



XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Leonardo Ferreira de Moura	Madson Santos Chaves de Melo
Companhia Energética de Pernambuco	Companhia Energética de Pernambuco
leonardo.moura@celpe.com.br	msmelo@celpe.com.br

Otimização da logística das equipes do plantão através da aplicação da teoria das filas - Caso Celpe

Palavras-chave

Celpe
Equipes
Logística
Otimização
Plantão
Teoria das Filas

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar o modelo desenvolvido pela Celpe para otimização da logística das equipes do plantão emergencial bem como os resultados obtidos. A necessidade de encontrarmos o ponto de equilíbrio entre a demanda x capacidade de atendimento motivou o estudo da teoria das filas e o desenvolvimento de uma ferramenta para auxílio à tomada de decisão e obtenção do melhor gerenciamento da logística das equipes do plantão. Os resultados obtidos após a aplicação da ferramenta indicaram um aumento significativo da capacidade de atendimento sem acréscimo de novas equipes/custo no processo através da adequação das escalas de trabalho. Também possibilitou o redimensionamento das áreas geoeletricas de atendimento melhorando o tempo de deslocamento das equipes e tornando a distribuição das ocorrências mais equânimes. Por fim, a ferramenta foi utilizada para o planejamento estratégico de enfrentamento aos períodos de maior demanda sazonal indicando as regiões que precisam de reforço da estrutura e as regiões que podem ceder equipes para apoio aos atendimentos neste período.

1. Introdução

Um dos grandes desafios enfrentados pelas distribuidoras de energia elétrica reside na melhor utilização de sua logística para atendimento às solicitações dos seus clientes.

Buscamos então propor neste trabalho um modelo de otimização da logística das equipes de atendimento por área geoeletrica, através da adequação das escalas de trabalhos das equipes distribuindo-as nos horários de

maior demanda, conseqüentemente obtivemos uma diminuição da ociosidade média das equipes e o aumento da média de ocorrências atendidas por turno.

Realizamos uma análise da demanda horária de cada área geométrica de atendimento e nos locais onde foram identificados desequilíbrios entre a demanda x capacidade, efetuamos deslocamentos de bairros/localidades/municípios para uma melhor distribuição das ocorrências. Ainda foram verificadas as áreas de grande densidade de ocorrências e a necessidade de criação de novas áreas geométricas, trazendo como principal benefício a melhoria da gestão dos atendimentos.

Como resultados indiretos obtivemos a diminuição do Tempo Médio de Atendimento Emergencial (TMAE), redução das horas extras e também a redução das ocorrências em espera que migravam entre turnos.

Este trabalho têm oferecido subsídios à empresa na tomada de decisões, no que concerne a novos investimentos, custeio, reforço de bases e/ou realocação de recursos para apoio emergencial.

2. Desenvolvimento

Teoria das filas

A teoria das filas é um ramo da probabilidade que estuda a formação de filas, através de análises matemáticas precisas e propriedades mensuráveis de filas. Ela provê modelos para demonstrar previamente o comportamento de um sistema que ofereça serviços cuja demanda cresce aleatoriamente, tornando possível dimensioná-lo de forma a satisfazer os clientes e ser viável economicamente para o provedor do serviço, evitando desperdícios.

Por que as filas são estudadas?

Esperar em uma fila faz parte das nossas vidas, basta apenas observar ao nosso redor quando esperamos em semáforos, esperamos em supermercados, esperamos em uma linha telefônica ocupada, filas para pagamentos de contas, filas para refeições, filas de estacionamentos e etc.

As filas são estudadas porque, embora nem sempre se perceba, existe um problema econômico com dois custos envolvidos: O **Custo da Fila** e o **Custo do Serviço** conforme pode ser observado na Figura 1.

