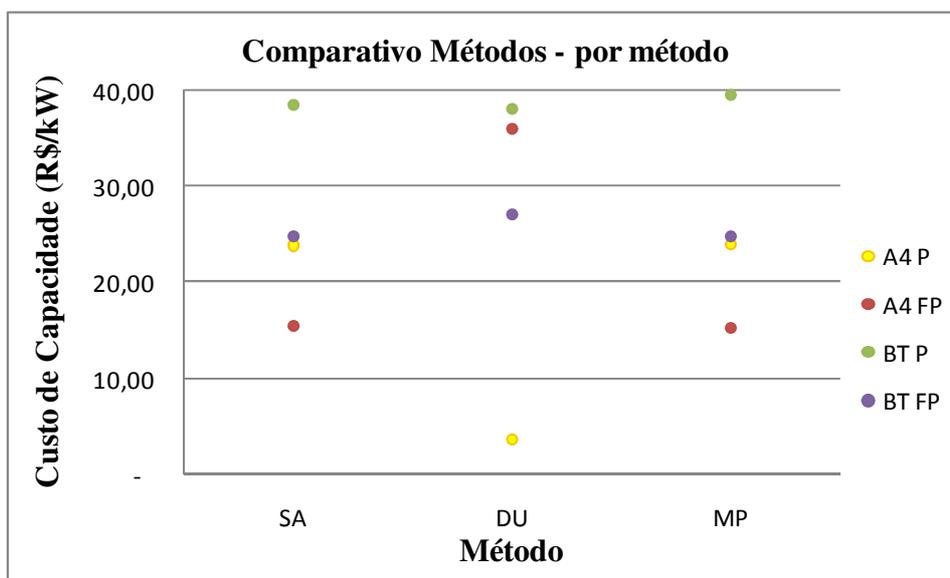
3.6 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança por distância euclidiana

	SA	DU	MP
A4 P	25,41	7,19	24,25
A4 FP	14,48	32,38	15,45
BT P	36,48	37,51	38,83
BT FP	26,25	28,23	24,36
Relatividades			
BT/A4 P	1,435655	5,216968	1,601237
BT/A4 FP	1,812845	0,871834	1,576699
BT P/FP	1,389714	1,328728	1,594007
A4 P/FP	1,754834	0,222051	1,569579



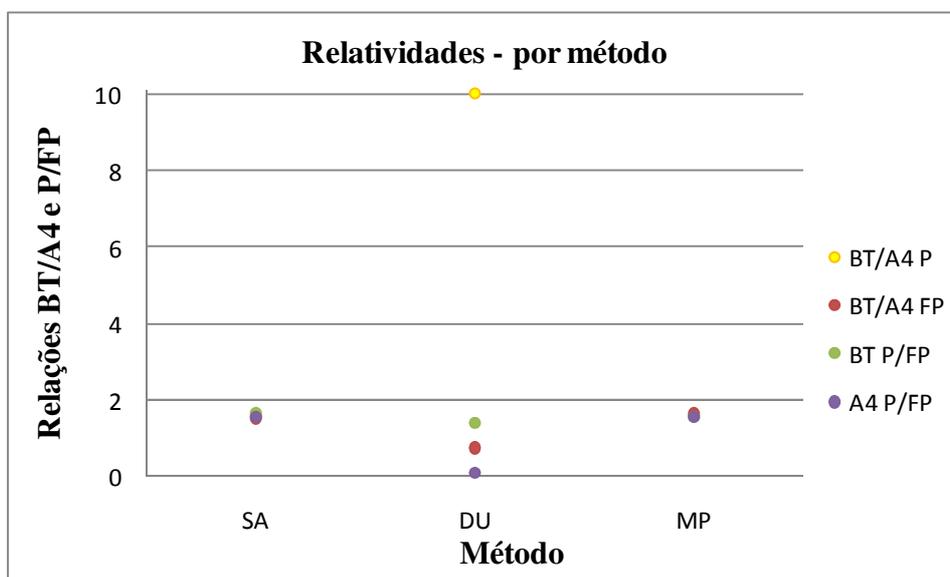
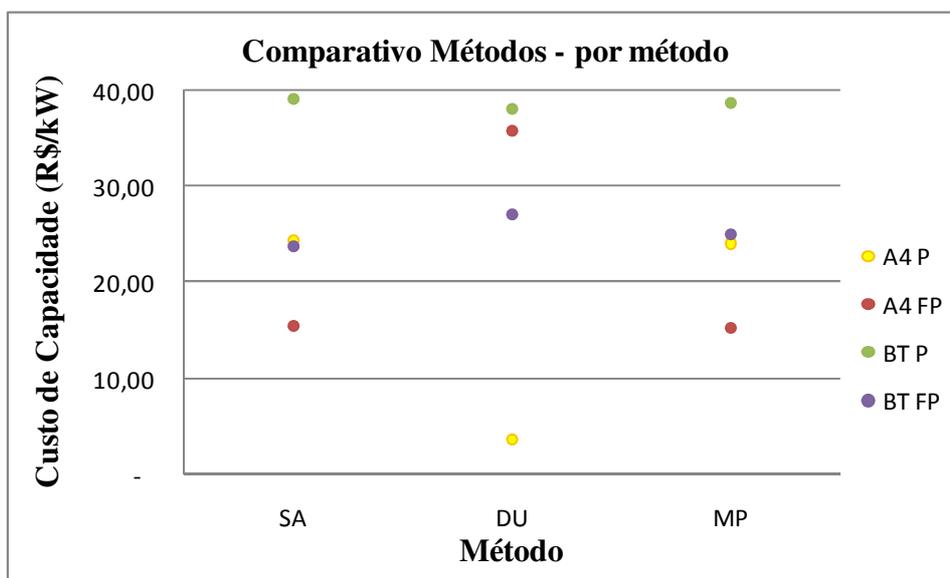
3.7 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança ponto a ponto

	SA	DU	MP
A4 P	23,95	3,82	24,00
A4 FP	15,54	35,94	15,36
BT P	38,52	38,12	39,50
BT FP	24,83	27,09	24,79
Relatividades			
BT/A4 P	1,608351	9,979058	1,645833
BT/A4 FP	1,597812	0,753756	1,613932
BT P/FP	1,551349	1,407161	1,593384
A4 P/FP	1,541184	0,106288	1,5625



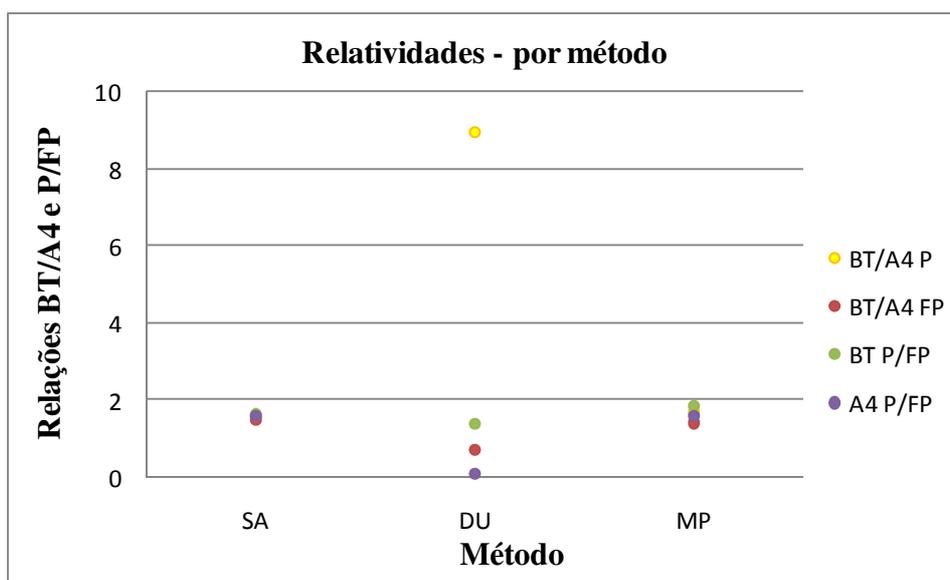
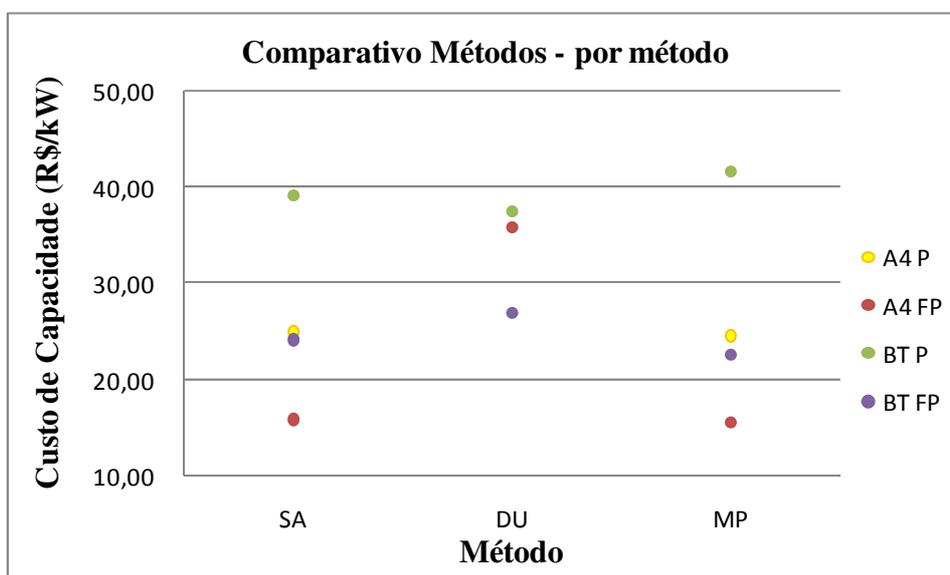
3.8 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança ponto a ponto ponderado

	SA	DU	MP
A4 P	24,30	3,81	24,02
A4 FP	15,55	35,86	15,35
BT P	39,15	38,18	38,72
BT FP	23,82	27,17	25,14
Relatividades			
BT/A4 P	1,611111	10,021	1,61199
BT/A4 FP	1,531833	0,757669	1,637785
BT P/FP	1,643577	1,405226	1,540175
A4 P/FP	1,562701	0,106247	1,564821



3.9 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de seleção, com classificação por nuvens dinâmicas e semelhança por fator de carga

	SA	DU	MP
A4 P	24,99	4,19	24,56
A4 FP	15,88	35,81	15,60
BT P	39,16	37,51	41,74
BT FP	24,09	26,92	22,56
Relatividades			
BT/A4 P	1,567027	8,952267	1,699511
BT/A4 FP	1,517003	0,751745	1,446154
BT P/FP	1,625571	1,393388	1,850177
A4 P/FP	1,573678	0,117006	1,574359



3.10 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de seleção, combinadas aos processos de classificação

	SA			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	25,41	23,95	24,30	24,99
A4 FP	14,48	15,54	15,55	15,88
BT P	36,48	38,52	39,15	39,16
BT FP	26,25	24,83	23,82	24,09
Relatividades				
BT/A4 P	1,435655	1,608351	1,611111	1,567027
BT/A4 FP	1,812845	1,597812	1,531833	1,517003
BT P/FP	1,389714	1,551349	1,643577	1,625571
A4 P/FP	1,754834	1,541184	1,562701	1,573678

	DU			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	7,19	3,82	3,81	4,19
A4 FP	32,38	35,94	35,86	35,81
BT P	37,51	38,12	38,18	37,51
BT FP	28,23	27,09	27,17	26,92
Relatividades				
BT/A4 P	5,216968	9,979058	10,021	8,952267
BT/A4 FP	0,871834	0,753756	0,757669	0,751745
BT P/FP	1,328728	1,407161	1,405226	1,393388
A4 P/FP	0,222051	0,106288	0,106247	0,117006

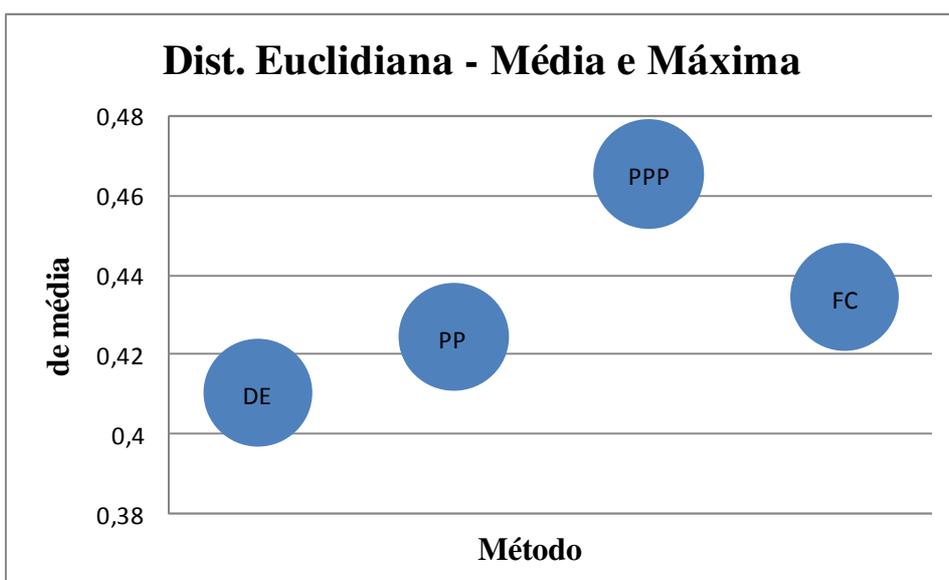
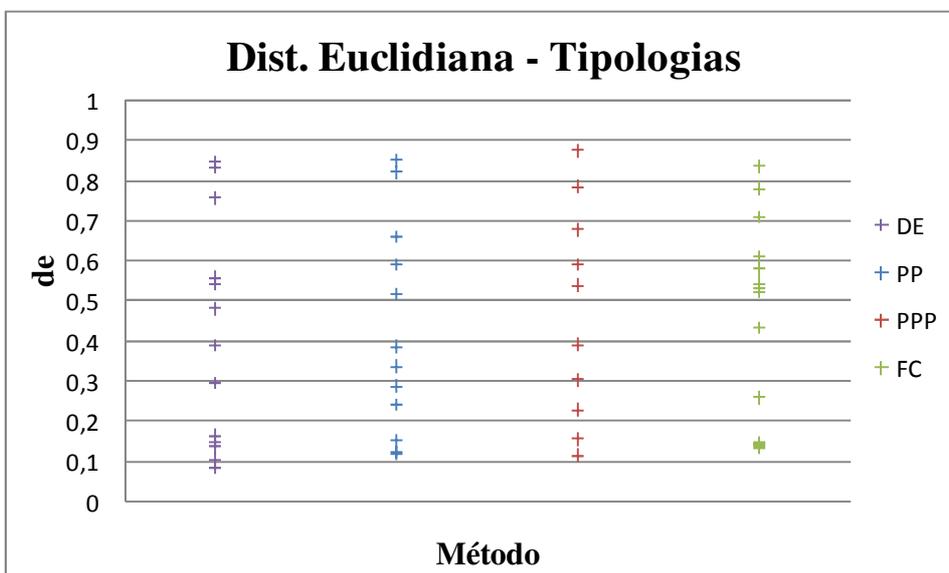
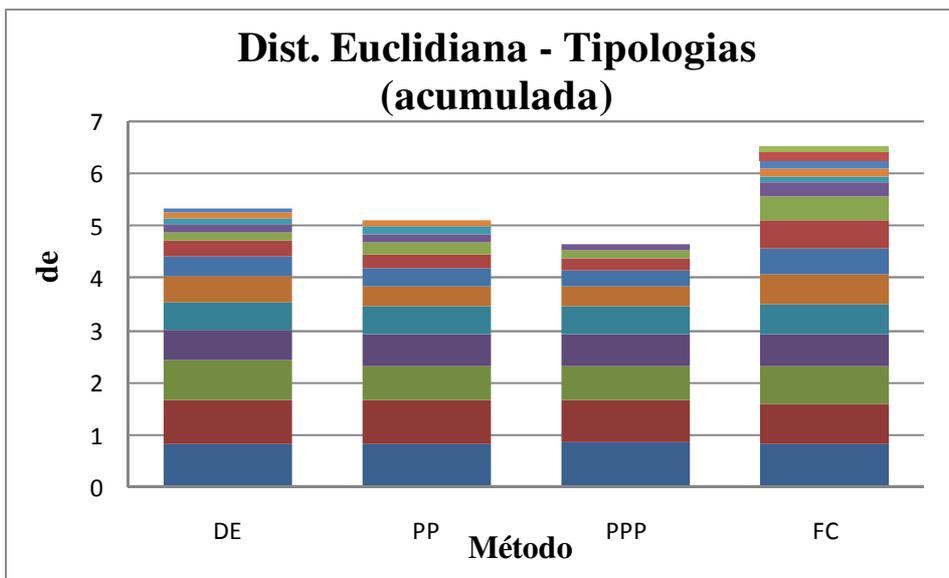
	MP			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	24,25	24,00	24,02	24,56
A4 FP	15,45	15,36	15,35	15,60
BT P	38,83	39,50	38,72	41,74
BT FP	24,36	24,79	25,14	22,56
Relatividades				
BT/A4 P	1,601237	1,645833	1,61199	1,699511
BT/A4 FP	1,576699	1,613932	1,637785	1,446154
BT P/FP	1,594007	1,593384	1,540175	1,850177
A4 P/FP	1,569579	1,5625	1,564821	1,574359

