

Pedro António Marques Campos

A inovação de uma empresa de serviços usando a
simulação (des)

Tese de Mestrado

Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Orientado por: Eng.º Daniel A. Estácio Marques Mendes Gaspar



A inovação de uma empresa de serviços usando a simulação

Pedro António Marques Campos

Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Setembro de 2012

Resumo

Nos dias de hoje, as organizações estão sujeitas a uma exigência crescente em inovação e melhoria contínua dos processos, quer na produção, quer na indústria para continuarem no mercado e poderem ter sucesso.

Nem sempre é possível a implementação de novos sistemas sem estes serem sujeitos a uma validação prévia, que prove que o mesmo vai oferecer melhorias face ao anterior.

Desta forma, a simulação surge como uma ferramenta capaz de analisar e avaliar as situações actuais, bem como as futuras, tornando-se assim numa ajuda poderosa para qualquer gestor. O trabalho desenvolvido nesta dissertação enquadra-se na área dos serviços, em particular nos serviços de assistência após venda e reparação de sistema de energias renováveis e climatização.

Este trabalho, desenvolveu uma abordagem de modelação e simulação num serviço de assistência técnica em equipamentos de climatização e AVAC.

Na parte inicial, realizou-se um breve estudo sobre inovação e concepção dos serviços. De seguida, explicamos sucintamente a simulação de eventos discretos e a biblioteca de componentes que usamos nos nossos modelos de simulação. Foi feita uma análise estatística aos dados provenientes de três anos de assistência técnica. A utilização de uma base de dados com uma dimensão significativa permitiu-nos estimar valores e parâmetros com um nível de confiança elevados

Para além disso, podemos analisar e concluir que existe um bom número de relações e características do serviço de assistência técnica. Embora a base de dados seja de âmbito nacional, no caso da nossa simulação principal, em que a localização geográfica era importante, só tivemos em conta o distrito de Viseu.

Concluimos, que a simulação de eventos discretos (DES) é uma ferramenta poderosa e quando devidamente utilizada, com dados fiáveis e uma correta modelação, pode ser uma preciosa ajuda para a redução de custos e aumento da qualidade dos produtos ou serviços, melhorando a eficiência da organização, por meio da optimização de processos e consequentemente o aumento da satisfação dos colaboradores e clientes.

Abstract

Nowadays organizations are subject to an increasing demand for innovation and continuous improvement of processes both in production and in the industry to stay in business and be able to succeed. It is not always possible to implement new systems without them being subject to prior validation proves that it will offer improvements over the previous one.

Thus, the simulation becomes a tool able to analyze and assess the current situation and the future, thus making it a powerful aid for any manager. The work in this thesis fits in services, particularly in services after sales service and repair of renewable energy system and air conditioning.

This work has developed an approach to modeling and simulation in a service center in HVAC equipment and HVAC.

In the first part there was a brief study of innovation, service design. Next, we explain briefly the discrete event simulation and library components we use in our simulation models. We conducted a statistical analysis to the data from three years of service. Using a database of significant size allowed us to estimate values and parameters with a high level of confidence, and moreover we can look to complete a good number of relationships and characteristics of the service center. Although the database is nationwide, in the case of our main simulation where the geographical location was important, we took into account only the district of Viseu.

We conclude that the discrete event simulation (un) is a powerful tool and when used properly with a correct and reliable data modeling can be a valuable aid in reducing costs, increasing the quality of products or services, improving the efficiency of organizing, by optimizing processes and, consequently, increasing the satisfaction of employees and customers.

Agradecimentos

Ao Eng.º Daniel Gaspar pelo tempo e disponibilidade dispensado na ajuda da realização da dissertação.

À família, especialmente ao meu pai, à minha mãe, ao meu irmão e à minha esposa, pois foram o pilar fundamental nos momentos bons e menos bons ao longo do percurso.

Ao meu avô e à minha prima que, onde quer que estejam, ajudaram muito.

A todos os amigos e colegas que de alguma forma ajudaram, direta ou indiretamente na realização desta tese de dissertação.

Aos professores que me apoiaram desde o início até à conclusão deste mestrado.

Pedro Campos

“O planeamento não é uma tentativa de prever o que vai acontecer. O planeamento é um instrumento para raciocinar agora, sobre que trabalhos e ações serão necessários hoje, para merecermos um futuro. O produto final do planeamento não é a informação: é sempre o trabalho.”

Peter Drucker.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Plano de Trabalho	2
1.3	Estrutura da Dissertação	2
2	Inovação nos serviços	5
2.1	O conceito de serviço	5
2.2	Conceito de Inovação	6
2.3	Inovação nos Serviços	10
3	Simulação	15
3.1	Definições e Conceitos	15
3.2	Modelação conceptual na Simulação	17
3.3	Ferramentas e Tecnologias de Simulação	20
3.3.1	Simulação em Mat Lab (Simulink)	21
3.3.2	Definições e conceitos da simulação de eventos discretos	23
3.3.3	Descrição dos blocos DES no Simulink	25
3.3.4	Gestão de filas de espera	29
4	Estatística	31
4.1	Introdução	31
4.2	Estatística descritiva	32
4.3	Os modelo estatísticos	34
4.3.1	A distribuição de Poisson	36
4.3.2	A função normal	39
4.3.3	Distribuição exponencial	42
4.3.4	Distribuição gama	45
4.3.5	Distribuição weibull	46
4.4	Estimação de parâmetros	46
4.5	A medida da qualidade do ajustamento	50
4.6	Os testes de hipóteses	51
5	Estudo de Caso	57
5.1	A empresa e o seu modelo de negócio	57
5.2	A análise dos dados	58
5.3	Modelo conceptual/construção do modelo	64
5.3.1	Subsistema 1	66
5.3.2	Subsistema 2	67

5.3.3	Sub-sistema 3	67
5.3.4	Subsistema 4	69
5.4	Simulações	69
5.4.1	Cenário 1	70
5.4.2	Cenário 2	71
5.4.3	Cenário 3	72
5.4.4	Cenário 4	72
5.5	Análise dos resultados	73
6	Conclusões	75
6.1	Trabalho futuro	75
	Referências	77