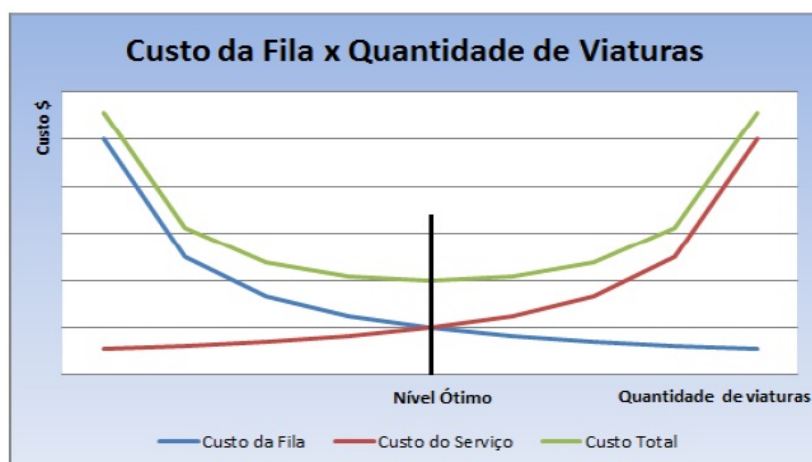


Figura 1– Custo do Serviço x Custo da Fila

O processo de formação de filas em sistemas de atendimento acontece de forma natural e deve ser monitorada no sentido de não deixar que o tamanho da fila ultrapasse os limites considerados aceitáveis. Na realidade das concessionárias de energia elétrica, grandes filas podem gerar o pagamento de multas por violação dos indicadores de continuidade além de trazer insatisfação aos clientes atendidos. Por outro lado a inexistência de filas pode gerar ociosidade das equipes e conseqüentemente elevação dos custos dos serviços o que não é desejável para a concessionária de energia. Portanto o objetivo em qualquer sistema de filas é achar o ponto ótimo que minimiza a função do custo total, ou seja, achar o nível de serviço que atenda as necessidades do cliente e da concessionária de energia com o menor custo e com o menor tempo possível.

Componentes básicos de um processo de filas

Estabelecendo a analogia do modelo genérico apresentado na figura 2 com o despacho de serviços de emergenciais no COI - Centro de Operação Integrada da Celpe, é possível visualizar todas as características do processo de formação de filas de espera, como descrito a seguir:

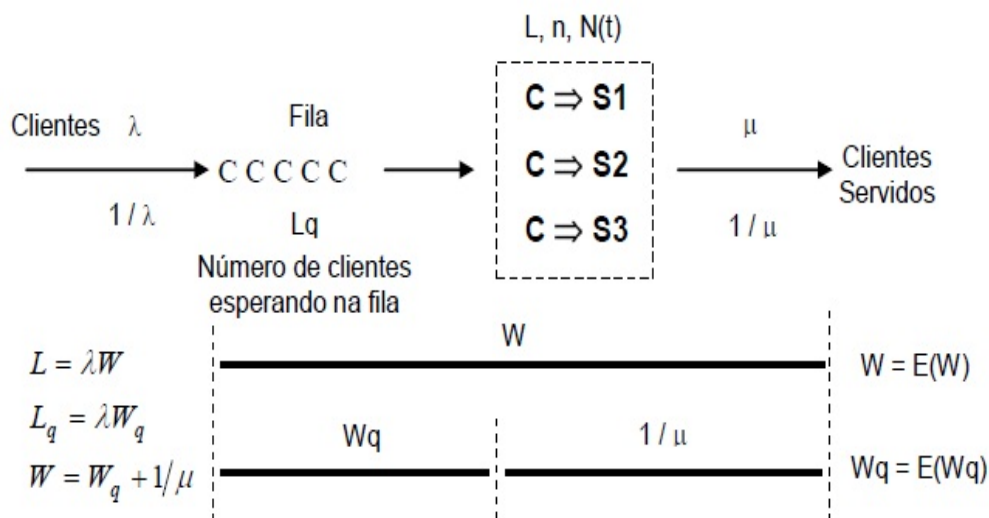


Figura 2 - Sistema de Fila de Espera.