ANEXO 4 – RESULTADOS DOS TESTES – CLASSIFICAÇÃO DE DADOS – TIPOLOGIAS DAS TRANSFORMAÇÕES

Este anexo apresenta os resultados obtidos nos testes realizados (para duas empresas concessionárias) nos processos de classificação de curvas características, com a comparação pelas metodologias de seleção. Os valores apresentados são as distâncias euclidianas entre as curvas reais e calculadas (em pu da potência máxima) para as tipologias das transformações. As abreviações SA, DU e MP indicam a metodologia de seleção, respectivamente, algoritmo do SAT, dia útil mais pesado e maior impacto na ponta. Os métodos de classificação são identificados por: DE (nuvens dinâmicas – distância euclidiana), PP (nuvens dinâmicas – ponto a ponto), PPP (nuvens dinâmicas – ponto a ponto ponderado) e FC (nuvens dinâmicas – fator de carga).

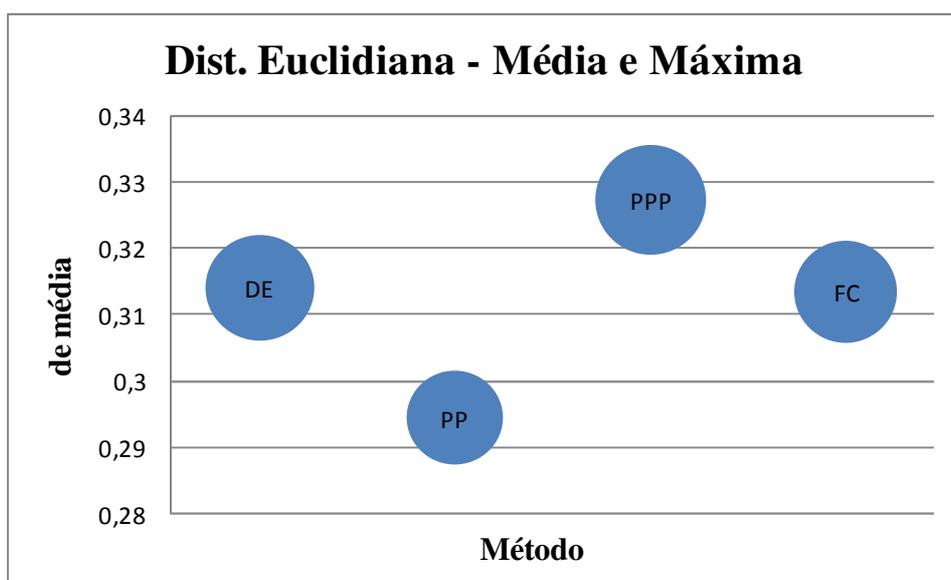
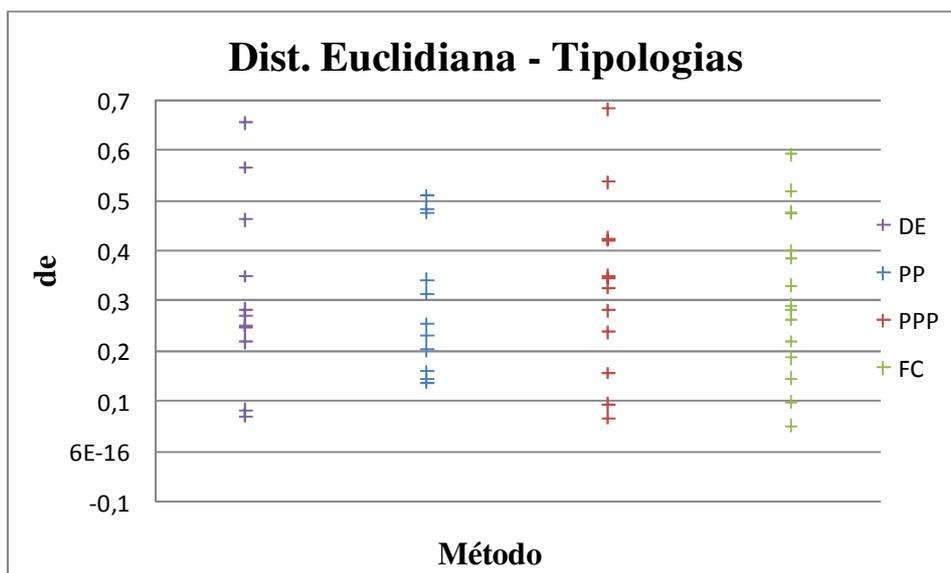
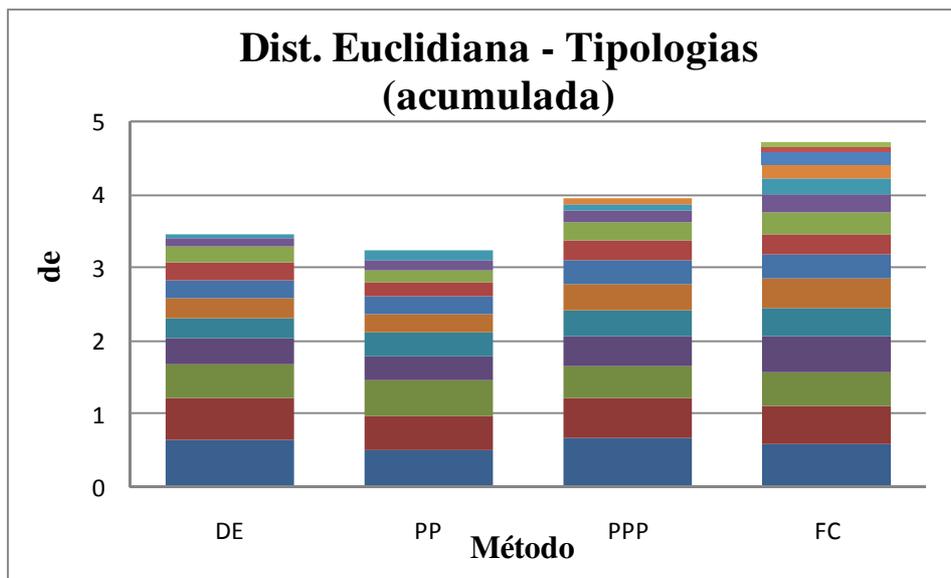
4.1 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo algoritmo do SAT

DE	PP	PPP	FC
0,846433	0,851653	0,873776	0,83431
0,832429	0,822022	0,783362	0,778311
0,757803	0,660768	0,677431	0,709012
0,558108	0,591693	0,589896	0,608492
0,541964	0,518228	0,537071	0,57928
0,481441	0,386887	0,39065	0,54316
0,389186	0,337208	0,303395	0,531649
0,294358	0,288205	0,228225	0,523406
0,162949	0,241198	0,155353	0,43391
0,147091	0,150946	0,114598	0,261046
0,135137	0,124149		0,147584
0,104248	0,120403		0,144525
0,084026			0,14332
			0,140537
			0,136659



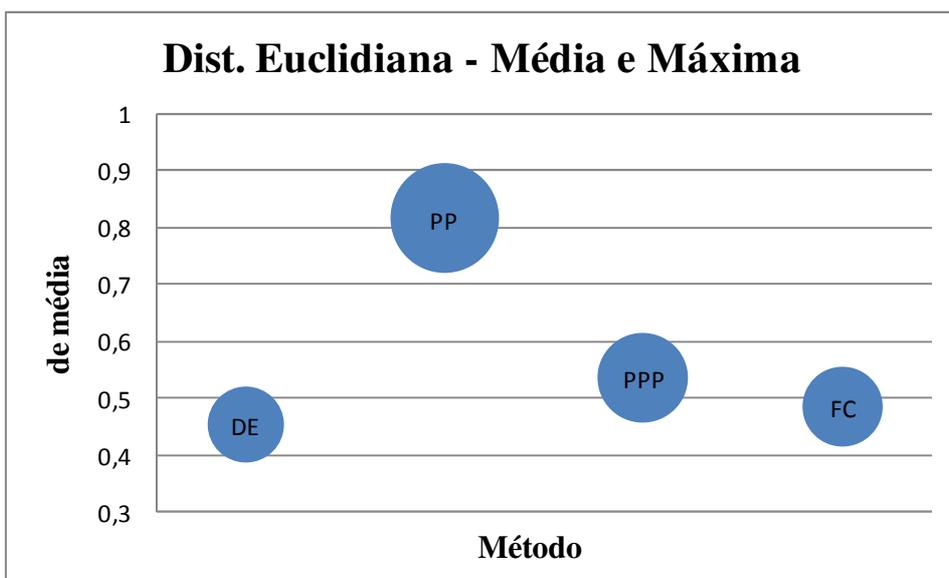
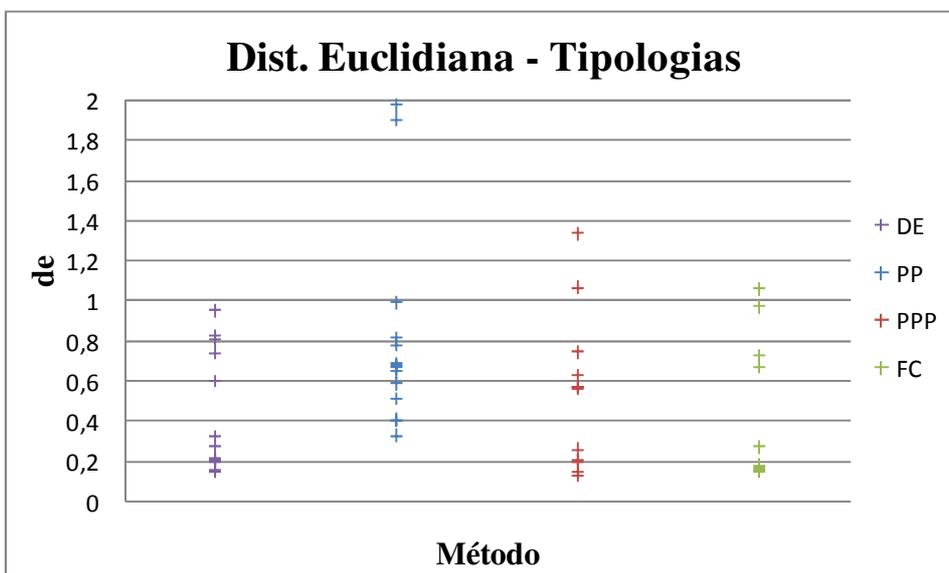
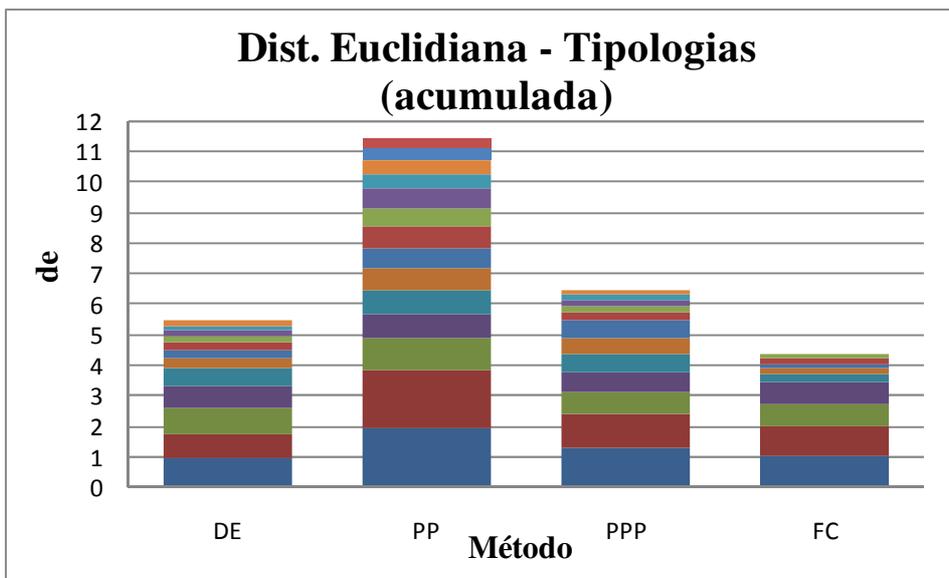
4.2 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo dia útil mais pesado

DE	PP	PPP	FC
0,654727	0,507913	0,684155	0,590828
0,565158	0,482723	0,538099	0,51907
0,462177	0,474615	0,426302	0,475646
0,34905	0,341602	0,42078	0,474665
0,283456	0,313834	0,351522	0,397403
0,270423	0,253527	0,346087	0,383434
0,251736	0,228985	0,327829	0,329449
0,245553	0,200302	0,280672	0,290593
0,218123	0,158453	0,237328	0,281562
0,08408	0,141536	0,155929	0,263055
0,071671	0,136634	0,094179	0,218579
		0,066583	0,185596
			0,145309
			0,098131
			0,050481



4.3 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo maior impacto na ponta

DE	PP	PPP	FC
0,951789	1,974264	1,334028	1,064689
0,823048	1,902652	1,066862	0,975808
0,805245	0,993809	0,745226	0,72864
0,739869	0,815884	0,630265	0,671373
0,600221	0,78093	0,570779	0,27464
0,327598	0,692912	0,570523	0,17992
0,273909	0,68171	0,562152	0,172986
0,215264	0,669089	0,259565	0,157174
0,209598	0,650694	0,208485	0,15153
0,202143	0,590141	0,202478	
0,160411	0,515316	0,154239	
0,153213	0,410484	0,133385	
	0,406654		
	0,333066		



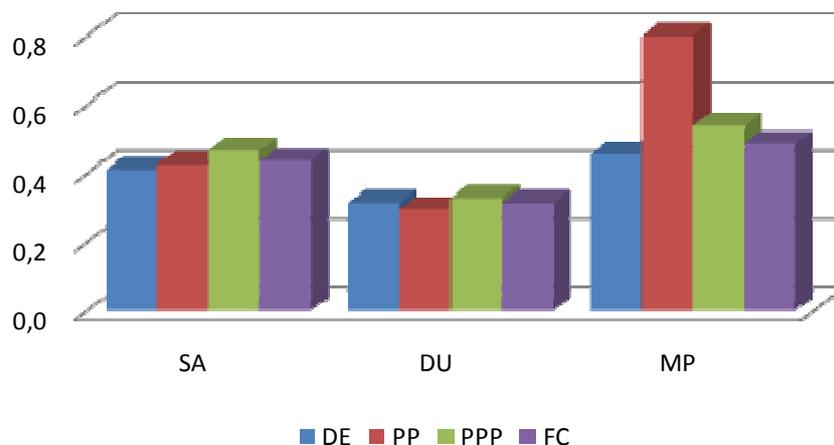
4.4 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de classificação, combinadas aos processos de seleção