Lista de Figuras

2.1	Ciclo de vida do produto	7
3.1	Input Switch	25
3.2	Single Server	26
3.3	Output Switch	26
3.4	Set Attribute	26
3.5	Random Source	27
3.6	FIFO Queue	27
3.7	LIFO Queue	27
3.8	Entity Combiner	28
3.9	Entity Sink	28
3.10	Math Function	28
4.1	Histograma dos dados observados	32
4.2	Gráfico da densidade estimada dos dados	33
4.3	Função distribuição empírica acumulada	33
4.4	Quartil-Quartil (Q-Q)	34
4.5	Quartil-Quartil (Q-Q) Normal	34
4.6	Quartil-Quartil (Q-Q) Weibull	35
4.7	Distribuição Poisson	37
4.8	Função densidade da distribuição normal	40
4.9	Distribuição gamma	46
4.10	Distribuição de weibull	47
4.11	Histograma e distribuição Normal	51
4.12	Ajustamento de Poisson	53
4.13	Ajustamento da distribuição Weibull	55
5.1	Modelo simples de assistência técnica	58
5.2	Análise de Pareto	59
5.3	Distribuição de intervenções por semanas do ano	60
5.4	Distribuição de intervenções por semanas do ano da tarefa 11.	60
5.5	Histograma de intervenções tipo 11 no ano 2009.	61
5.6	a) Normal Q-Q plot; b) Função densidade	62
5.7	a) QQ-plot distr. Weibull; b) Weibull distribution	63
5.8	Modelo conceptual do processo de assistência	64
5.9	Modelo Geral	65
5.10	Subsistema 1	66
5.11	Subsistema 2	67
5.12	Sub-sistema 3	68

5.13	Medição de coordenadas	68
5.14	Horário de semana de trabalho	70
5.15	Cenário 1	70
5.16	Resultados cenário 1	71
5.17	Cenário 2	71
5.18	Resultados cenário 2	72
5.19	Cenário 3	72
5.20	Resultados cenário 3	72
5.21	Resultados cenário 4	73

Lista de Tabelas

5.1	Codificação dos tipos de intervenção	58
5.2	Resumo dos dados para ajustamento à normal	62
5.3	Resumo dos dados para ajustamento à weibull	63
5.4	Frequência de intervenção por localidade	63
5.5	Tempos padrão por intervenção	69

Capítulo 1

Introdução

Confrontadas com um crescente número de desafios como o da globalização a crise financeira e económica, que eleva os patamares de competitividade, as empresas ligadas à área industrial têm vindo a redefinir e redesenhar os seus processos produtivos, perseguindo objetivos e traçando estratégias que lhes garantam vantagem competitiva sobre as demais. A globalização é mesmo, senão o maior, um dos fatores que fez disparar a competitividade entre organizações quer no seu próprio país quer além-fronteiras. No cenário europeu, as “fronteiras” foram abertas a todo o mundo, a entrada de novos players, principalmente vindos do Oriente, despoletou uma nova era no que respeita à luta pelos mercados. Um ambiente empresarial que permite a cooperação dos seus colaboradores nos processos de decisão, que incentiva a partilha de informação e a pro-atividade bem como o uso eficiente de meios tecnológicos vai permitir incubação de conhecimento, a transmissão de conhecimento e logo a propensão para a inovação.

Inovação de processos ou produtos com melhoria contínua, caracteriza-se por uma procura de aperfeiçoamento constante e gradual de modo a aumentar a qualidade dos bens ou serviços. Por norma, as empresas bem geridas são excelentes no desenvolvimento das tecnologias incrementais. Elas melhoram o desempenho dos seus produtos nas formas que realmente fazem a diferença junto dos seus clientes.

O processo de desenhar um modelo de um sistema real e conduzir experiências usando esse mesmo modelo tem o propósito de compreender o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias para o seu funcionamento. Assim, é crucial que o modelo seja desenhado de forma que o seu comportamento imite o comportamento do sistema real a eventos que ocorrem com o passar do tempo.

1.1 Enquadramento

Com o constante desenvolvimento tecnológico e industrial, hoje em dia, a crescer exponencialmente, o fator tempo é uma mais-valia para o sucesso ou não de uma empresa. Para que se crie

um ambiente corporativo propício à geração de inovação, é necessário que os líderes das organizações promovam a inovação, sendo que a melhor forma de o fazer é trabalhar para que os conceitos e estratégias de inovação sejam assimilados por todos os colaboradores, clientes e fornecedores.

A utilização da simulação para a conceção/melhoria do serviço pode ser muito útil para a previsão de acontecimentos, bem como, para envolver todos os colaboradores e clientes.

Embora as ferramentas de simulação necessitem de conhecimento avançados os seus resultados (normalmente gráficos) são fáceis de interpretar e explicar.

A realização da dissertação, sobre a inovação numa empresa de serviço de assistência técnica, está inserida no âmbito do curso de Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial. A finalidade na elaboração desta dissertação de Mestrado é a aplicação dos conceitos fundamentais, associados á modelação e simulação, bem como, o uso de ferramentas estatísticas para a análise de dados.

1.2 Plano de Trabalho

O plano de trabalhos definido foi o seguinte:

- Elaboração do plano de trabalho do projeto da tese;
- Revisão e pesquisa bibliográfica;
- Recolha de dados;
- Organização e análise de dados;
- Análise de pareto, de forma a identificar intervenções principais e incidir a simulação nos casos mais importantes;
- Ajustamentos dos dados das distribuições teóricas de forma a definir formas mais reais na geração aleatórias das intervenções técnicas;
- Desenvolvimento dos modelos principais no software de simulação;
- Definição dos cenários a simular e dos pressupostos a assumir relativamente ao serviço a simular;
- Propostas de melhoria na implementação da metodologia;
- Propostas de melhoria no processo de produção;
- Elaboração do relatório da tese.