Principais componentes de um processo de fila de espera:

- Taxa de chegada (?)
- Tempo de chegada ($1/?$)
- Ocorrências (C)
- Taxa de atendimento (?)
- Tempo de atendimento ($1/?$)
- Servidor (S)
- Fila de espera (L_q)
- Tempo de espera na fila (W_q)
- Tempo total no sistema (W)
- Total de clientes no sistema (L)

Considerações na Utilização do Modelo

Na aplicação da Teoria das Filas no despacho de serviços emergenciais, foram realizadas algumas

considerações, a fim de possibilitar a modelagem do sistema.

- A análise do processo de chegada e atendimento de ocorrências foi realizada no período de Dezembro de 2005 a Dezembro de 2011;
- O dimensionamento foi realizado considerando uma situação normal de operação;
- Por questões de simplificação matemática, a disciplina que será considerada no estudo será do tipo FIFO (First In, First Out);
- Será considerada neste estudo como tempo de atendimento a soma dos tempos de deslocamento mais execução;
- Foi considerado que todos os servidores de uma mesma base de atendimento, área geoeletrica que abrange o atendimento de uma ou mais equipes, possuem a mesma capacidade de atendimento.

Otimização da Logística

O modelo de otimização desenvolvido pela Celpe utilizou como referência todas as ocorrências emergenciais atendidas de 2005 a 2011 sendo os dados tratados através da utilização de uma aplicação própria, retirando do banco de dados utilizado na simulação, as ocorrências geradas em dia crítico para não contaminar os resultados.

Define-se como dia crítico de acordo com o Módulo 8 do Prodíst: *"Dia em que a quantidade de ocorrências emergenciais, em um determinado conjunto de unidades consumidoras, superar a média acrescida de três desvios padrões dos valores diários. A média e o desvio padrão a serem usados serão os relativos aos 24 (vinte e quatro) meses anteriores ao ano em curso, incluindo os dias críticos já identificados."*

O modelo da teoria das filas só é possível de ser aplicado a sistemas estáveis e com relação entre taxa de atendimento e taxa de chegada menores do que um, pois caso contrário a fila tende para um crescimento infinito e os resultados não convergem para um sistema real.

Para execução das simulações na ferramenta de otimização desenvolvida pela Celpe, são necessários como dados de entrada os valores do tempo de atendimento (deslocamento + execução), taxa de chegada por base de atendimento e quantidade de equipes de atendimento por base.

Foi estudada a sazonalidade no dimensionamento da logística onde, para cada mês do ano, obtivemos os valores das taxas de chegada e do tempo de atendimento, também foi feita uma análise dos atendimentos efetuados em dias úteis e finais de semana.

Para o redimensionamento das regiões geoeletricas, levamos em consideração as distâncias envolvidas nos deslocamentos, a taxa de ociosidade das viaturas e o tempo de atendimento. Abaixo segue a figura 3 que mostra as regiões geoeletricas dos 8 regionais da Celpe.