SA			
DE	PP	PPP	FC
0,8464	0,8517	0,8738	0,8343
0,8324	0,8220	0,7834	0,7783
0,7578	0,6608	0,6774	0,7090
0,5581	0,5917	0,5899	0,6085
0,5420	0,5182	0,5371	0,5793
0,4814	0,3869	0,3907	0,5432
0,3892	0,3372	0,3034	0,5316
0,2944	0,2882	0,2282	0,5234
0,1629	0,2412	0,1554	0,4339
0,1471	0,1509	0,1146	0,2610
0,1351	0,1241		0,1476
0,1042	0,1204		0,1445
0,0840			0,1433
			0,1405
			0,1367

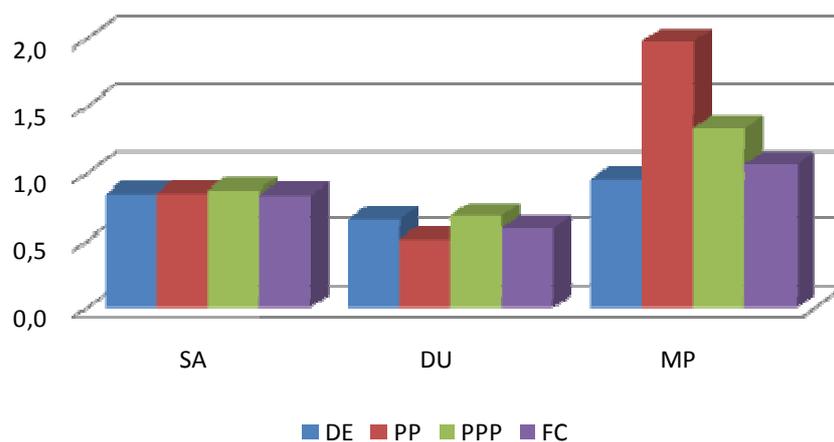
DU			
DE	PP	PPP	FC
0,6547	0,5079	0,6842	0,5908
0,5652	0,4827	0,5381	0,5191
0,4622	0,4746	0,4263	0,4756
0,3490	0,3416	0,4208	0,4747
0,2835	0,3138	0,3515	0,3974
0,2704	0,2535	0,3461	0,3834
0,2517	0,2290	0,3278	0,3294
0,2456	0,2003	0,2807	0,2906
0,2181	0,1585	0,2373	0,2816
0,0841	0,1415	0,1559	0,2631
0,0717	0,1366	0,0942	0,2186
		0,0666	0,1856
			0,1453
			0,0981
			0,0505

MP			
DE	PP	PPP	FC
0,9518	1,9743	1,3340	1,0647
0,8230	1,9027	1,0669	0,9758
0,8052	0,9938	0,7452	0,7286
0,7399	0,8159	0,6303	0,6714
0,6002	0,7809	0,5708	0,2746
0,3276	0,6929	0,5705	0,1799
0,2739	0,6817	0,5622	0,1730
0,2153	0,6691	0,2596	0,1572
0,2096	0,6507	0,2085	0,1515
0,2021	0,5901	0,2025	
0,1604	0,5153	0,1542	
0,1532	0,4105	0,1334	
	0,4067		
	0,3331		

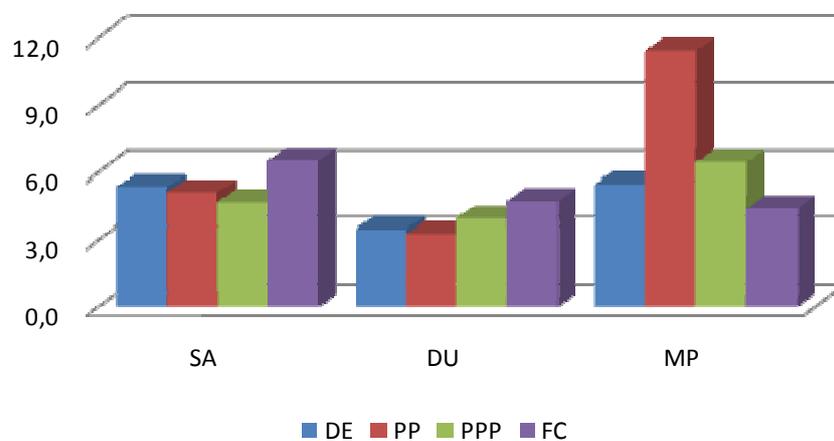
Distância Euclidiana Média

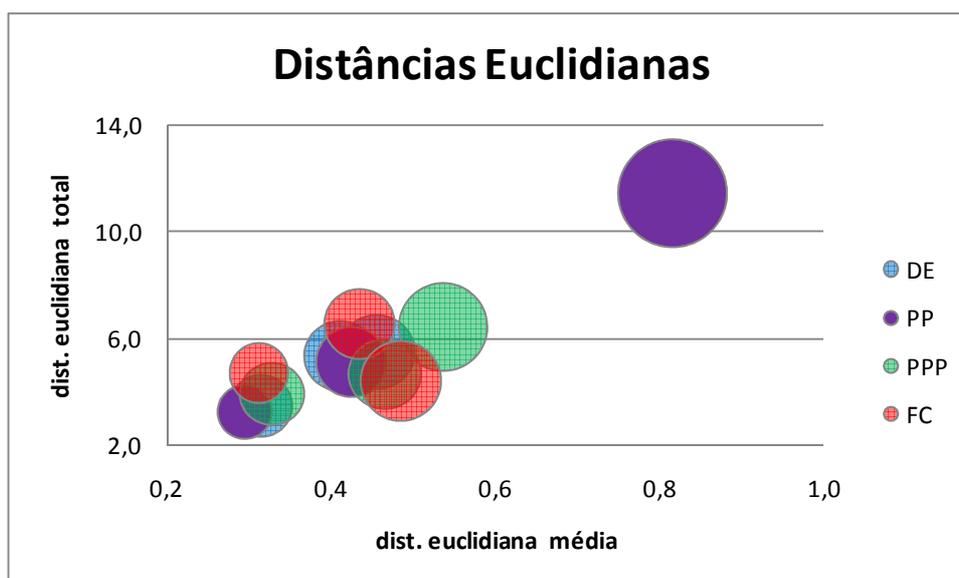
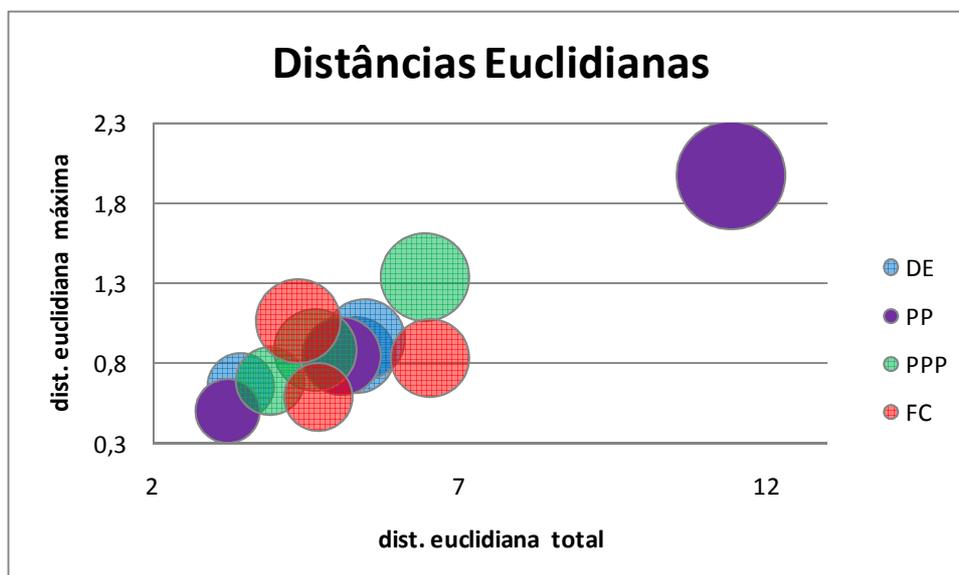
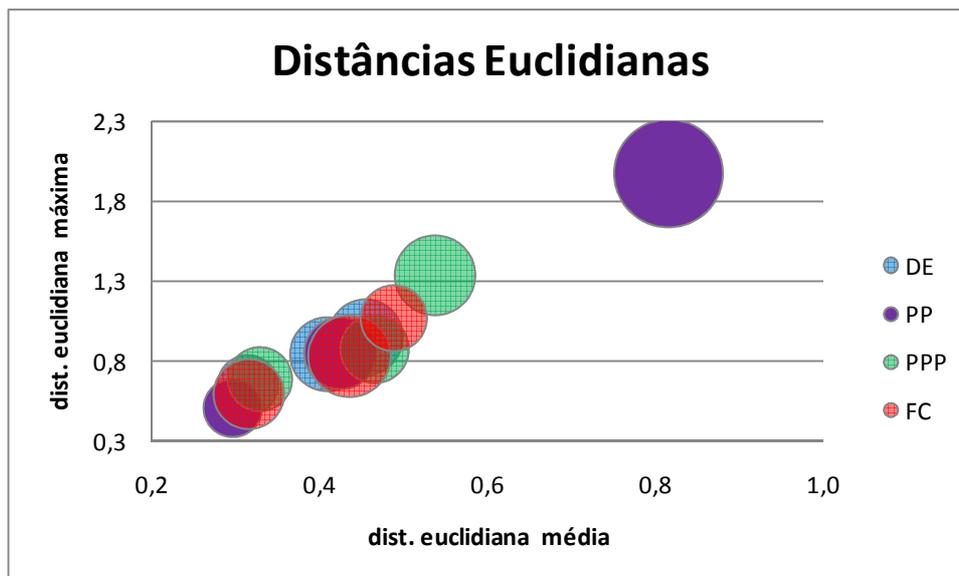


Distância Euclidiana Máxima



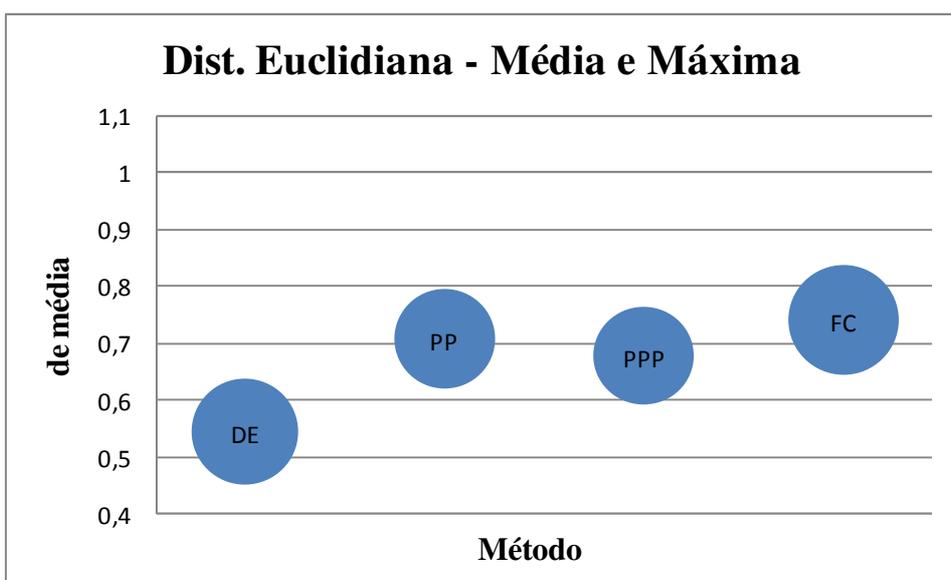
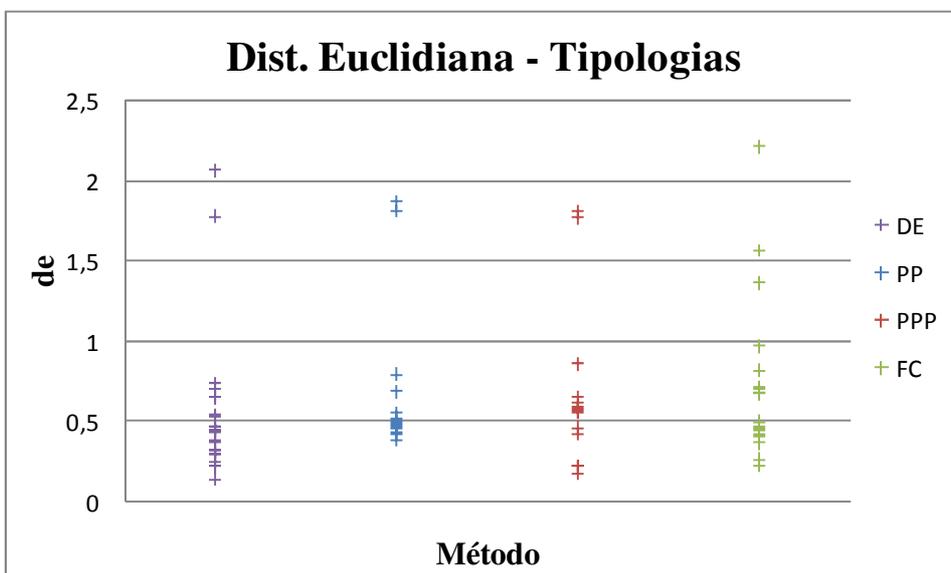
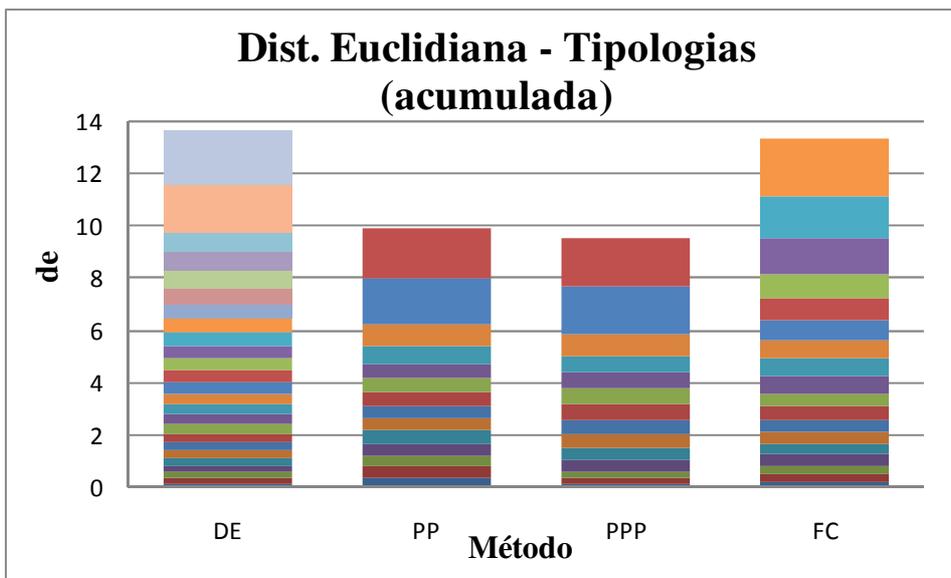
Distância Euclidiana Total