1.3 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução, esta dissertação contém mais cinco capítulos. No capítulo dois é feita uma introdução aos conceitos de inovação e serviço bem como a inovação nos serviços. No capítulo três falamos de simulação, modelação conceptual e descrevemos brevemente a ferramenta de simulação que usámos. No capítulo quatro explicamos a teoria básica da estatística que será aplicado no nosso caso de estudo. O capítulo cinco está dedicado ao nosso caso de estudo. Por

último no capítulo seis são as conclusões do nosso trabalho bem como se apresenta a perspectiva de trabalho futuro.

Capítulo 2

Inovação nos serviços

No contexto da globalização da economia, as empresas entendem que a inovação é uma condição para manter a competitividade e o crescimento. Tem havido um desenvolvimento crescente deste tema, criando apoios diversos às empresas que entram e percorrem esta via.

A inovação é uma arma para vencer ou criar barreiras de entrada. De um lado, permite às novas empresas desenvolverem produtos que explorem novos campos de aplicação para as tecnologias e, em alguns casos, produtos que superem as soluções existentes a partir de inovações de rutura.

Por outro lado, há por parte das próprias empresas líderes, um intenso movimento de lançamento de novos produtos em substituição aos produtos existentes.

A inovação permite uma redução de custos, um aumento na produtividade, uma melhoria na qualidade dos produtos e/ou diferenciação dos mesmos, bem como, uma agregação de serviços, indo ao encontro das necessidades dos clientes, ao rejuvenescimento de sectores, uma criação de negócios, assim como, tornar negócios obsoletos em negócios rentáveis.

2.1 O conceito de serviço

O primeiro ponto a definir é o que se entende por serviço, "Kotler" define como: "um serviço é qualquer ato ou desempenho que uma parte pode oferecer a outra e, que seja essencialmente intangível e não resulta na propriedade de nada. A sua produção pode ou não estar vinculada a um produto físico."

Na sociedade contemporânea temos muitos exemplos de serviços, tais como, serviços de saúde, educação (todos os serviços ligados á área social) os serviços financeiros, bem como os de distribuição de recursos como água, eletricidade, telecomunicações, gás (energia), são fundamentais na aldeia global dos tempos correntes.

Podemos classificar os serviços nas suas vertentes operacionais, relativamente ao tipo de contacto com o cliente, o **contacto reduzido**, que é semelhante á conceção do produto, o **contacto permeável** em que existe alguma influência do cliente na realização do serviço e o **contacto intenso** onde o serviço é reativo, mudando consoante as necessidades do cliente. Por outro lado podemos classificar o serviço como **puro**, no caso em que o contacto com o cliente é máximo

(ex. barbearias salões de beleza), serviço **misto** onde a interação do serviço com o cliente ocorre ocasionalmente (ex. oficinas de reparação automóveis), e ainda **reduzido** onde não existe contato do cliente ou é bastante reduzido.

Na Conceção de serviços começa-se pela geração de ideias, tal como na conceção do produto, na definição dos serviços em concreto, dos serviços a realizar, a seleção dos processos que vão produzir os serviços, a definição dos postos de trabalho necessários, das qualificações bem como o tipo de instalações necessárias e a sua localização.

Existem diferenças substanciais entre um serviço e um produto que originam diferenças na metodologia da conceção:

- Os serviços têm mais atributos intangíveis do que tangíveis;
- A maioria dos serviços são experimentados pelo utilizador no momento em que estão a ser produzidos;
- Não podemos fazer "stocks" de serviços;
- A classificação dos atributos de um serviço é subjetiva;
- Um trabalho de qualidade pode não corresponder a um serviço de qualidade;

Conclui-se que a maior diferença entre a conceção de produtos e a conceção de serviços, é a capacidade que os clientes têm para influenciar as mesmas. Essa influência é mínima na conceção de um produto ou na conceção de um serviço de contacto reduzido e é máxima nos serviços puros, ou seja, de contacto intenso.

2.2 Conceito de Inovação

Quando se pensa em inovação pensa-se no futuro, mas inovação é das coisas mais antigas que existem. A conclusão é lógica, afinal de contas, o uso de ossos e pedras como ferramentas foi uma das inovações mais importantes na pré-história, conclui-se então que desde o início da humanidade existe inovação, das mais importantes podem-se destacar: A roda IV milénio a.C., a linguagem, a matemática, a máquina a vapor em 1769, eletricidade no Sec. XVI, a internet em 1969, etc.

A inovação é um ponto muito relevante para as organizações em geral, seja num âmbito produtivo ou na prestação de serviços.

As organizações precisam de inovação tecnológica para crescer, aumentar a sua carteira de clientes e tornarem-se mais competitivas.

Isto é um dos "lemas" que os empreendedores usam como a missão da criação de produtos novos ou prestação de serviços, os quais possuem um ciclo até, atingirem a maturidade, daí é necessário estar sempre a inovar para que esse ciclo não termine.

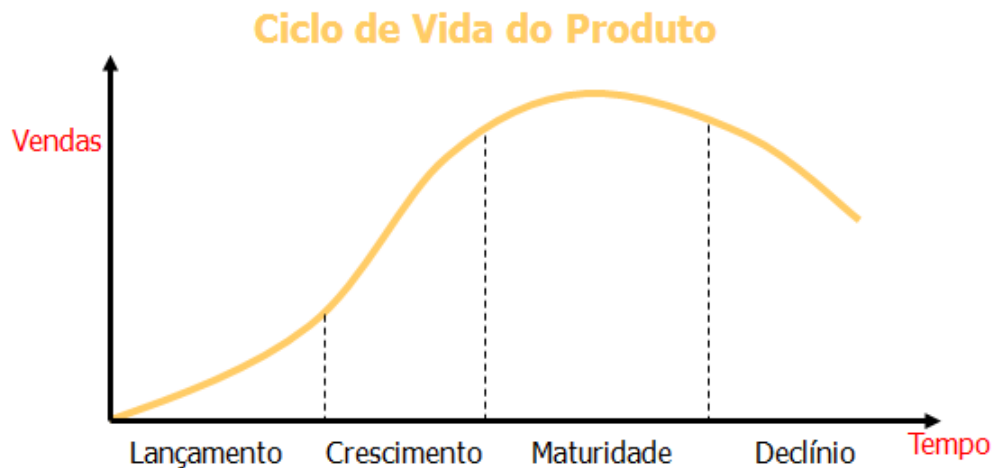


Figura 2.1: Ciclo de vida do produto.