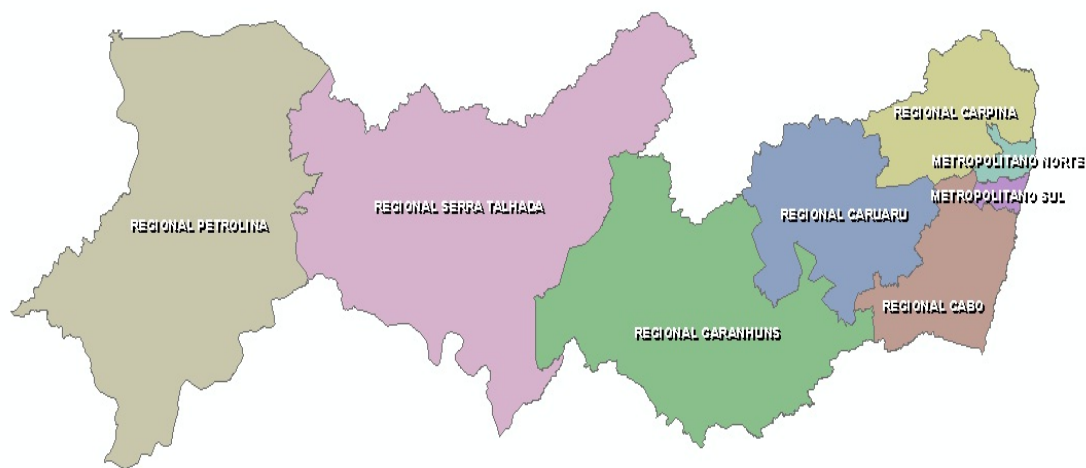


Figura 3 - Regionais Celpe.

A tabela 1 abaixo mostra a distribuição das taxas de chegada das ocorrências por hora e para cada mês do ano, obtida após a simulação. As cores mais avermelhadas representam os horários de maior densidade de chegada de ocorrências.

Para que possamos ter um melhor aproveitamento das equipes de atendimento devemos tentar centralizar o máximo de equipes possíveis nos horários marcados em vermelho e o mínimo de equipes nos horários em amarelo, pois assim estaremos reduzindo a ociosidade média das equipes.

Como exemplo, em um dia útil na base Caxangá no mês de março para o período de 2005 a 2011, entre 08h e 09h da manhã a taxa de chegada é 2,2167 ocorrências. Às 08h00 através do estudo foi verificado pelas simulações que devemos ter pelo menos 2 equipes trabalhando neste horário, pois caso tenhamos apenas 1 equipe, a fila tende a crescer e os tempos do sistema tendem a aumentar. Esta avaliação foi realizada para todas as bases de atendimento considerando dia útil e fim de semana.

Caxangá - Dia Útil																								
	0:00	01:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Jan	0,1324	0,1176	0,2206	0,1176	0,1765	0,1765	0,3235	0,6029	1,0588	1,6618	1,5147	1,6029	1,7206	1,2941	1,3088	1,3382	1,3235	1,6324	1,8676	1,5882	0,8382	0,8088	0,5882	0,4706
Fev	0,2167	0,2167	0,1833	0,35	0,3167	0,2833	0,55	1,1667	2,2167	2,45	2,1167	1,8667	1,6667	1,7667	1,8	2,2833	1,5167	1,9	2,15	1,5167	1,05	1,05	0,7167	0,8167
Mar	0,375	0,2031	0,2188	0,125	0,0625	0,2656	0,3281	1,0781	1,7969	2,5156	2,5781	2,3125	1,6094	1,8594	1,8125	1,8594	1,7656	1,9688	2,0312	1,4531	1,1719	1,0625	0,6875	0,6875