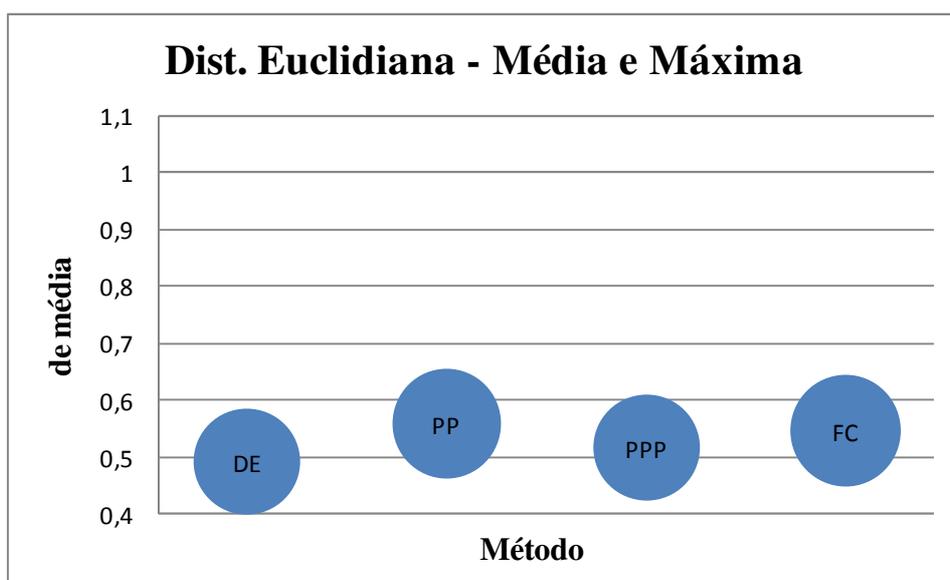
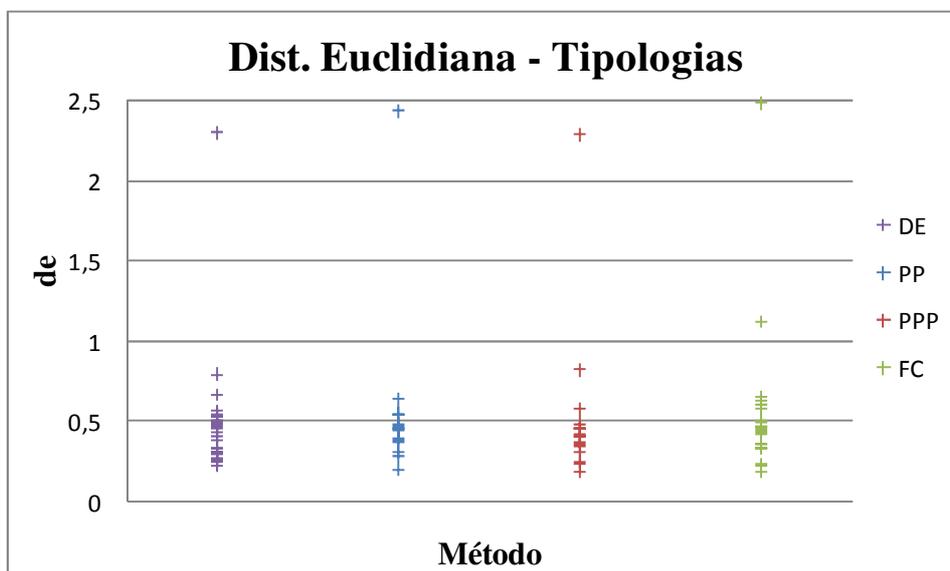
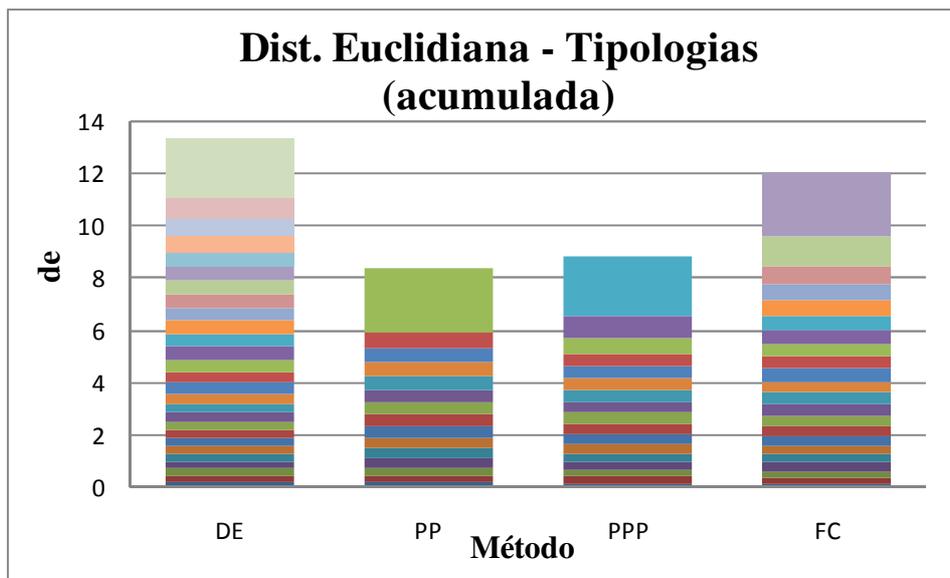
4.5 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo algoritmo do SAT

SA			
DE	PP	PPP	FC
0,1464	0,3874	0,1749	0,2317
0,2239	0,4220	0,2146	0,2679
0,2288	0,4338	0,2199	0,3718
0,2577	0,4592	0,4198	0,4117
0,2981	0,4725	0,4599	0,4244
0,3018	0,4791	0,5574	0,4467
0,3055	0,4963	0,5635	0,4613
0,3211	0,5067	0,5766	0,4764
0,3219	0,5211	0,5892	0,5011
0,3801	0,5499	0,6147	0,6765
0,3847	0,6879	0,6485	0,6822
0,4415	0,7937	0,8575	0,7118
0,4462	1,8141	1,7736	0,7155
0,4504	1,8703	1,8106	0,8232
0,4505			0,9721
0,4730			1,3677
0,4747			1,5665
0,5301			2,2148
0,5465			
0,6550			
0,6636			
0,7071			
0,7460			
1,7806			
2,0667			



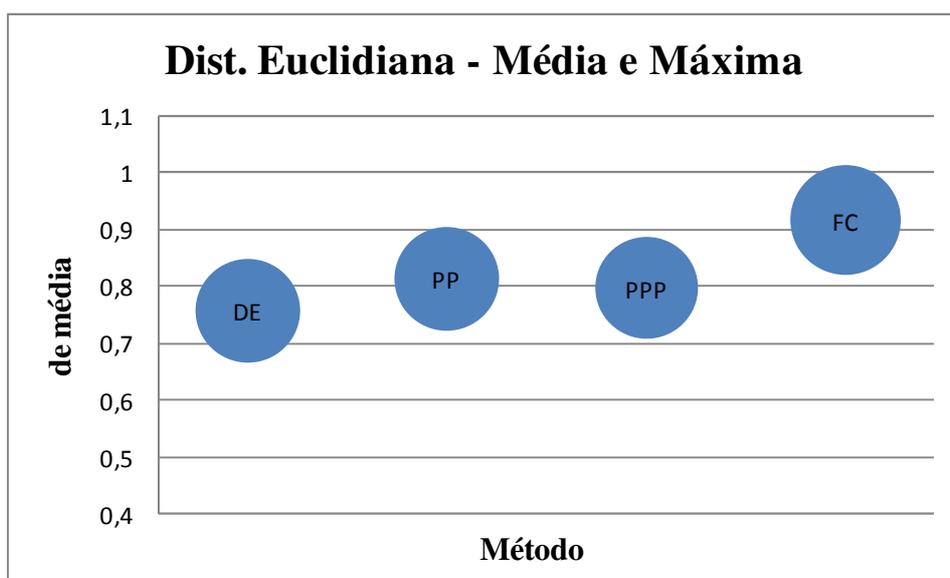
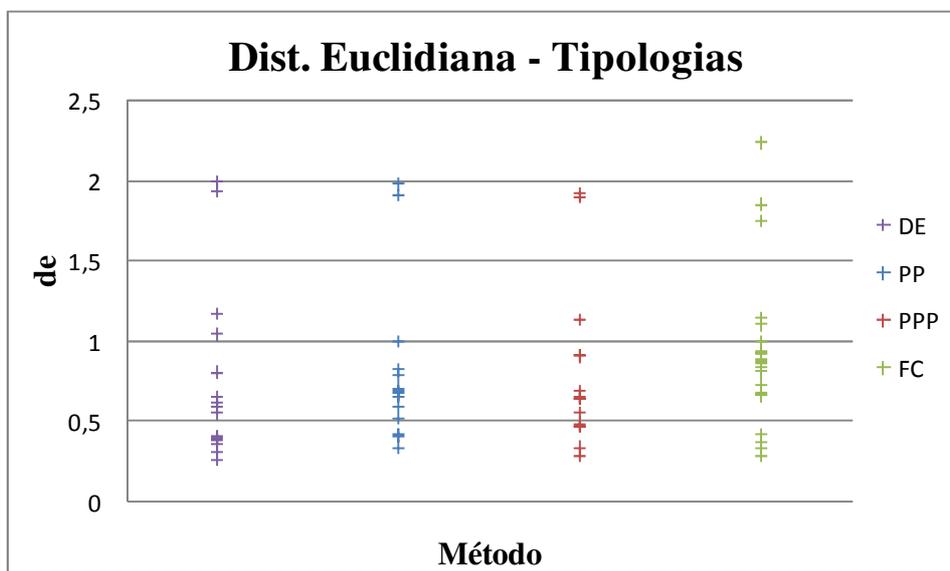
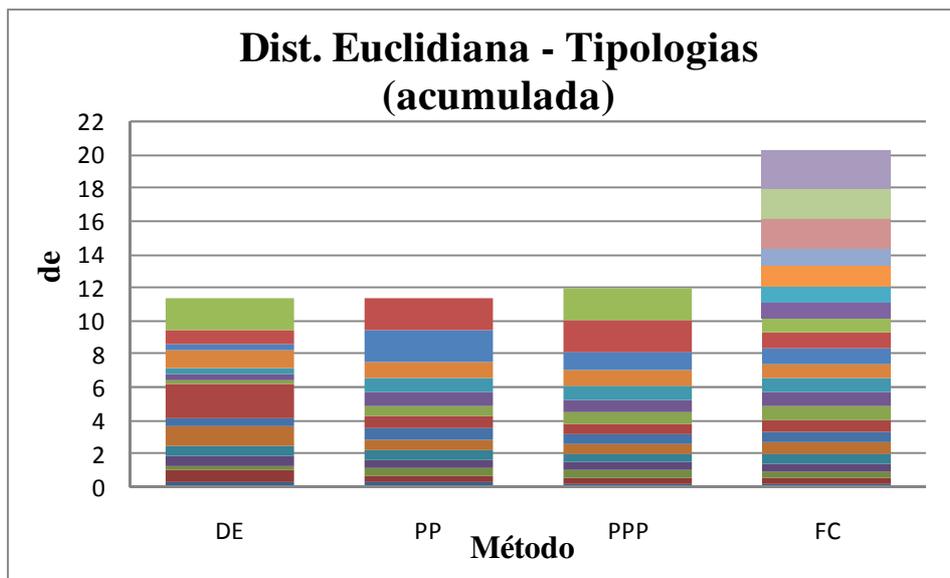
4.6 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo dia útil mais pesado

DU			
DE	PP	PPP	FC
0,2301	0,2001	0,1875	0,1861
0,2465	0,2868	0,2347	0,2185
0,2662	0,3070	0,2477	0,2311
0,2665	0,3722	0,3020	0,3307
0,2763	0,3803	0,3478	0,3328
0,2945	0,3932	0,3561	0,3360
0,3036	0,4438	0,3669	0,3504
0,3140	0,4515	0,4023	0,3538
0,3181	0,4587	0,4102	0,4113
0,3392	0,4630	0,4157	0,4241
0,3427	0,4815	0,4498	0,4447
0,3921	0,5425	0,4514	0,4491
0,4094	0,5458	0,4592	0,4631
0,4414	0,6333	0,4838	0,4652
0,4629	2,4304	0,5720	0,4943
0,4706		0,8211	0,5015
0,4872		2,2868	0,5817
0,4931			0,5990
0,5096			0,6212
0,5112			0,6478
0,5326			1,1208
0,5390			2,4856
0,5508			
0,5710			
0,6681			
0,7962			
2,3023			



4.7 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo maior impacto na ponta

MP			
DE	PP	PPP	FC
0,3795	0,3331	0,2849	0,2837
0,6441	0,4067	0,3364	0,3257
0,3041	0,4105	0,4665	0,3631
0,5810	0,5153	0,4671	0,4126
0,6094	0,5901	0,4816	0,6556
1,1649	0,6507	0,5507	0,6631
0,5448	0,6691	0,6375	0,6715
1,9298	0,6817	0,6393	0,7251
0,2588	0,6929	0,6556	0,8037
0,3928	0,7809	0,6839	0,8310
0,3987	0,8159	0,9045	0,8600
1,0374	0,9938	0,9087	0,8730
0,3480	1,9027	1,1314	0,8832
0,7986	1,9743	1,8984	0,9183
1,9850		1,9191	0,9224
			0,9356
			0,9911
			1,1003
			1,1375
			1,7441
			1,8448
			2,2317



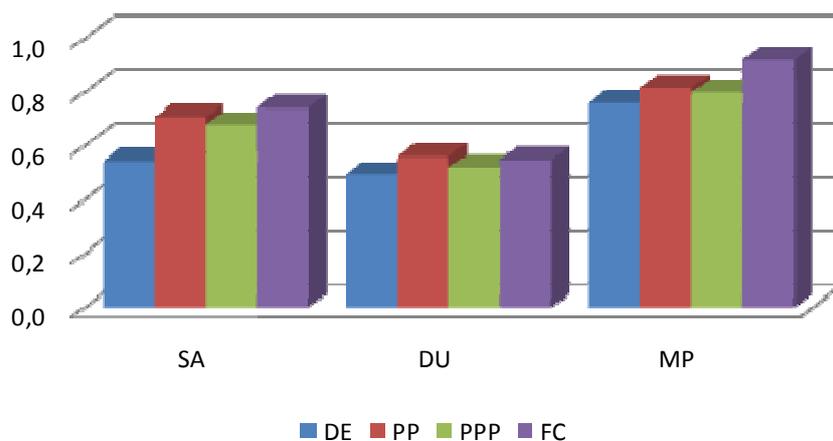
4.8 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de classificação, combinadas aos processos de seleção

SA			
DE	PP	PPP	FC
0,1464	0,3874	0,1749	0,2317
0,2239	0,4220	0,2146	0,2679
0,2288	0,4338	0,2199	0,3718
0,2577	0,4592	0,4198	0,4117
0,2981	0,4725	0,4599	0,4244
0,3018	0,4791	0,5574	0,4467
0,3055	0,4963	0,5635	0,4613
0,3211	0,5067	0,5766	0,4764
0,3219	0,5211	0,5892	0,5011
0,3801	0,5499	0,6147	0,6765
0,3847	0,6879	0,6485	0,6822
0,4415	0,7937	0,8575	0,7118
0,4462	1,8141	1,7736	0,7155
0,4504	1,8703	1,8106	0,8232
0,4505			0,9721
0,4730			1,3677
0,4747			1,5665
0,5301			2,2148
0,5465			
0,6550			
0,6636			
0,7071			
0,7460			
1,7806			
2,0667			