Inovação pode ter várias distinções:

inovação do produto, que é a introdução no mercado de novos produtos ou significativamente melhorados, inclui alterações significativas nas suas especificações técnicas, componentes, materiais, software incorporado, interface com o utilizador ou outras características funcionais;

Inovação do processo que é a implementação de novos processos de produção ou logística de bens ou serviços;

Inovação organizacional é a implementação de novos métodos organizacionais na prática do negócio, organização do trabalho e ou relações externas;

Inovação de marketing é a implementação de novos métodos de marketing, envolvendo melhorias significativas no design do produto ou embalagem, preço, distribuição e promoção.

Este tipo de inovações, por sua vez, podem ser divididos em subtipos, por exemplo, num sistema produtivo, pode existir uma inovação incremental ou pontual, geracional, radical ou revolucionária.

Estes modelos de inovação podem não ser novos, podendo existir no mercado mas, uma vez aplicados na instituição, com o intuito de mudar e melhorar o desempenho da mesma, provoca uma inovação na organização.

Por vezes entende-se que inovação é uma intuição ou um momento de inspiração no entanto, empiricamente verifica-se que poucas inovações brotam do acaso. As inovações mais bem-sucedidas, resultam de uma busca consciente e intencional de oportunidades para inovar, dentro e fora da empresa. Tipicamente, as inovações podem acontecer pela ocorrência, conjunta ou isolada, de situações como consequência de factos inesperados, por incongruências, necessidade, alterações na indústria ou no mercado, novos conhecimentos, etc.

A inovação é fundamental uma vez que através dela as organizações tornam-se capazes de gerar riqueza contínua e, assim manterem-se ou tornarem-se competitivas nos mercados que se

encontram inseridas.

Nos dias que decorrem, para uma organização ser competitiva, é muito importante perceber o meio em que se insere.

Para que se crie um ambiente corporativo propício à geração de inovação, é necessário que os líderes das organizações promovam a inovação, sendo que a melhor forma de o fazer é trabalhar para que os conceitos e estratégias de inovação sejam assimilados por todos os colaboradores, clientes e fornecedores. Isso, provavelmente, provocará a "contaminação" da cultura organizacional pelo "vírus" da inovação.

Inovação tem um grau elevado de risco associado, bem como, um eventual aumento de custos, sendo portanto necessário uma boa gestão da oportunidade, tendo necessariamente que haver um acompanhamento intensivo de forma a evitar riscos não calculados.

A localização de meios técnicos e humanos é fundamental para um perfeito desenvolvimento, que leve a uma transferência da inovação para os locais corretos da sua aceitação e utilização. Inovação fora de tempo ou de local pode originar a falha de todo um processo.

De modo a aumentar a eficácia da inovação, a interação com consumidor, relacionado com a procura de novos nichos de mercado faz com que seja necessário quantificar bem os custos, benefícios e *timing* para envolver os consumidores nos processos de inovação, para que dessa forma potencie o sucesso da mesma tendo em conta o interesse do consumidor.

O aspeto cultural também influencia o sucesso da inovação, pois havendo predisposição para a mudança o sucesso de inovações será superior. Deve haver pressão na gestão da inovação para prevenir rigidez na forma de pensar, é necessário que haja atitudes permeáveis à existência de ambientes propícios à inovação e mudança.

Inovação na Empresa - Uma empresa para ter sucesso deve ser competitiva. A competitividade e a inovação estão estritamente ligadas, pelo que, é de todo interesse de uma empresa ser inovadora. O ambiente empresarial deixa, nos dias de hoje, de ser local para ser global e só quem investe em inovação tem maior poder de sobrevivência, fortalecendo toda a sua organização. A gestão empresarial deve ter a capacidade de criar vantagens competitivas, não só única, mas também de difícil replicação.

A inovação, por força da competitividade ou estratégia, é cada vez mais global e convergente, criando no âmbito da investigação e complexidade um novo mundo de oportunidades, que levam as empresas a serem sustentáveis a longo prazo.

A investigação e desenvolvimento (I & D) - Podem e devem ser usadas para as indústrias desenvolverem melhores produtos e processos, de acordo com as preferências dos clientes, para de uma forma geral haver melhorias nos processos internos e organizacionais da empresa, que permitam reduções de custos e criação de valor.

A primeira regra da competitividade industrial internacional é a inovação. Existem algumas

regras que devem ser consideradas quando se inova na empresa. A inovação está carregada de incerteza, o futuro é imprevisível, uma fraca orientação ou organização, pode levar todos os esforços ao fracasso, principalmente quando a inovação se foca nos processos tecnológicos e na engenharia de ponta.

O tipo de estratégia da empresa, o seu financiamento e liquidez, bem como a sua organização vai influenciar a forma como a inovação é realizada na empresa.

Um ambiente empresarial, que permite a cooperação dos seus colaboradores nos processos de decisão, que incentiva a partilha de informação e a pro-atividade com o uso eficiente de meios tecnológicos, vai permitir incubação de conhecimento, transmissão de conhecimento e desta forma a propensão para a inovação.

Incentivar a criatividade e a experimentação deve proporcionar aos colaboradores um ambiente onde estes possam desenvolver e partilhar ideias, sair de um paradigma estático.

Investir em novas tecnologias- A empresa não deve apenas investir no desenvolvimento de novos produtos, mas também melhorar os processos e produtos existentes, aplicando a melhoria contínua, a empresa tem assim melhores hipóteses de se impor num mercado em evolução.