Abr	0,2812	0,3125	0,1562	0,0469	0,0781	0,3281	0,5312	1,8281	2,6662	3,0781	2,375	2,2188	1,75	1,5469	2,1094	2,25	2,2969	2,1875	1,7656	1,5	1,3125	0,9688	0,7188	0,6406
Mai	0,3788	0,1364	0,1364	0,2727	0,1667	0,1818	0,7727	1,2273	1,9848	2,3333	2,9091	2,7424	2,0909	1,8485	2,5758	1,9848	2,5455	2,7273	2,0909	1,4394	1,1061	1,0455	0,5152	0,5152
Jun	0,1875	0,1562	0,0938	0,0156	0,1406	0,1406	0,5938	1,1094	1,6719	2,0781	2,5156	2,2188	1,875	1,7344	2,4531	2,0469	1,9062	2,0781	1,5	1,4844	1,0781	1,0469	0,7656	0,4688
Jul	0,2206	0,1471	0,0588	0,25	0,1029	0,1324	0,3971	0,7647	1,5147	2,3382	1,8235	2,1765	1,6765	2,3824	2,3824	2,2941	2,1324	1,8088	1,8235	1,3676	1,2794	0,8382	0,7059	0,4559
Ago	0,0923	0,1692	0,0923	0,1846	0,1077	0,1846	0,4769	1,2923	1,7692	1,9692	2,5077	2,2308	1,5846	1,6462	1,4923	1,5077	1,4462	2,0308	1,4615	1,3077	1,3692	1,0769	0,6154	0,3692
Set	0,254	0,127	0,1905	0,0952	0,0635	0,2222	0,5397	0,8095	2,2222	1,6825	1,873	1,8095	1,5079	1,1905	1,6349	1,5238	1,5397	2,127	1,5556	1,3175	0,9841	0,7778	0,6032	0,2857
Out	0,1889	0,1	0,1667	0,0889	0,1667	0,2222	0,3333	0,7333	1,6111	1,9778	1,5889	1,5333	1,3556	1,0333	1,2889	1,3889	1,2444	1,4	1,0333	1,0111	1,5111	0,6	0,6222	0,3444
Nov	0,1905	0,127	0,0794	0,0317	0,0635	0,127	0,3492	0,9841	1,9865	1,7143	1,4762	1,8571	2,254	1,3492	1,1905	1,0635	1,1746	1,6984	1,9206	1,0317	1,7778	0,746	0,4603	0,3016
Dez	0,1493	0,1045	0,1194	0,1045	0,1493	0,2887	0,5224	0,6269	1,1343	1,3284	1,4179	1,2537	1,5373	1,2687	1,2388	1,7015	1,403	1,4179	1,4627	1	0,7761	1,1194	0,7164	0,4478