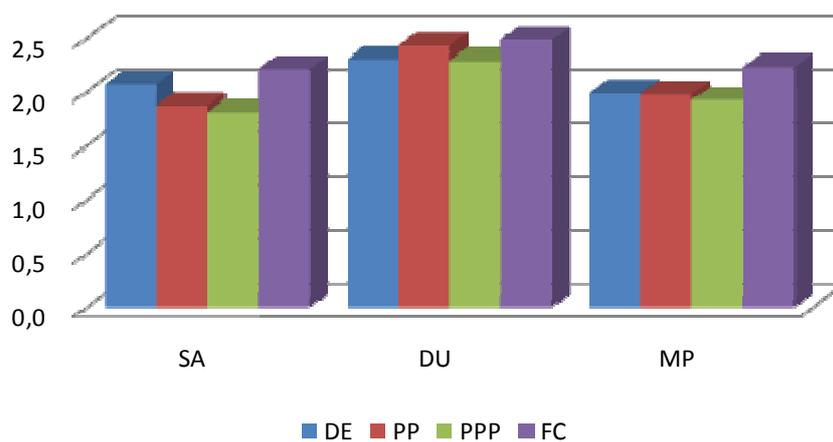
DU			
DE	PP	PPP	FC
0,2301	0,2001	0,1875	0,1861
0,2465	0,2868	0,2347	0,2185
0,2662	0,3070	0,2477	0,2311
0,2665	0,3722	0,3020	0,3307
0,2763	0,3803	0,3478	0,3328
0,2945	0,3932	0,3561	0,3360
0,3036	0,4438	0,3669	0,3504
0,3140	0,4515	0,4023	0,3538
0,3181	0,4587	0,4102	0,4113
0,3392	0,4630	0,4157	0,4241
0,3427	0,4815	0,4498	0,4447
0,3921	0,5425	0,4514	0,4491
0,4094	0,5458	0,4592	0,4631
0,4414	0,6333	0,4838	0,4652
0,4629	2,4304	0,5720	0,4943
0,4706		0,8211	0,5015
0,4872		2,2868	0,5817
0,4931			0,5990
0,5096			0,6212
0,5112			0,6478
0,5326			1,1208
0,5390			2,4856
0,5508			
0,5710			
0,6681			
0,7962			
2,3023			

MP			
DE	PP	PPP	FC
0,3795	0,3331	0,2849	0,2837
0,6441	0,4067	0,3364	0,3257
0,3041	0,4105	0,4665	0,3631
0,5810	0,5153	0,4671	0,4126
0,6094	0,5901	0,4816	0,6556
1,1649	0,6507	0,5507	0,6631
0,5448	0,6691	0,6375	0,6715
1,9298	0,6817	0,6393	0,7251
0,2588	0,6929	0,6556	0,8037
0,3928	0,7809	0,6839	0,8310
0,3987	0,8159	0,9045	0,8600
1,0374	0,9938	0,9087	0,8730
0,3480	1,9027	1,1314	0,8832
0,7986	1,9743	1,8984	0,9183
1,9850		1,9191	0,9224
			0,9356
			0,9911
			1,1003
			1,1375
			1,7441
			1,8448
			2,2317

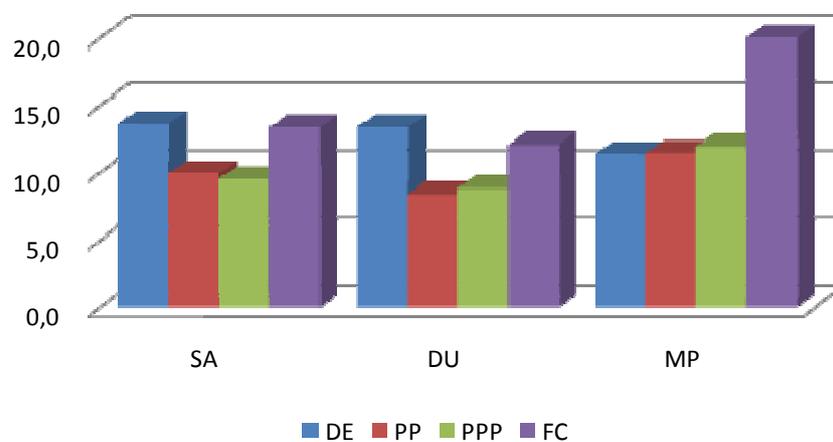
Distância Euclidiana Média

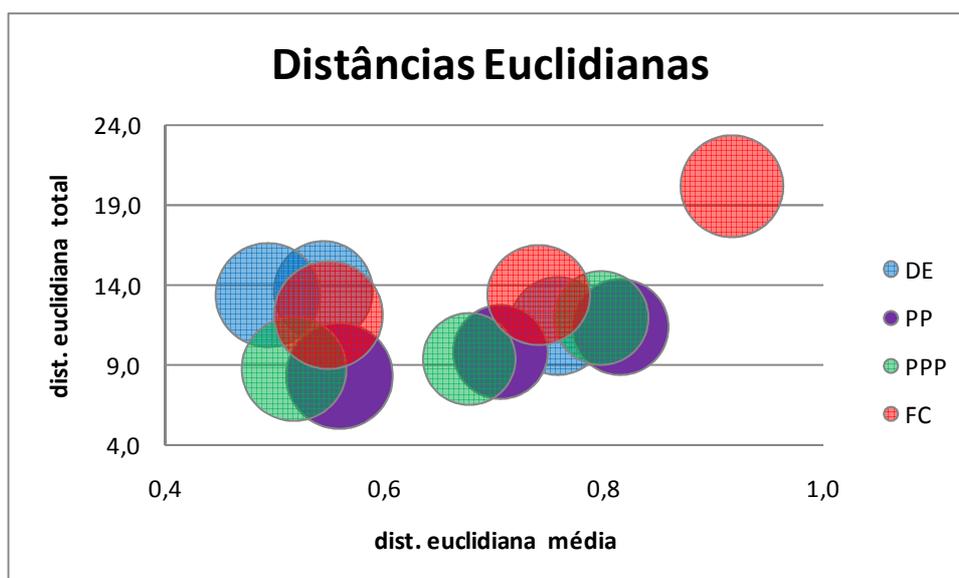
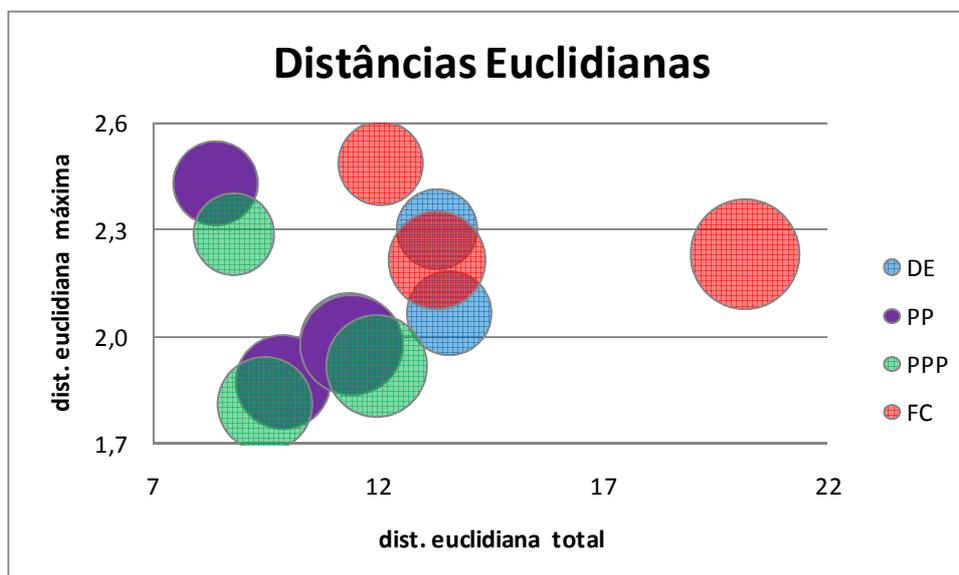
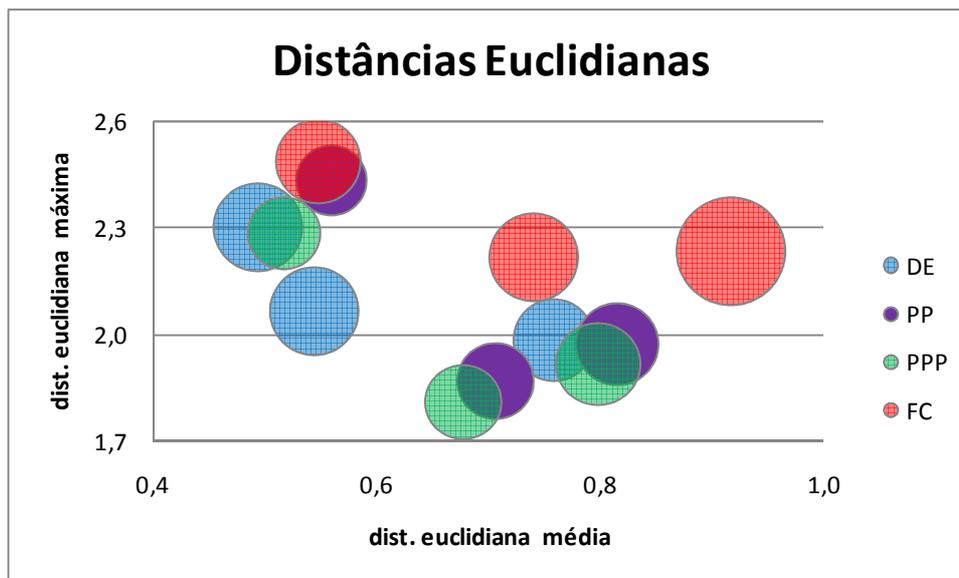


Distância Euclidiana Máxima



Distância Euclidiana Total





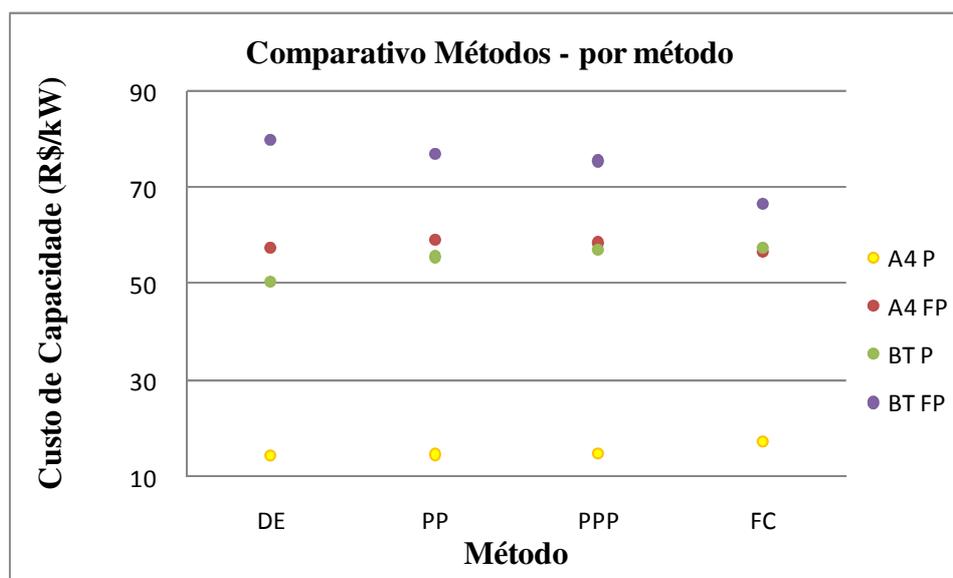
ANEXO 5 – RESULTADOS DOS TESTES – CLASSIFICAÇÃO DE DADOS – CUSTOS DE CAPACIDADE

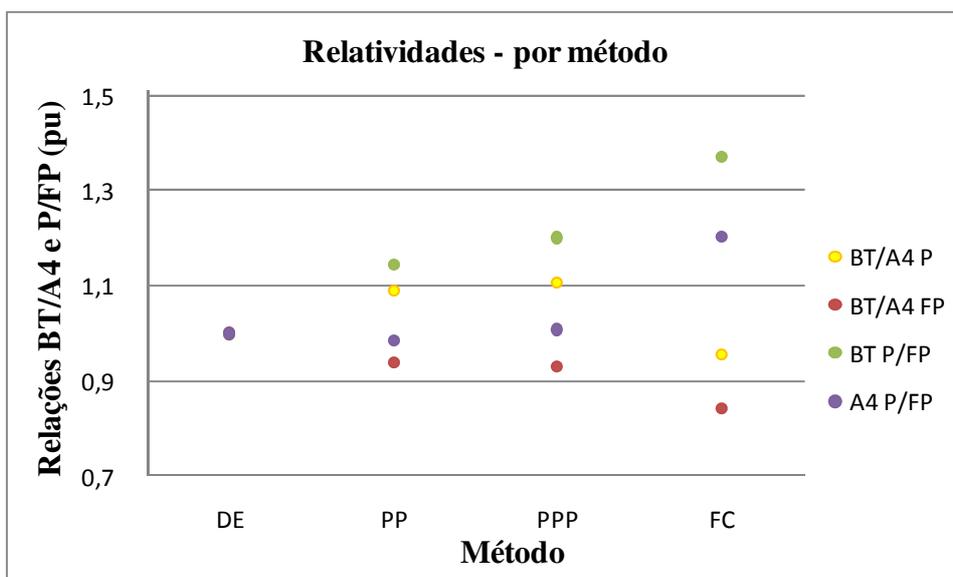
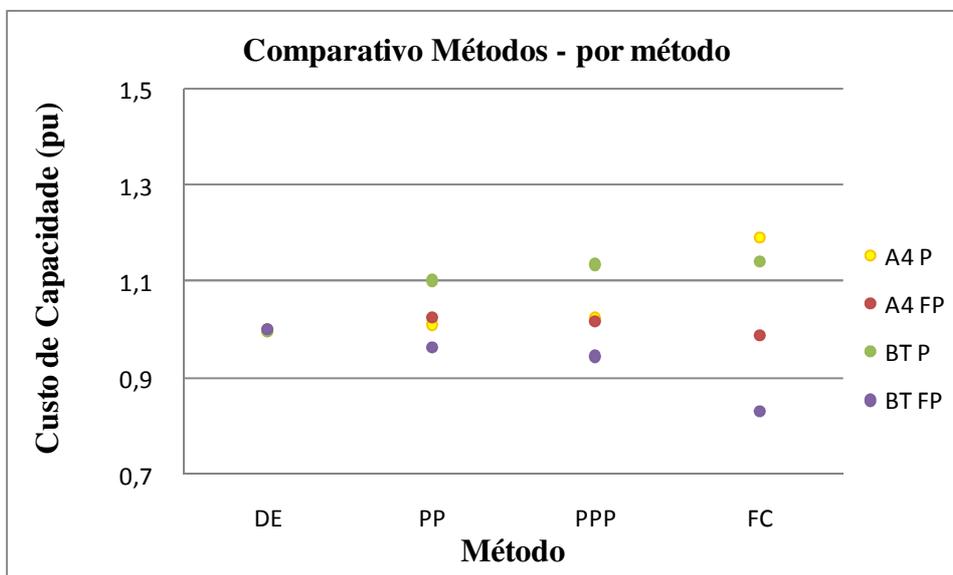
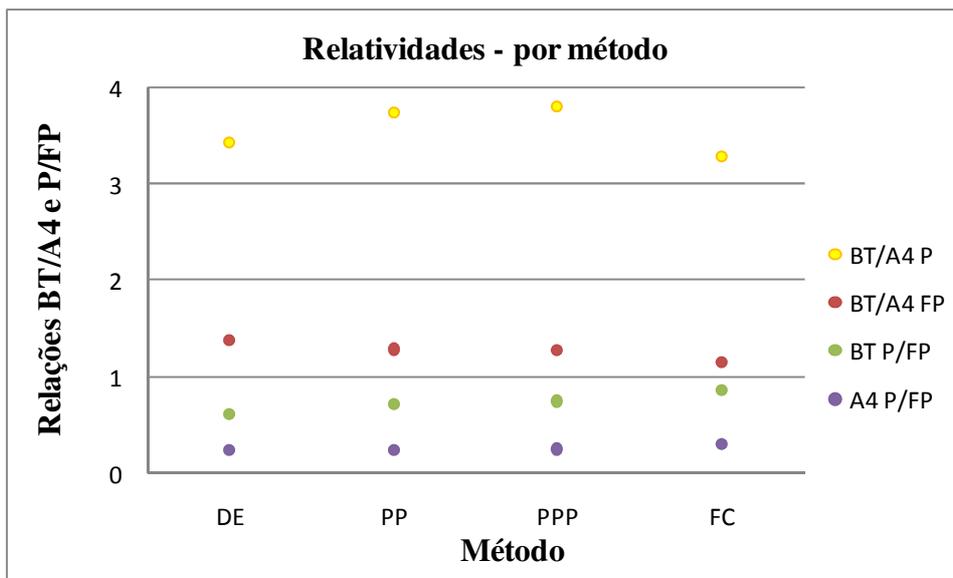
Este anexo apresenta os resultados obtidos nos testes realizados (para duas empresas concessionárias) nos processos de classificação de curvas características, com a comparação através dos custos de capacidade⁸. Para cada método apresentado são ilustrados os dados e gráficos dos custos de capacidade e das relatividades entre as combinações BT/A4 x P/FP, em valores absolutos e em pu - por unidade (os cálculos em pu foram realizados apenas para a concessionária “A”). As abreviações SA, DU e MP indicam a metodologia de seleção, respectivamente, algoritmo do SAT, dia útil mais pesado e maior impacto na ponta. Os métodos de classificação são identificados por: DE (nuvens dinâmicas – distância euclidiana), PP (nuvens dinâmicas – ponto a ponto), PPP (nuvens dinâmicas – ponto a ponto ponderado) e FC (nuvens dinâmicas – fator de carga).