As empresas devem, ainda, para serem bem-sucedidas no processo de inovação, conhecer os típicos **fatores inibitórios da inovação** De todos os fatores o mais crítico e danoso é o **comportamental**, isto porque se as pessoas se sentirem interditas ou perceberem que os seus esforços são interpretados como ações cujos riscos envolvidos não são compartilhados com a empresa, simplesmente não inovam. É preciso que os gestores estejam preparados para encorajar e motivar as iniciativas de inovação. É fundamental que os colaboradores se sintam seguros e apoiados nas suas iniciativas de inovação. Os eventuais fracassos e riscos inerentes, assim como os "louros" dos sucessos obtidos, devem ser igualmente compartilhados. A inovação é um efeito da economia e da sociedade.

Uma mudança no comportamento dos clientes, dos professores, dos agricultores, dos médicos, da sociedade em geral, normalmente está associado a uma mudança no processo, isto é, à forma como se trabalha e produz alguma coisa, a inovação, por conseguinte, tem de estar sempre próxima do mercado, tem de centrar-se no mercado, sem dúvida, tem de ser impulsionada pelo mercado.

Inovação contínua - Caracteriza-se por uma procura de aperfeiçoamento constante e gradual de modo a aumentar a qualidade dos bens ou serviços. Por norma as empresas bem geridas são excelentes no desenvolvimento das tecnologias incrementais. Elas melhoram o desempenho dos seus produtos nas formas que realmente fazem a diferença junto dos seus clientes.

Inovação disruptiva- Afirma que, muitas empresas perdem a sua liderança, porque não conseguem entender e ver novas entradas no mercado. Hoje em dia, as novas entradas, além da falta de inovação, são muitas vezes os maiores inimigos de um produto ou uma empresa. Eles podem

ser criados com base numa observação do que a concorrência faz para atender de forma mais rápida e prática os consumidores, que as vezes querem apenas o "básico".

A inovação disruptiva tem sido importante para a redução de custos, uma vez que, amplia o acesso melhorando a qualidade em todos os setores. Este gênero de inovação gera um novo mercado com uma nova "qualidade" para um outro público.

Inovar é fazer "melhor" ou "aprimorar". Em muitas circunstâncias, inovar é fazer o elementar para cumprir as exigências básicas do mercado. É, na verdade, criar outro padrão de qualidade sem ter necessariamente que melhorar, ou seja, apresentar o produto ou serviço nas suas características básicas para o seu funcionamento excluindo todos os extras que são dispensáveis, obtendo-se uma diminuição de custo.

Uma inovação sustentada ou contínua é uma tecnologia que resulta num produto ou serviço melhor. Já a disruptiva por sua vez traz inicialmente um produto pior em relação ao modo como o mercado faz a avaliação. Traz também um novo conjunto de atributos que permitem ao produto ser usado de uma maneira diferente dos que existiam antes.

A inovação contínua, atua como um forma de levar melhores opções ou novas tendências de consumidores, uma forma de levar uma nova proposta de valor para produtos no mercado. É como se uma empresa adotasse um sistema novo, que proporcionasse uma evolução significativa, porém não buscasse novos mercados.

A inovação disruptiva tem a intenção de criar um novo mercado. Isto é, oferecendo o produto a pessoas que até então não eram consumidores, muitas vezes, a uma qualidade mais funcional, mas a um preço acessível. Um exemplo pode ser o *Ipod* e o *Itunes* que reinventaram a forma de se ouvir e vender músicas, respectivamente.

A ideia é criar uma estratégia que paralise o líder e reinvente o mercado, oferecendo serviços / produtos que fujam do que a concorrência oferece, mas sejam realmente diferentes para novos mercados.

Não podemos deixar de citar como exemplo de inovação a *Toyota*, com o seu modelo de Gestão *Lean*, como a *Starbucks* que oferece a experiência de tomar café como um serviço ao seu bem-estar e até mesmo a *McDonald's* que reinventou a forma de alimentação propondo uma coisa totalmente nova. Observar tendências e olhar para onde o concorrente não está olhar pode ser uma boa saída.

Para que cada uma destas inovações tenha sucesso é necessário entender bem as necessidades do consumidor, prever o que o mercado irá necessitar num futuro próximo: se de um bem ou produto muito elaborado ou algo mais simples e com custos menores.

2.3 Inovação nos Serviços

O debate teórico acerca da inovação nos serviços é bastante recente e controverso.

Por um lado, os autores debruçam-se sobre a validade de se trabalhar com o conceito de inovação em organizações do setor de serviços. Isto é, debatem se o setor de serviços possui a capacidade de gerar inovações endogenamente ou, caso contrário, se as mudanças verificadas são

subprodutos de processos de inovação originários da indústria. Por outro lado, onde esta discussão se encontra superada, emerge um segundo ponto: a conveniência de uma teoria específica para a inovação em serviços. Ou seja, considerando que as organizações do setor de serviços inovam, em que medida este processo guarda especificidades em relação ao verificado na manufatura e que, portanto, mereçam uma explicação diferenciada.

De forma sintética, como aponta Gallouj (1998), as várias respostas presentes na literatura a estas duas questões conformam as principais abordagens teóricas sobre a inovação em serviços, como se explicita em seguida.

a) A abordagem tecnicista - É a que domina a maioria dos estudos empíricos sobre inovação em serviços efetuados até hoje. Baseia-se na concepção de que a inovação em serviços é resultado da adoção de inovações tecnológicas desenvolvidas no setor de produção de bens de capital. Assim, a análise da inovação em serviços não seria a análise de um processo de inovação em si, mas a apreciação do processo de difusão de inovações tecnológicas da indústria no setor de serviços.

A principal tentativa de sistematização desta abordagem foi proposta por Barras (1986). No seu modelo do "ciclo reverso do produto", Barras sustenta que a inovação em serviços percorreria um ciclo ao contrário do verificado nas inovações tecnológicas. No primeiro momento, a introdução de nova tecnologia, ao invés de causar impacto radical e lucros extraordinários, no sentido "schumpeteriano", levaria apenas ao aumento da eficiência na prestação de serviços existentes. Seria, portanto, uma fase inicial de inovações incrementais destinadas à melhoria da eficiência. No segundo estágio do ciclo, Barras aponta que as inovações seriam ainda incrementais, mas já voltadas para melhorias na qualidade do serviço. No estágio final, quando o processo de difusão tecnológica estaria em sua fase mais avançada, então a tecnologia levaria à constituição de novos serviços (inovações radicais) ou recombinações de serviços já existentes.