Tabela 1 - Distribuição das ocorrências horo sazonais da base Caxangá Dia Útil.

Estendendo o princípio citado no exemplo acima a todas as bases de atendimentos, foram efetuados ajustes na disposição da logística de todos os regionais, obtendo assim os resultados da otimização das escalas

apresentados na tabela 2, que mostra como estavam distribuídas as equipes antes e após as alterações das escalas.

O estudo indica que o horário de maior concentração de ocorrências(80%) está compreendido entre as 08h00 as 18h00. Observe que após o trabalho de otimização das escalas conseguimos aumentar o número de equipes trabalhando no período de 08h00 as 18h00 o que é muito positivo do ponto de vista do desempenho das equipes.O estudo também aponta que as equipes que trabalham durante a madrugada apresentam uma ociosidade média(40%) maior que as equipes que trabalham em horário comercial. Observe que após os ajustes da escala, conseguimos reduzir o número de equipes durante a madrugada, reduzindo assim a ociosidade média das equipes.

Destacamos que todo o processo de otimização e ajustes das escalas foi efetuado sem o acréscimo de novas equipes, ou seja conseguimos acrescentar cerca de 8 equipes no processo de atendimento sem alteração de custo.

		Hora																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Regional	OSCA Escala Atual	3	3	2	2	2	2	7	9	17	18	18	18	18	18	16	17	15	8	7	7	7	9	9	9
	OSCA Escala Proposta	2	2	2	2	2	2	6	6	11	11	15	16	16	16	16	16	16	11	11	7	6	8	8	8
	OSMN Escala Atual	6	6	6	6	6	9	10	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	11	10	6
	OSMN Escala Proposta	6	6	6	6	6	6	10	13	17	19	19	19	19	19	19	19	19	19	17	17	17	17	14	10
	OSCR Escala Atual	1	1	1	1	1	1	8	8	13	13	15	15	16	18	18	14	14	9	9	7	7	7	5	5
	OSCR Escala Proposta	1	1	1	1	1	1	8	8	13	13	15	15	15	21	21	14	14	9	9	7	7	8	2	2
	OSPT Escala Atual	1	1	1	1	1	1	2	6	13	13	13	13	13	16	16	15	11	4	4	4	4	5	2	2
	OSPT Escala Proposta	2	1	1	1	1	1	4	7	14	14	14	14	14	17	17	16	14	7	7	7	7	8	5	5
	OSMS Escala Atual	8	8	8	8	8	14	14	14	14	14	14	15	15	15	13	13	13	13	13	13	13	16	16	8
	OSMS Escala Proposta	8	8	8	8	8	11	11	11	11	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	11	11	15	15
OSST Escala Atual	0	0	0	0	0	0	0	4	11	11	16	16	17	18	18	19	15	8	8	3	3	2	1	1	
OSST Escala Proposta	0	0	0	0	0	0	2	4	11	11	15	15	16	17	17	15	13	6	6	2	2	1	0	0	
OSGA Escala Atual	1	1	1	1	1	1	5	9	13	15	16	17	21	22	22	21	17	13	10	9	8	4	3	3	
OSGA Escala Proposta	1	1	1	1	1	1	3	7	15	17	20	21	22	24	24	24	20	12	9	6	5	4	2	2	
OSCP Escala Atual	2	2	2	2	2	2	6	6	12	12	16	16	16	16	16	16	16	10	10	6	6	6	6	6	
OSCP Escala Proposta	2	2	2	2	2	2	6	7	11	12	15	16	16	16	19	20	16	15	11	10	7	6	6	3	2
Antes		22	22	21	21	21	30	52	70	107	110	122	124	130	137	133	129	115	79	75	63	65	60	52	40
Depois		22	21	21	21	21	24	50	63	103	114	130	133	135	150	151	137	128	90	80	64	65	67	49	37
Diferença		0	-1	0	0	0	-6	-2	-7	-4	4	8	9	5	13	18	8	13	11	5	1	0	7	-3	-3
Média		-2,000								8,182								0,400							

Tabela 2 - Sistema de Fila de Espera.

Podemos destacar também os resultados apresentados na figura 4, que mostram os regionais com similaridade do comportamento da taxa de chegada das ocorrências e após aplicação da ferramenta de simulação podemos observar que em alguns períodos do ano podemos trabalhar com uma logística diferenciada possibilitando assim a utilização de menos equipes em alguns períodos. Desta forma podemos deslocar equipes entre regionais que apresentam sazonalidade complementares para reforço da estrutura nos períodos de maior demanda possibilitando um maior planejamento estratégico para o enfrentamento das crises, sem aumento do custo de serviço, reduzindo assim a ociosidade das equipes nos períodos de menor demanda de atendimento.