⁸ No processo de cálculo dos custos marginais, as relatividades entre os níveis tarifários foram idênticas aos valores de referência da Aneel (BT – 5, A4 - 3, A3 – 3,65, A3a – 2,99 e A2 – 4,35).

5.1 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo algoritmo do SAT

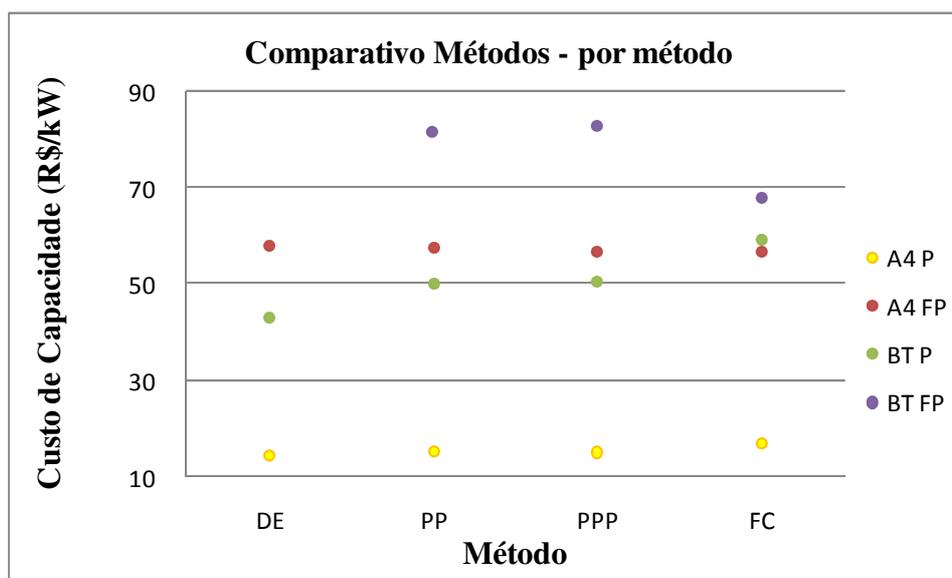
	DE	PP	PPP	FC
A4 P	14,70	14,89	15,09	17,50
A4 FP	57,61	59,22	58,69	56,96
BT P	50,60	55,85	57,49	57,72
BT FP	80,14	77,24	75,75	66,65
Relatividades				
BT/A4 P	3,442177	3,750839	3,809808	3,298286
BT/A4 FP	1,391078	1,304289	1,29068	1,170119
BT P/FP	0,631395	0,723071	0,758944	0,866017
A4 P/FP	0,255164	0,251435	0,257114	0,307233
PU da DE				
	DE	PP	PPP	FC
A4 P	1,00	1,01	1,03	1,19
A4 FP	1,00	1,03	1,02	0,99
BT P	1,00	1,10	1,14	1,14
BT FP	1,00	0,96	0,95	0,83
Relatividades				
BT/A4 P	1,00	1,09	1,11	0,96
BT/A4 FP	1,00	0,94	0,93	0,84
BT P/FP	1,00	1,15	1,20	1,37
A4 P/FP	1,00	0,99	1,01	1,20

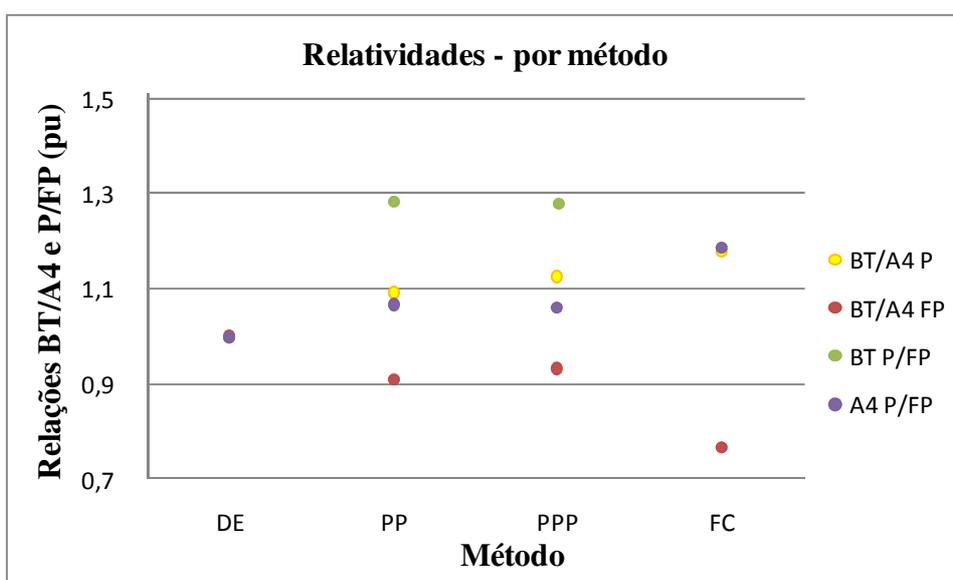
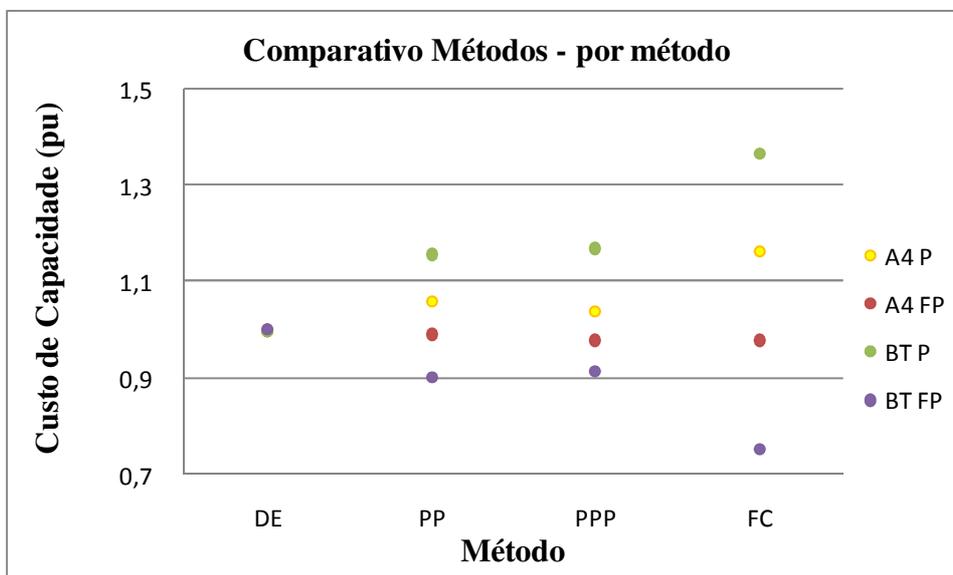
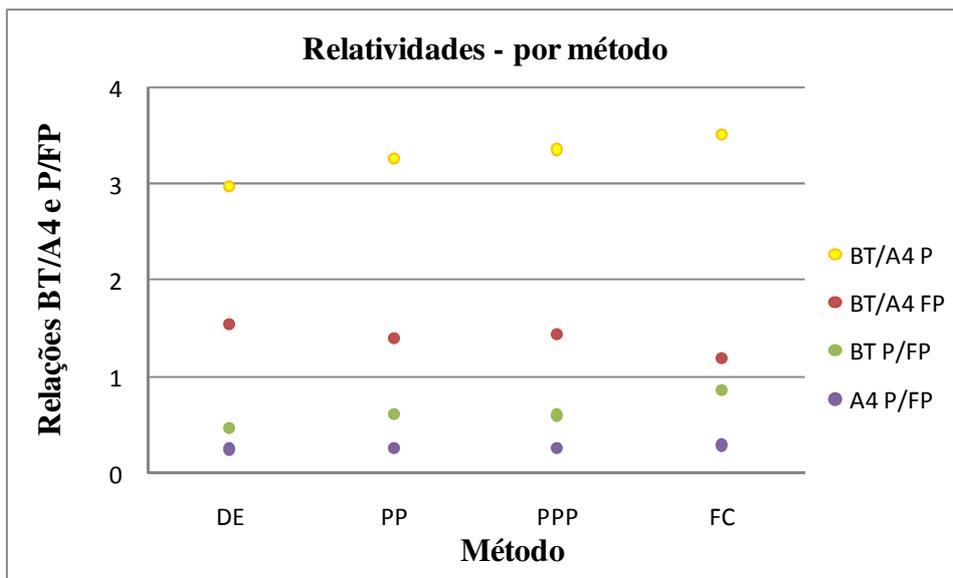




5.2 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo dia útil mais pesado

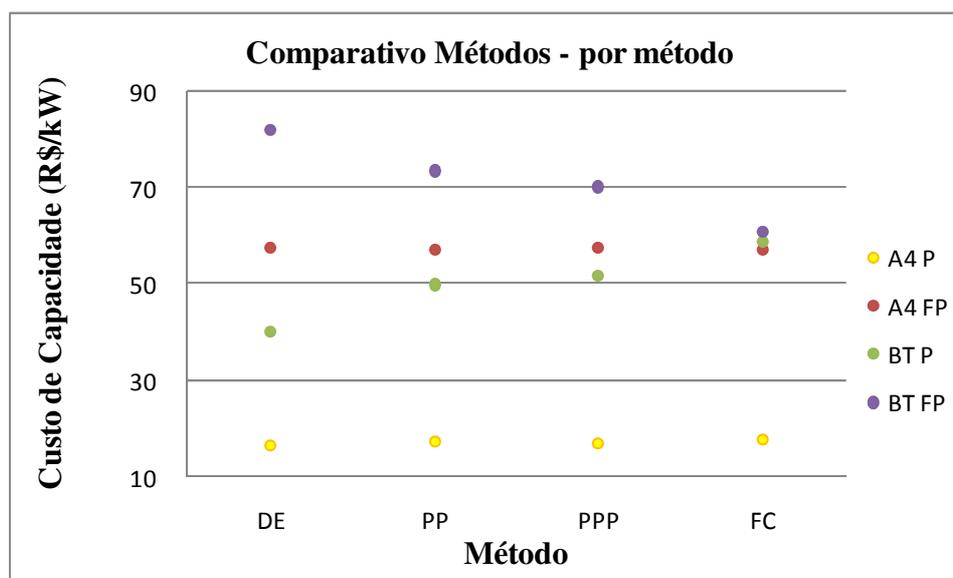
	DE	PP	PPP	FC
A4 P	14,51	15,37	15,09	16,85
A4 FP	58,12	57,66	56,98	56,90
BT P	43,40	50,23	50,76	59,25
BT FP	90,45	81,57	82,66	68,07
Relatividades				
BT/A4 P	2,991041	3,268055	3,363817	3,51632
BT/A4 FP	1,556263	1,414672	1,450684	1,196309
BT P/FP	0,479823	0,61579	0,614082	0,870428
A4 P/FP	0,249656	0,266563	0,26483	0,296134
PU da DE				
	DE	PP	PPP	FC
A4 P	1,00	1,06	1,04	1,16
A4 FP	1,00	0,99	0,98	0,98
BT P	1,00	1,16	1,17	1,37
BT FP	1,00	0,90	0,91	0,75
Relatividades				
BT/A4 P	1,00	1,09	1,12	1,18
BT/A4 FP	1,00	0,91	0,93	0,77
BT P/FP	1,00	1,28	1,28	1,81
A4 P/FP	1,00	1,07	1,06	1,19

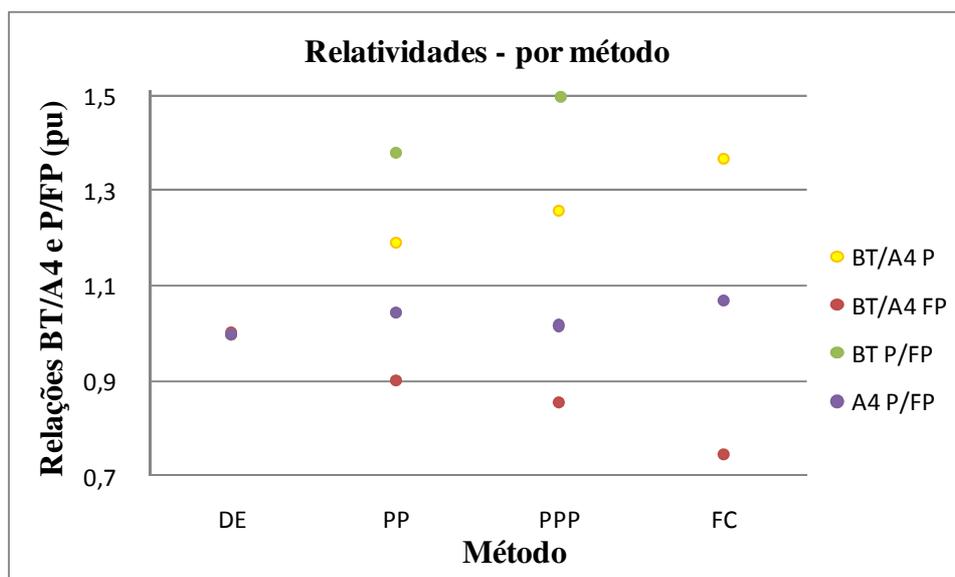
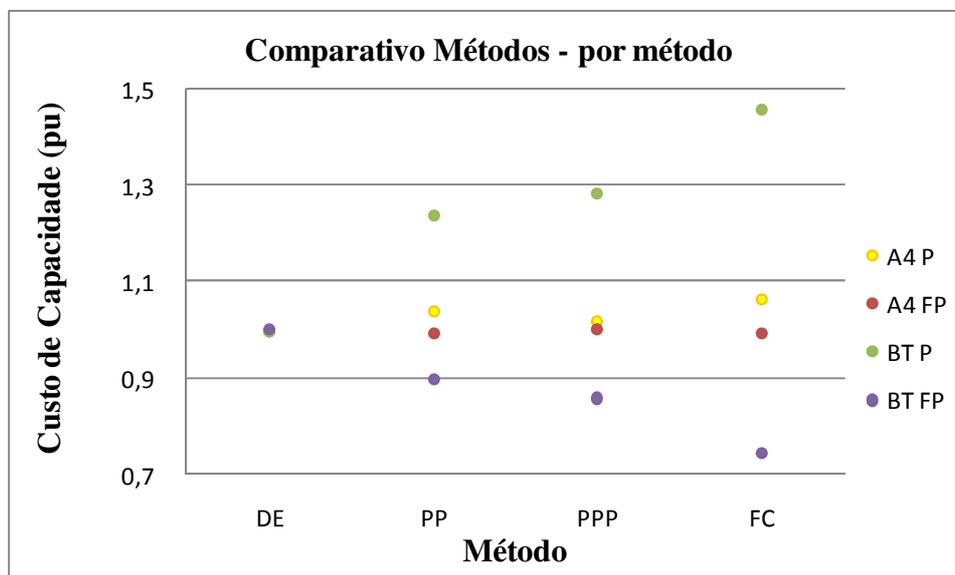
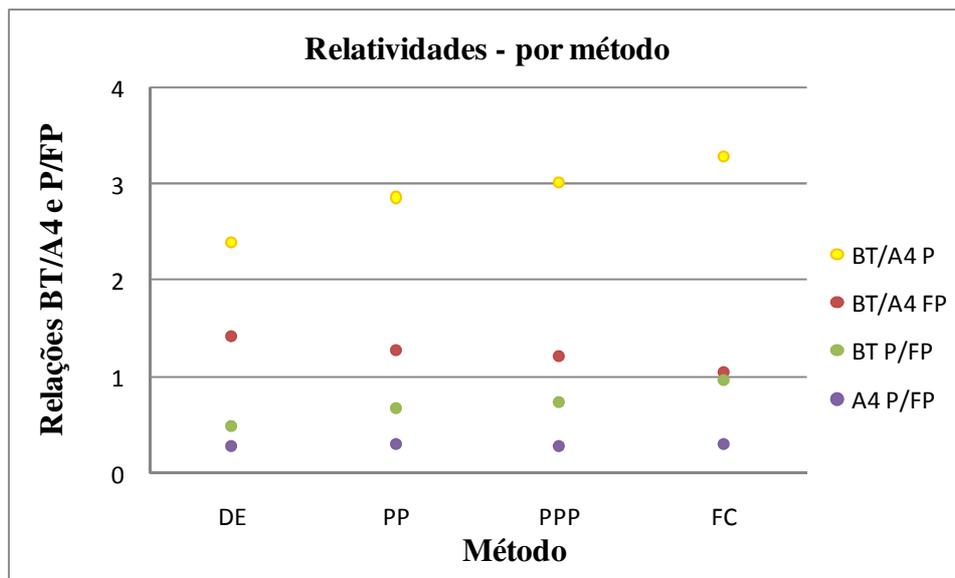