Embora o seu propósito, explicado no título do seu artigo, tenha sido o de constituir uma teoria da inovação em serviços, o modelo do "ciclo reverso do produto" acaba por reforçar a concepção de que a indústria é o "locus" da inovação e os casos analisados reforçam a sua caracterização como um modelo de análise, isto sim, dos impactos da tecnologia da informação sobre os serviços (Gallouj, 1998).

b) A abordagem baseada nos serviços - Procura ressaltar modalidades de inovação específicas do setor de serviços (em especial as chamadas inovações ad hoc definidas mais adiante). A constituição de um novo serviço dá-se por meio da instituição de um "serviço básico" ao qual podem estar associadas inovações incrementais em "serviços periféricos". Com o mesmo sentido, esta abordagem procura identificar e definir trajetórias intangíveis dos serviços em contraposição às trajetórias tecnológicas.

A ideia central deste enfoque é que a relação usuário-produtor, principal característica distintiva das relações produtivas em serviços, mesmo tendo em conta as variações do seu grau de intensidade, de acordo com o ramo dos serviços considerado, oferece oportunidades para a inovação na elaboração de um serviço que superam qualquer processo de mera difusão de inovação tecnológica de processo ou de produto (Hauknes, 1998).

- c) **A abordagem integradora**- Este enfoque propõe-se a reconciliar bens e serviços, integrando-os definitivamente numa única teoria da inovação. Mesmo ressaltando as especificidades dos serviços, a abordagem integradora considera que a inovação envolve características genéricas, em que a ênfase recairá sobre peculiaridades da manufatura ou dos serviços de acordo com a intensidade da relação usuário-produtor verificada no mercado específico em análise. Conforme esclarece Hauknes (1998), esta abordagem sustenta que "existe um processo de convergência ao longo de um continuum entre a manufatura e os serviços"(Hauknes, 1998, p. 28). Como decorrência disto, estabelecem-se características funcionais que possam ser extensivas a produtos e serviços e, a partir delas, as tipologias das inovações que permitam abrigar indústria e serviços.

A apreciação destas abordagens leva a crer que as respostas aos questionários iniciais estão vinculadas, acima de tudo, ao conceito de inovação subjacente. Por exemplo, o conceito adotado pela abordagem tecnicista, que reduz a noção de inovação ao surgimento de um novo objeto técnico, cujo conhecimento está precisamente codificado *á priori*, desconsiderando as peculiaridades dos serviços, não permite uma análise adequada aos processos de mudança, inerentes a este setor. Assim, seguindo a abordagem integradora, a análise da inovação em serviços deve pressupor um conceito de inovação bastante amplo, tipicamente schumpeteriano, cuja inovação pode ser identificada em uma das situações mencionadas abaixo (Schumpeter, 1985):

- Introdução de novo serviço ou de nova qualidade de serviço;
- Introdução de novo método para prestação de serviço, como, por exemplo, nova forma de entrega de serviço;
- Abertura de novo mercado;
- Obtenção de nova fonte de matéria-prima ou de insumos intermediários;
- Estabelecimento de nova forma de organização de uma determinada indústria em que a empresa que estamos analisando opere;

Na perspectiva exposta por Dosi (1982), essas situações enumeradas por Schumpeter e, portanto, as atividades de inovação, podem ser entendidas como atividades inseridas num processo de resolução de problemas. Estes processos, por sua vez, estão contextualizados sob determinada estrutura técnica, cultural, social e económica, enfim, sob determinado ambiente institucional. Por isso Gallouj (1997) procura estabelecer a relação entre paradigma tecnológico, ou paradigma técnico-económico e inovação no setor de serviços.

A noção de paradigma tecnológico tem a sua origem em Dosi (1982). Ele define como modelo ou padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados derivados das ciências naturais e sobre tecnologias materiais selecionadas (p. 152). Esta noção foi ampliada por Freeman e Perez, ao proporem o conceito de paradigma tecno económico, "devido às mudanças envolvidas irem além de trajetórias de engenharia específicas, para tecnologias de produto e processo, e afetarem a estrutura de custos dos insumos e as condições de produção e distribuição por meio do sistema"(Freeman & Perez, 1988, p. 47).

Os mesmos autores definem o atual paradigma como o paradigma tecno económico da informação, em que os serviços ocupam importantes funções. Neste sentido, diz Gallouj (1997), devem ser analisados na sua relação com os demais setores da atividade económica, em especial com a indústria, sob a ótica dos impactos que lhe são causados pelo atual paradigma tecno económico, como faz a abordagem tecnicista, mas também pelo papel que os serviços colocam neste paradigma.

As inovações em serviços podem assumir inúmeras trajetórias entre as possibilidades oferecidas pelo ambiente institucional. Estas trajetórias, por sua vez, não se restringem a trajetórias tecnológicas, definidas por Dosi (1982) como os padrões geralmente adotados na solução de problemas e, portanto, os padrões do progresso técnico. O que Gallouj (1997) ressalta é a importância das inovações institucionais ou organizacionais, definidas como "mudanças nas regras que governam os modos de interação entre os indivíduos numa firma ou organização"(p. 27).

Estas inovações institucionais dariam origem a trajetórias institucionais ou organizacionais que, embora não estejam diretamente associadas com qualquer inovação tecnológica, guardam relação com o paradigma tecno económico vigente (Lakschmanan, 1989). A combinação e evolução destas trajetórias são únicas, de acordo com as opções que as empresas estabelecem. Como esclarece Zawislak (1996), "o processo de resolução de problemas e, por consequência, o processo de inovação são uma característica que irá mostrar-se diferente de uma organização para outra que gera comportamentos diferentes e histórias individuais diferentes".

As forças que dirigem este processo podem ser externas ou internas. As forças externas, segundo Sundbo e Gallouj (1998b), estão relacionadas com as trajetórias institucionais, tecnológicas, gerenciais, sociais e profissionais que influenciam determinados serviços, além das relações específicas estabelecidas com os competidores, fornecedores, com o setor público e, especialmente, com os clientes. As forças internas, por sua vez, são estabelecidas pela existência, ou não, de estruturas formais dedicadas à inovação, pelo envolvimento dos trabalhadores no processo de mudança e pela integração do processo de inovação ao planeamento estratégico da organização.