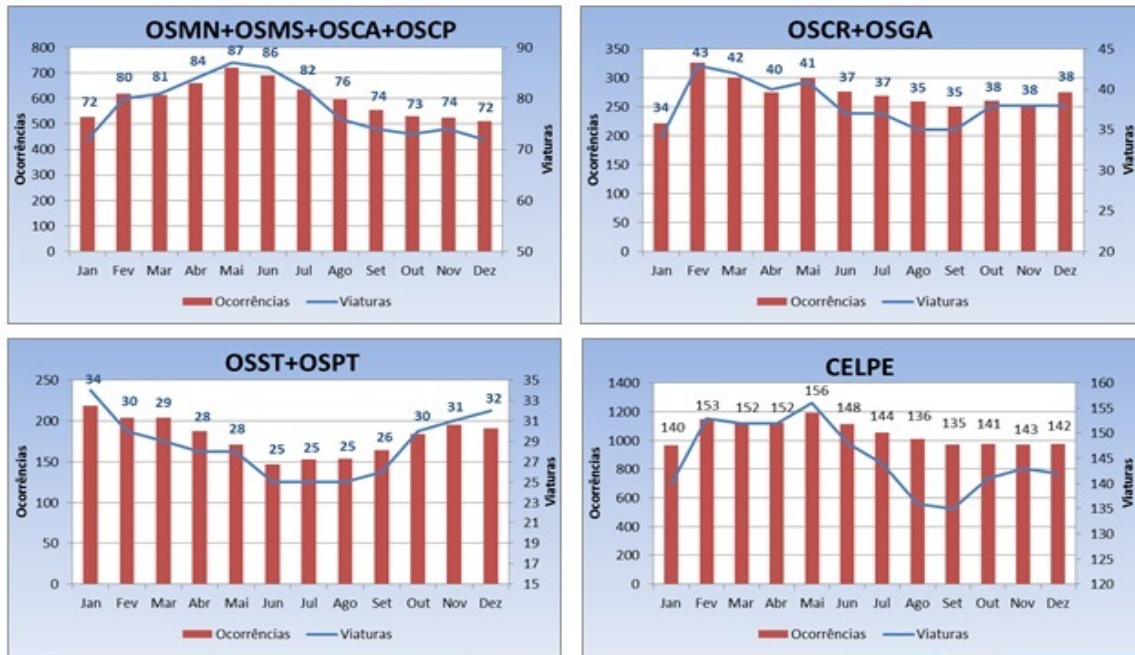


Figura 4 - Resultados da Simulação - Ocorrências Atendidas X Viaturas Necessárias

Os resultados da simulação apresentados na figura 5 mostram que existe uma demanda maior de ocorrências nos dias úteis, desta forma a Celpe escolheu utilizar a ociosidade natural das equipes executando ações e serviços de caráter preventivo nos fins de semana, melhorando assim a performance do sistema e a produtividade das equipes.

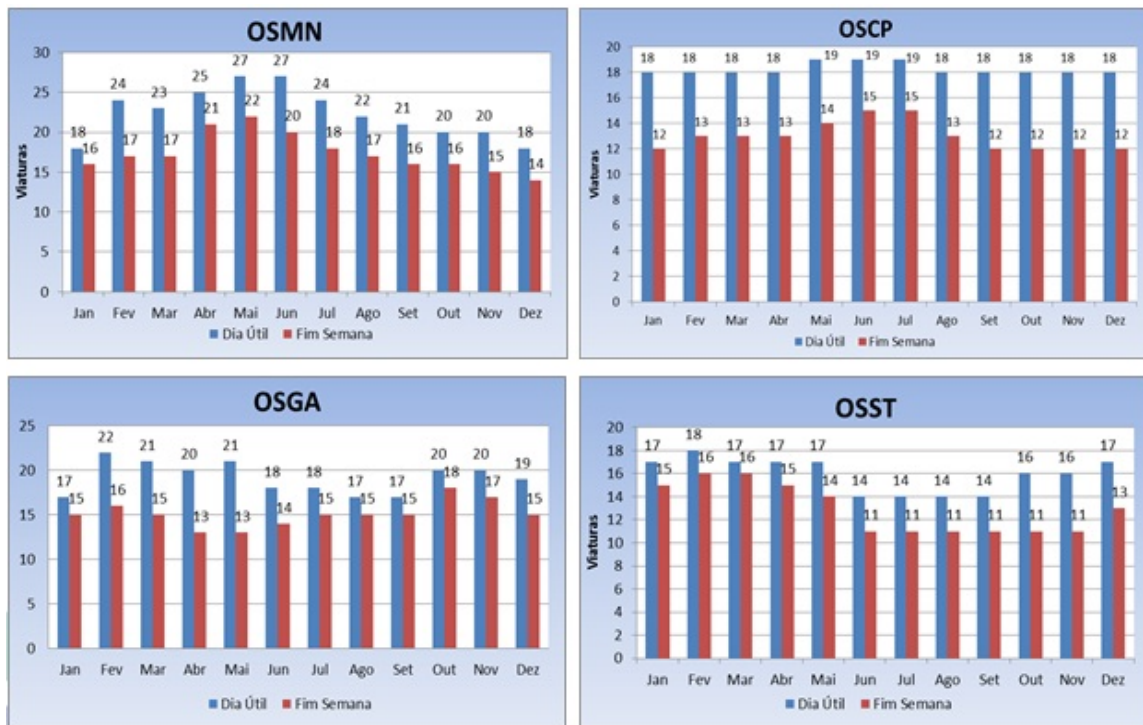


Figura 5 - Resultados da Simulação - Viaturas Necessárias Comparação Dias Úteis x Final de Semana