5.3 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo maior impacto na ponta

	DE	PP	PPP	FC
A4 P	16,80	17,47	17,14	17,89
A4 FP	57,41	57,18	57,54	57,17
BT P	40,39	50,07	51,87	58,84
BT FP	82,02	73,69	70,36	61,10
Relatividades				
BT/A4 P	2,404167	2,866056	3,026254	3,288988
BT/A4 FP	1,428671	1,288737	1,222802	1,068742
BT P/FP	0,492441	0,679468	0,737209	0,963011
A4 P/FP	0,292632	0,305526	0,29788	0,312926
PU da DE				
	DE	PP	PPP	FC
A4 P	1,00	1,04	1,02	1,06
A4 FP	1,00	1,00	1,00	1,00
BT P	1,00	1,24	1,28	1,46
BT FP	1,00	0,90	0,86	0,74
Relatividades				
BT/A4 P	1,00	1,19	1,26	1,37
BT/A4 FP	1,00	0,90	0,86	0,75
BT P/FP	1,00	1,38	1,50	1,96
A4 P/FP	1,00	1,04	1,02	1,07



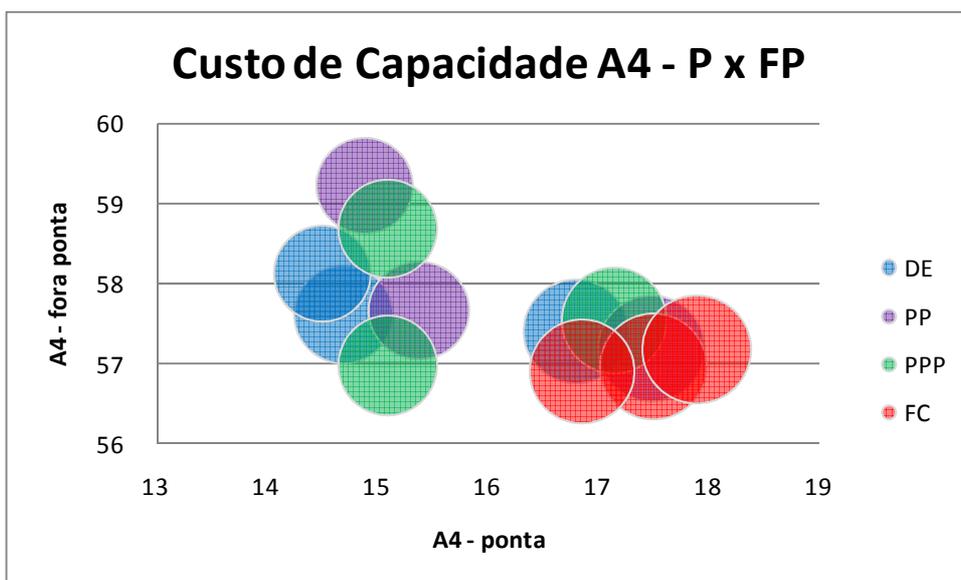
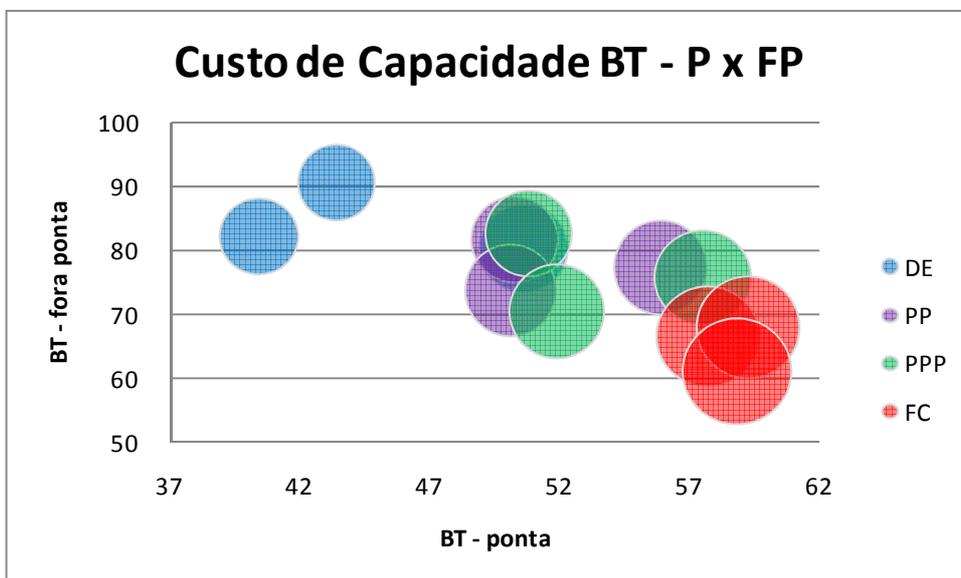
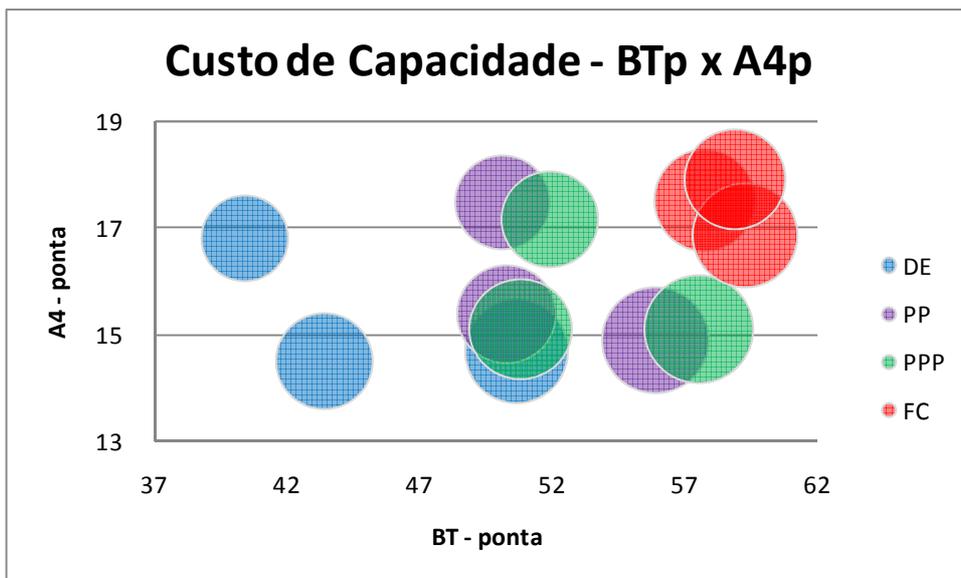


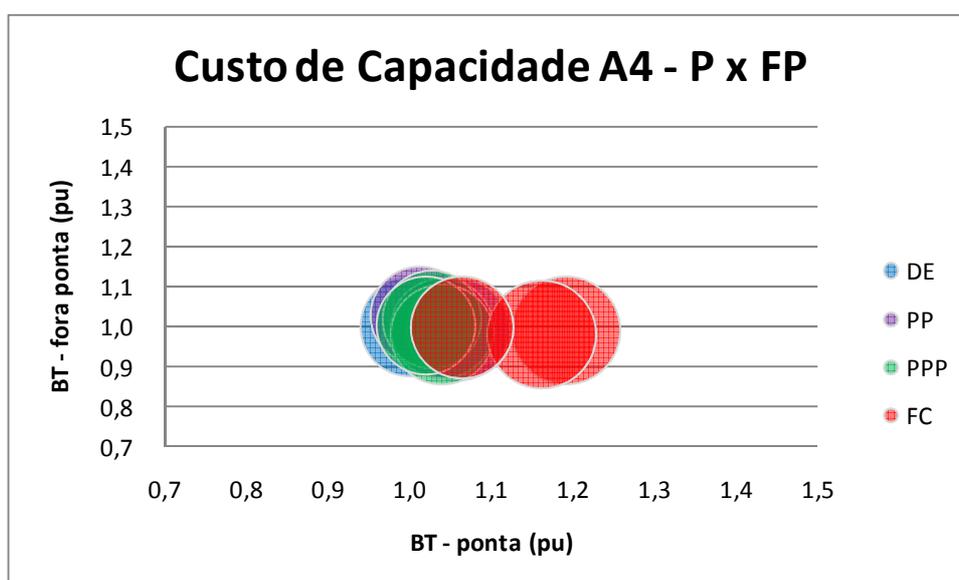
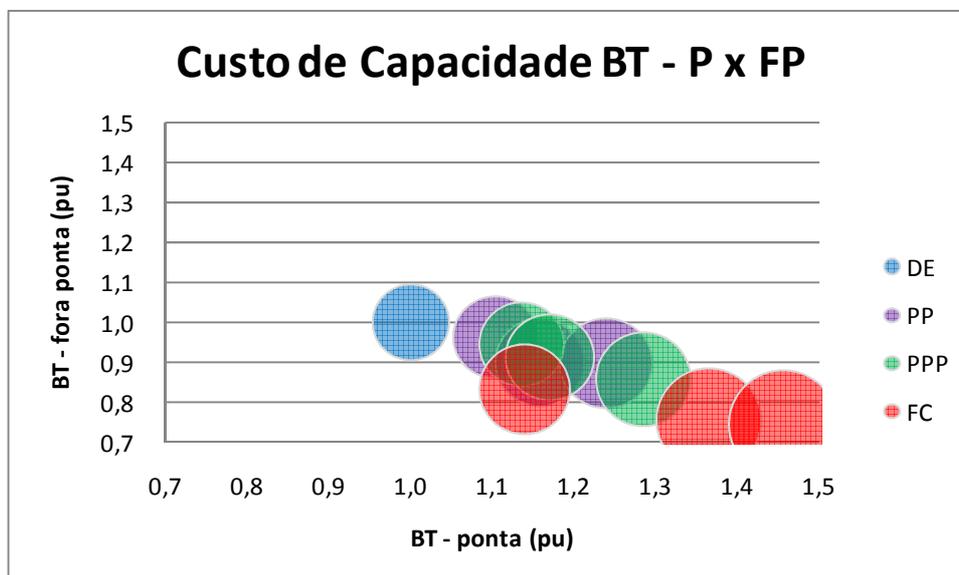
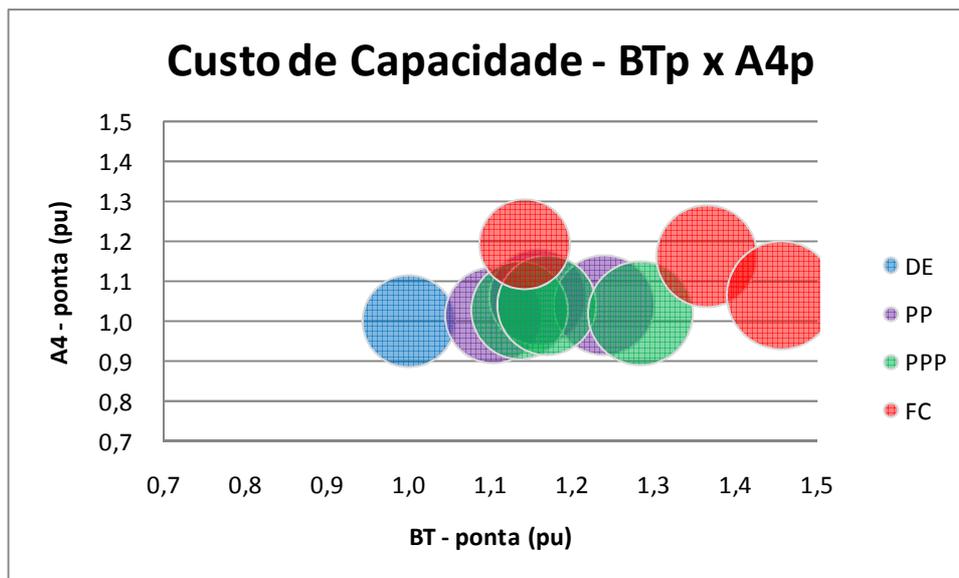
5.4 Concessionária “A” - Comparativo das metodologias de classificação, combinadas aos processos de seleção

	SA			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	14,70	14,89	15,09	17,50
A4 FP	57,61	59,22	58,69	56,96
BT P	50,60	55,85	57,49	57,72
BT FP	80,14	77,24	75,75	66,65
Relatividades				
BT/A4 P	3,442177	3,750839	3,809808	3,298286
BT/A4 FP	1,391078	1,304289	1,290680	1,170119
BT P/FP	0,631395	0,723071	0,758944	0,866017
A4 P/FP	0,255164	0,251435	0,257114	0,307233
Em PU da DE				
	SA			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	1	1,012925	1,026531	1,190476
A4 FP	1	1,027947	1,018747	0,988717
BT P	1	1,103755	1,136166	1,140711
BT FP	1	0,963813	0,945221	0,831670
Relatividades				
BT/A4 P	1	1,089671	1,106802	0,958198
BT/A4 FP	1	0,937610	0,927827	0,841160
BT P/FP	1	1,145196	1,202011	1,371592
A4 P/FP	1	0,985387	1,007641	1,204061