As diferentes formas como estas forças se podem combinar em cada situação específica determinará o padrão de inovação. Neste sentido, a inovação em serviços pode, enfim, ser tomada como processo de decisão endógena das organizações que compõem o setor e que reflete os matizes e componentes específicos que decorrem da própria natureza dos serviços. Já quanto aos tipos de inovação em serviços verificados, segundo Sundbo e Gallouj (1998b), pode-se observar o que se explicita a seguir:

- **Inovações de produto:** relacionados com o fornecimento de novo serviço, como, por exemplo, novo seguro, nova linha de financiamento, oferta por um hospital do atendimento de nova especialidade médica.
- **Inovações de processo:** relacionados com a modificação de procedimentos prescritos para a elaboração/produção de um serviço (back office) ou nos procedimentos de atendimento do usuário/cliente e de entrega do serviço (front office).
- **Inovações organizacionais ou gerenciais:** relacionadas com a introdução de novas ferramentas gerenciais ou novos modelos de gestão.
- **Inovações de mercado:** relacionadas com a descoberta de novos mercados, com a identificação de nichos num mesmo mercado ou, ainda, com a mudança de comportamento da organização no mercado em que ela se insere.

Entretanto um novo tipo de inovação deve ser considerado. Conforme salienta Hauknes (1998), a intensidade da relação usuário/produtor nos serviços deve levar a considerar o usuário (ou cliente) como importante fonte de formação de competências. Neste sentido, ele prossegue, a inovação em serviços poderia ser considerada "um processo de generalização de capacidades obtidas nas relações específicas com o cliente"(p. 30). Sundbo e Gallouj (1998a) afirmam, no mesmo rumo, que o processo de inovação em serviços é essencialmente um processo interativo, em que o provedor dos serviços mantém ligações internas e externas que conduzem à inovação. Neste processo, surge um novo tipo de inovação, denominada inovação ad hoc (ou "adocrática" ou ainda contingencial), resultado de um processo de resolução de problemas do usuário através da co-produção do serviço. Sundbo e Gallouj (1998b) definem a inovação ad hoc como "a construção interativa (social) de uma solução (estratégica, organizacional, social, legal etc.) para um problema particular posto pelo cliente.

Este tipo de inovação é coproduzido pelo cliente e pelo provedor do serviço. Ele não é reproduzível, a não ser indiretamente, por meio da codificação, da formalização de parte da experiência e da competência. Este tipo de inovação, segundo vários autores, é frequente em serviços intensivos em conhecimento. Pode-se depreender, no entanto, que em toda a atividade de prestação de serviços haverá espaço para este tipo de inovação em maior ou menor grau, dependendo da intensidade da relação usuário-produtor e da especificidade do problema a ser resolvido.

Capítulo 3

Simulação

No contexto da globalização da economia, as empresas tentam alcançar os seus objectivos através de novas ferramentas e aplicações, que diminuam custos e tragam mais valias para a mesma. A simulação é uma ferramenta valiosa, que faz com que se teste a realidade sem ela ter acontecido não implicando custos reais. A Simulação é uma das ferramentas mais poderosas disponíveis aos decisores, responsáveis pelo desenho e funcionamento de sistemas e processos complexos.

A simulação de eventos discretos é uma forma de obter melhorias e mais valias numa empresa pois através desta ferramenta podem-se prever e antecipar decisões.

Neste capítulo introduzimos os conceitos base de simulação, de modelação conceptual e descrevemos pormenorizadamente a ferramenta de simulação que usamos (Matlab/Simulink).

3.1 Definições e Conceitos

Existem muitas formas de definir o termo "Simulação". Fazendo uma pesquisa num dicionário de Língua Portuguesa concluímos que a palavra simulação significa o "**ato ou efeito de imitar**". Para alguns autores Simulação é:

- Segundo **Banks**, a imitação do funcionamento de um processo, ou sistema do mundo real, ao longo do tempo, envolve a criação e observação de uma história artificial do sistema de forma a se poder tirar conclusões sobre as características do sistema real representado.
- Segundo **Shannon**, é o processo de desenhar um modelo de um sistema real, conduzir experiências usando esse mesmo modelo, com o propósito de compreender o comportamento do sistema, e/ou avaliar várias estratégias para o seu funcionamento. Assim, é crucial que o modelo seja desenhado de forma que o seu comportamento imite o comportamento do sistema real a eventos que ocorrem com o passar do tempo.

Destas duas definições, conclui-se que ambos os autores concordam que simular é o ato de imitar o comportamento de um modelo de um sistema real.

Ingalls afirma que independentemente da complexidade de um sistema, é bastante provável que um perito em simulação seja capaz de criar um modelo que o avalie, no entanto, quanto mais complexo for o sistema, mais tempo será preciso para o modelar e simular.

Este facto leva à necessidade de definir os termos "modelo" e "sistema". Assim para estes dois termos encontram-se na literatura da área várias definições: Segundo **Carson**, um modelo é a representação de um sistema ou processo, e um modelo de simulação é uma representação que muda com o tempo, já **Shannon** afirma que um modelo é a representação de um grupo de objetos ou ideias numa forma que não a da própria entidade. Um sistema é um grupo de elementos interligados que cooperam entre si de forma a atingirem um objetivo definido.

A modelação é o processo de criar um modelo. E um modelo é a representação da construção e funcionamento de um sistema.

Uma simulação é uma imitação de uma operação, ou sistema do mundo real, quer seja manual, ou executado computacionalmente, a simulação envolve a geração de uma historia artificial de um sistema, e a observação dessa historia leva á criação de características do sistema real. O comportamento de um sistema ao longo do tempo é estudado criando um modelo de simulação.

Os pressupostos assumidos do sistema são expressos matematicamente, logicamente e simbolicamente. Uma vez desenvolvido ou validado o modelo pode ser usado para testar vários grupos do mundo real.