Pontuamos outros resultados da simulação que auxiliou o processo de tomada de decisão para um melhor ajuste das escalas das equipes a logística proposta foi:

- Agrupamento do atendimento ótimo entre bases de atendimento geograficamente adjacentes

O modelo de atendimento da CELPE otimiza o desempenho das equipes deslocando-as entre bases de atendimento mais ociosas para bases em que haja uma necessidade maior de atendimentos de acordo com a necessidade diária. O estudo definiu a partir das taxas de chegada agrupadas por essas bases adjacentes os intercâmbios ótimos de equipes entre bases diminuindo o tempo médio de atendimento e a ociosidade média dessas equipes.

Foi verificado após análises históricas que algumas bases de atendimento tinham um peso, contribuição, muito grande no TMAE global da CELPE, o que nos indicava um desequilíbrio na demanda daquela base comparada com outras. Isso ocorre pois a quantidade de ocorrências dessa base, na média mensal, é superior que outras bases, dificultando a correta priorização pelo centro de operação de qual equipe pode ser deslocada para determinado atendimento.

Ou ainda, devido ao fato do TMAE dessa base ser elevado devido a grandes deslocamentos, pois essa base atende áreas geograficas muito extensas, isso ocorre quando a densidade de clientes daquela base é muito baixa, regiões predominantemente rurais.

Buscando um maior equilíbrio entre essas contribuições e uma melhor performance relacionada as equipes dessas bases, foram realizadas as simulações com as taxas de chegada e os tempos médios de atendimento estratificadas por bairros/localidades/municipios. Os resultados foram traduzidos no itens abaixo:

- Alteração de bairros/localidades/municipios entre bases de atendimento geograficamente adjacentes

Houve um deslocamento em bairros, localidades ou em municipios entre bases após criteriosa análise e inumeras simulações, sendo verificada a viabilidade desse deslocamento sobre a ótica de diminuição dos tempos de deslocamentos e consequente aumento da produtividade dessas equipes.

- Criação de novas bases de atendimento sem acrescimo de equipes

Houve a criação de bases de atendimento separando as existentes em duas ou três novas bases. Com a analise das taxas de atendimento agrupadas por essas novas sub regiões, com os tempos médios de atendimento e a estrutura disponível, foram realizadas novas simulações que determinaram a divisão dessas bases em outras com a respectiva divisão dos recursos de atendimento, proporcionalmente.

De forma simples, o atendimento é otimizado pois concentrando em o atendimento em regiões menores, onde os deslocamentos são facilitados e, principalmente, onde a demanda daquela nova base não supere a capacidade de atendimento da logistica proposta para a base.

Todos os resultados dessas simulações foram avaliadas por colaboradores da CELPE que trabalhavam nessas bases de atendimento, validando a simulação sob a ótica do conhecimento tácito como um grande conhecedor daquela região, estradas, deslocamento possíveis, áreas rurais, etc.

3. Conclusões

Este trabalho possibilita indicar uma forma para gerenciamento da logística de atendimento das equipes emergenciais com foco na otimização da estrutura existente. O emprego da quantidade ideal de equipes emergenciais para cada base de atendimento após todas as simulações efetuadas visam a redução do TMAE e diminuição da ociosidade das equipes, tendo como consequência uma maior satisfação dos clientes.

Com os investimentos nos sistema elétricos, que diminuem a taxa de chegada das ocorrências, a futura integração dos processos comerciais e emergenciais, que disponibilizarão uma maior estrutura para atendimento, e o crescimento da economia, que aumentara a quantidade de clientes conectados ao sistema elétrico, sugerimos que para corrigir possíveis desvios, sejam realizadas novas simulações a cada ciclo de dois anos.

4. Referências bibliográficas

SLACK, Nigel et al. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

STEVENSON, WILLIAM J. **Administração das Operações de Produção**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

FOGLIATTI, Maria Cristina; MATTOS, Néli Maria Costas. **Teoria de Filas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2007

SLACK ET AL. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1997