	DU			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	14,51	15,37	15,09	16,85
A4 FP	58,12	57,66	56,98	56,90
BT P	43,40	50,23	50,76	59,25
BT FP	90,45	81,57	82,66	68,07
Relatividades				
BT/A4 P	2,991041	3,268055	3,363817	3,516320
BT/A4 FP	1,556263	1,414672	1,450684	1,196309
BT P/FP	0,479823	0,615790	0,614082	0,870428
A4 P/FP	0,249656	0,266563	0,264830	0,296134
Em PU da DE				
	DU			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	1,000000	1,059269	1,039972	1,161268
A4 FP	1,000000	0,992085	0,980385	0,979009
BT P	1,000000	1,157373	1,169585	1,365207
BT FP	1,000000	0,901824	0,913875	0,752570
Relatividades				
BT/A4 P	1,000000	1,092615	1,124631	1,175618
BT/A4 FP	1,000000	0,909019	0,932159	0,768706
BT P/FP	1,000000	1,283369	1,279809	1,814059
A4 P/FP	1,000000	1,067720	1,060779	1,186167

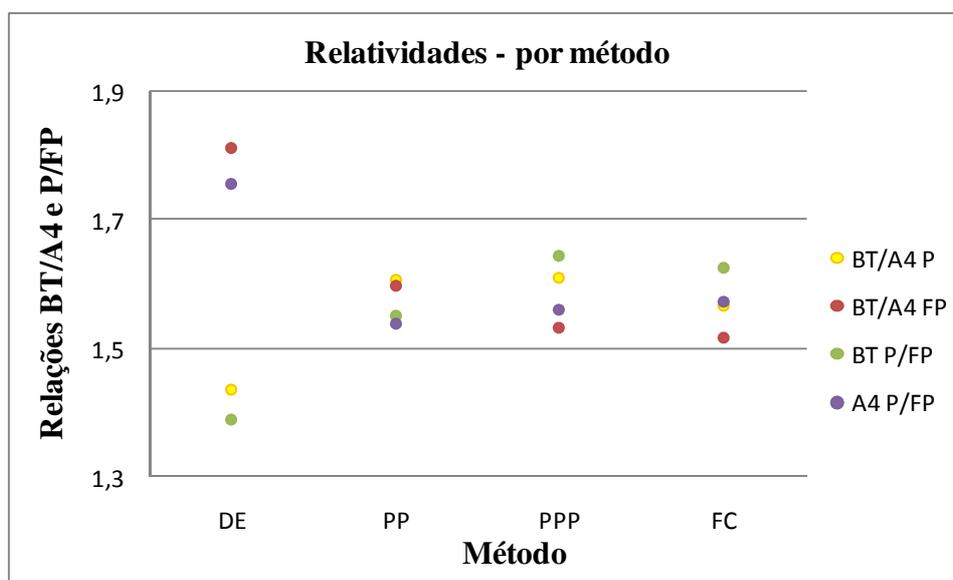
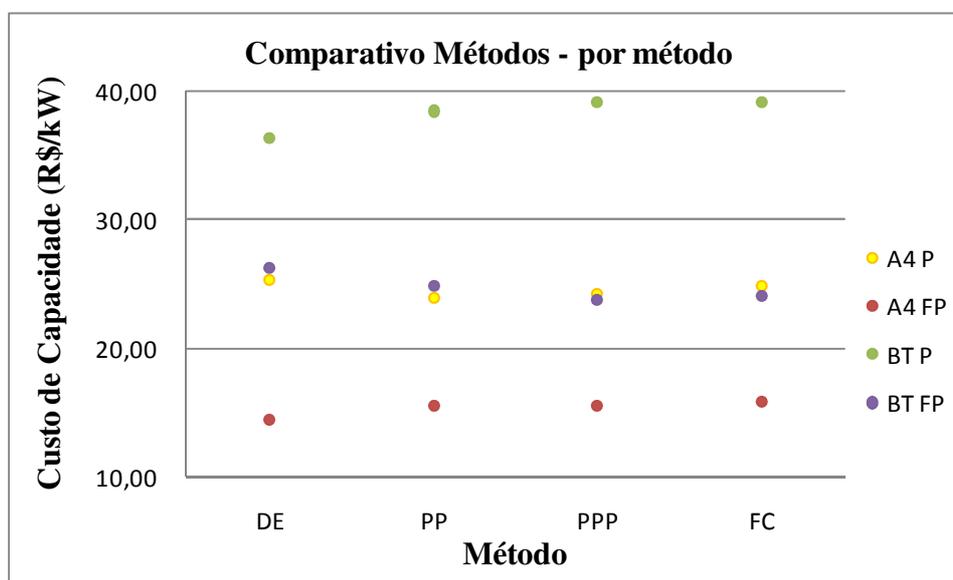
	MP			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	16,80	17,47	17,14	17,89
A4 FP	57,41	57,18	57,54	57,17
BT P	40,39	50,07	51,87	58,84
BT FP	82,02	73,69	70,36	61,10
Relatividades				
BT/A4 P	2,404167	2,866056	3,026254	3,288988
BT/A4 FP	1,428671	1,288737	1,222802	1,068742
BT P/FP	0,492441	0,679468	0,737209	0,963011
A4 P/FP	0,292632	0,305526	0,297880	0,312926
Em PU da DE				
	MP			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	1,000000	1,039881	1,020238	1,064881
A4 FP	1,000000	0,995994	1,002264	0,995820
BT P	1,000000	1,239663	1,284229	1,456796
BT FP	1,000000	0,898439	0,857840	0,744940
Relatividades				
BT/A4 P	1,000000	1,192120	1,258754	1,368037
BT/A4 FP	1,000000	0,902053	0,855901	0,748068
BT P/FP	1,000000	1,379796	1,497050	1,955588
A4 P/FP	1,000000	1,044064	1,017933	1,069351





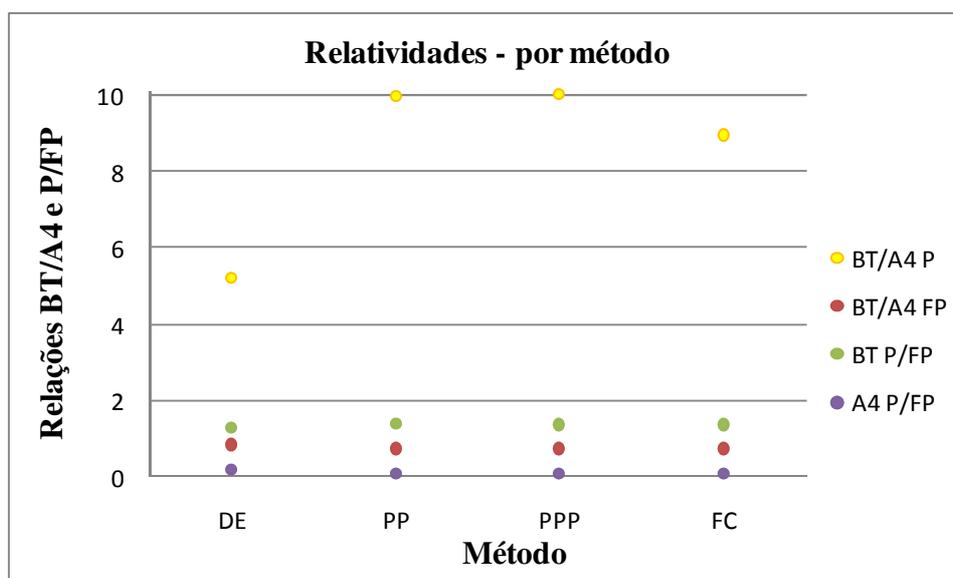
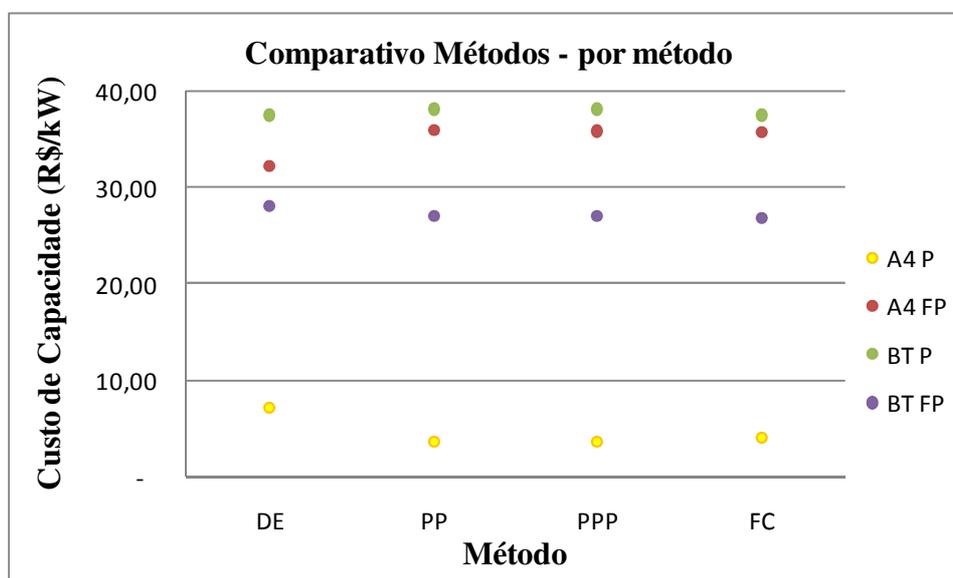
5.5 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo algoritmo do SAT

	DE	PP	PPP	FC
A4 P	25,41	23,95	24,30	24,99
A4 FP	14,48	15,54	15,55	15,88
BT P	36,48	38,52	39,15	39,16
BT FP	26,25	24,83	23,82	24,09
Relatividades				
BT/A4 P	1,435655	1,608351	1,611111	1,567027
BT/A4 FP	1,812845	1,597812	1,531833	1,517003
BT P/FP	1,389714	1,551349	1,643577	1,625571
A4 P/FP	1,754834	1,541184	1,562701	1,573678



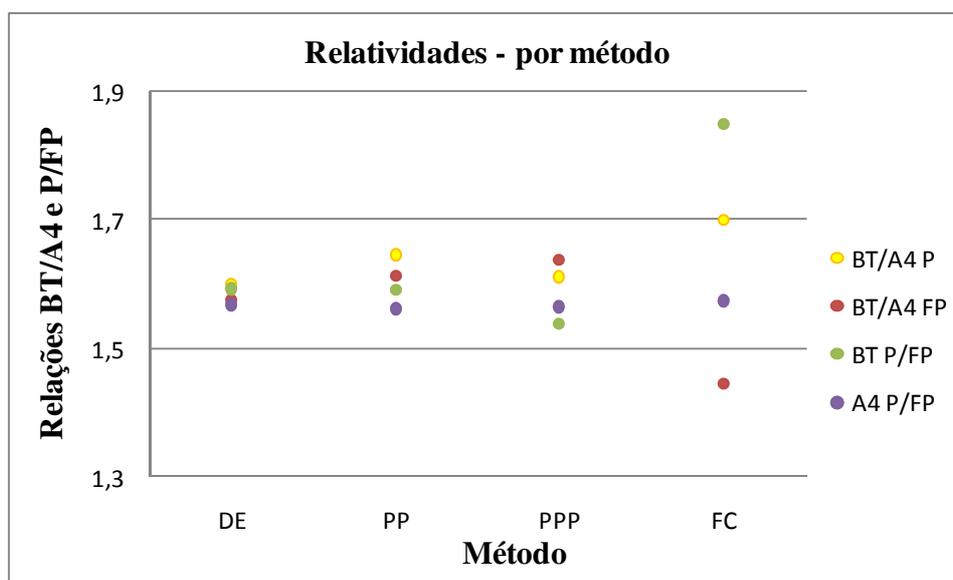
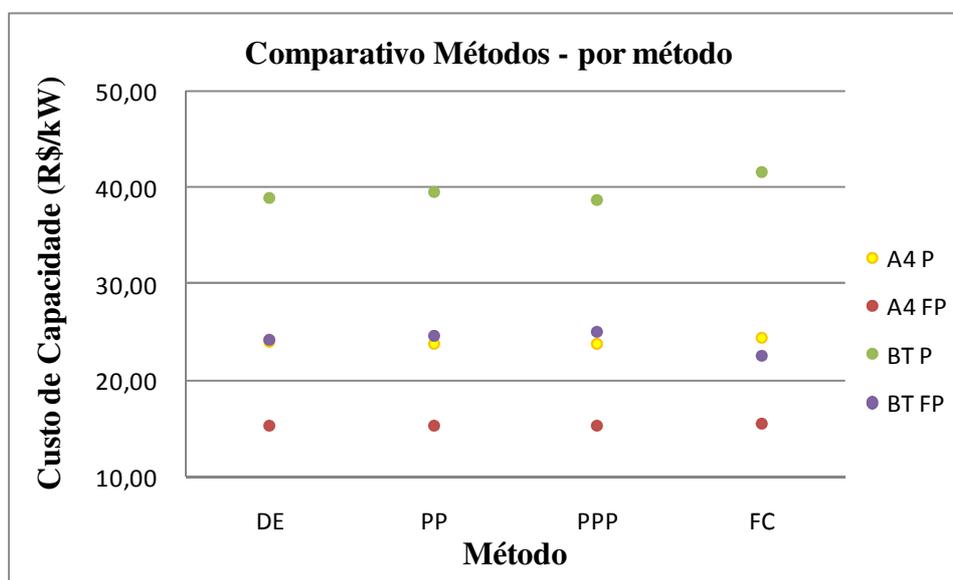
5.6 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo dia útil mais pesado

	DE	PP	PPP	FC
A4 P	7,19	3,82	3,81	4,19
A4 FP	32,38	35,94	35,86	35,81
BT P	37,51	38,12	38,18	37,51
BT FP	28,23	27,09	27,17	26,92
Relatividades				
BT/A4 P	5,216968	9,979058	10,021	8,952267
BT/A4 FP	0,871834	0,753756	0,757669	0,751745
BT P/FP	1,328728	1,407161	1,405226	1,393388
A4 P/FP	0,222051	0,106288	0,106247	0,117006



5.7 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de classificação, com seleção pelo maior impacto na ponta

	DE	PP	PPP	FC
A4 P	24,25	24,00	24,02	24,56
A4 FP	15,45	15,36	15,35	15,60
BT P	38,83	39,50	38,72	41,74
BT FP	24,36	24,79	25,14	22,56
Relatividades				
BT/A4 P	1,601237	1,645833	1,61199	1,699511
BT/A4 FP	1,576699	1,613932	1,637785	1,446154
BT P/FP	1,594007	1,593384	1,540175	1,850177
A4 P/FP	1,569579	1,5625	1,564821	1,574359



5.8 Concessionária “B” - Comparativo das metodologias de classificação, combinadas aos processos de seleção

	SA			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	25,41	23,95	24,30	24,99
A4 FP	14,48	15,54	15,55	15,88
BT P	36,48	38,52	39,15	39,16
BT FP	26,25	24,83	23,82	24,09
Relatividades				
BT/A4 P	1,435655	1,608351	1,611111	1,567027
BT/A4 FP	1,812845	1,597812	1,531833	1,517003
BT P/FP	1,389714	1,551349	1,643577	1,625571
A4 P/FP	1,754834	1,541184	1,562701	1,573678

	DU			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	7,19	3,82	3,81	4,19
A4 FP	32,38	35,94	35,86	35,81
BT P	37,51	38,12	38,18	37,51
BT FP	28,23	27,09	27,17	26,92
Relatividades				
BT/A4 P	5,216968	9,979058	10,021	8,952267
BT/A4 FP	0,871834	0,753756	0,757669	0,751745
BT P/FP	1,328728	1,407161	1,405226	1,393388
A4 P/FP	0,222051	0,106288	0,106247	0,117006

	MP			
Custo de Capacidade	DE	PP	PPP	FC
A4 P	24,25	24,00	24,02	24,56
A4 FP	15,45	15,36	15,35	15,60
BT P	38,83	39,50	38,72	41,74
BT FP	24,36	24,79	25,14	22,56
Relatividades				
BT/A4 P	1,601237	1,645833	1,61199	1,699511
BT/A4 FP	1,576699	1,613932	1,637785	1,446154
BT P/FP	1,594007	1,593384	1,540175	1,850177
A4 P/FP	1,569579	1,5625	1,564821	1,574359