Potenciais mudanças podem ser simuladas no sistema, antes de serem testados na realidade. Um modelo pode ser desenvolvido matematicamente ou através de um estudo estatístico. Contudo muitos sistemas reais são demasiados complexos de modo a tornar-se impossível testar o sistema matematicamente, sendo portanto necessário utilizar simulação computacional.

Devido ao avanço tecnológico/computacional a linguagem de modelação tem sido uma ferramenta muito importante, pois diminui custos de operação, e aumenta as metodologias em operação, o que torna a modelação numa ferramenta muito bem sucedida. A simulação pode ser usada com os seguintes objectivos:

- Promover o estudo e experimentação de interações internas complexas ou de um subsistema com sistema complexos;
- Estudar mudanças ambientais e organizacionais que podem ser simuladas, bem como os efeitos das suas alterações;
- Promover a aplicação de melhorias num sistema através do conhecimento obtido na construção do modelo;
- Usar a simulação para fins pedagógicos para formar colaboradores e técnicos;
- A simulação é usada para testar novos desenhos de processos e de apoio na definição de prioridades de gestão;
- A simulação pode ser usada para resolver analiticamente problemas de engenharia;

Simulação é intuitivamente apelativa para o cliente, pois minimiza o que acontece num sistema real. Por ser um método que se pode alterar em qualquer momento as características do sistema, e assim, poder observar o novo comportamento com essas alterações.

Com a simulação podemos ter novos procedimentos, regras, sistemas de informação que podem ser testados e melhorados sem interferir na paragem do sistema real. Também na aquisição de novos equipamentos, ferramentas ou layouts a simulação pode ser importante reduzindo os custos de aquisição.

A simulação permite uma análise ao "stocks" de forma a descobrir onde está o estrangulamento de produção ou as filas de espera de um serviço. Uma simulação ajuda a perceber como o sistema funciona e não como as pessoas afirmam que é.

As áreas de aplicação da simulação são inúmeras, entre as que se destacam:

- Sistemas de produção;
- Sistemas públicos: Cuidados de saúde, militar e recursos naturais;
- Sistemas de transporte;
- Sistemas de construção;
- Restauração e entretenimento;
- Sistemas informáticos;
- Etc.

3.2 Modelação conceptual na Simulação

Nesta visão global, um sistema é visto como um conjunto de unidades discretas de tráfego que se movem ("fluxo") de ponto a ponto no sistema, enquanto competem uns com os outros, para o uso de recursos existentes no sistema. As unidades de tráfego, são chamadas de "transações", dando origem à frase "fluxo de transações."

Numa simulação discreta de eventos, o estado de um modelo muda apenas num evento discreto, mas possivelmente aleatório dando origem a um conjunto de pontos simulados no tempo, chamado muitas vezes de eventos. Duas ou mais unidades de tráfego, muitas vezes, têm de ser manipulados ao mesmo tempo. Tal movimento "simultâneo" de tráfego é conseguido através da manipulação de unidades de tráfego em série por unidades de tempo. Isto conduz a complexidades lógicas, porque aumenta questões sobre a ordem em que duas ou mais unidades de tráfego estão a ser processados num determinado intervalo de tempo. O designer deve tomar as exigências lógicas da DES em conta de uma forma generalizada. Como resultado, apesar de uma linguagem específica a simulação discreta de eventos é semelhante em termos gerais, podendo diferir em detalhes subtis, mas importantes.

Para modelar um sistema, é necessário descrevê-lo, este é um grupo de objectos que estão juntos em algumas interações de forma a alcançar objetivos, um exemplo é a indústria automóvel em que as máquinas constroem os componentes e os operadores fazem a sua assemblagem, um sistema é afetado pelas suas fronteiras, sendo portanto necessário definir quais são, dependendo do caso em estudo.

A construção de modelos requer um treino e conhecimento muito elevado, pois os modeladores podem fazer dois modelos diferentes para o mesmo caso e estarem os dois corretos, os resultados podem ter uma interpretação difícil, pois as saídas das variáveis, são baseadas em entradas aleatórias. A simulação pode demorar muito tempo e pode ser muito cara.

A entidade é um objeto de interesse no sistema, um atributo é uma propriedade de um entidade. A atividade representa um período de tempo com uma determinada duração, se estamos a modelar um serviço como um balcão de um banco os clientes podem ser as entidades, o balanço de consulta das suas contas é um atributo, e fazer depósitos é uma atividade.

O estado do sistema é um conjunto de variáveis que definem o sistema em qualquer momento e um evento é definido como uma ocorrência instantânea que pode mudar o estado do sistema.

Um sistema discreto é um sistema em que as variáveis de um estado mudam somente num certo período de tempo. Um sistema contínuo, é um sistema em que as variáveis estão sempre a mudar ao longo do tempo.

Os modelos podem ser físicos ou matemáticos. Uma simulação estática conhecida por simulação de monte carlo representa um sistema num determinado ponto no tempo.

Simulação dinâmica representa modelos que variam ao longo do tempo, modelos que não contenham variáveis aleatórias são definidos como determinísticos. Um modelo de simulação discreta nem sempre é usado para um sistema discreto, nem uma simulação contínua é usada no sistema contínuo, ou seja, os modelos podem ser uma combinação.

Resumidamente podemos concluir que existem uma grande diversidade de modelos dependendo da sua aplicabilidade entre os quais se distinguem:

- **Contínuos** - o tempo de simulação avança de forma contínua, em intervalos de tempos iguais;
- **Discreto** - o tempo de simulação é baseado na ocorrência de eventos, ou seja, avança de evento em evento;
- **Estático** - o estado do sistema é descrito apenas para determinado momento, e geralmente a variável de tempo não é importante;
- **Dinâmico** - o estado do sistema é descrito baseado numa variável de tempo, este evoluiu com o decorrer do tempo;
- **Determinísticos** - os valores introduzidos na simulação são constantes;
- **Estocásticos** - os valores introduzidos na simulação são aleatórios;

Por vezes é interessante estudar um sistema de modo a perceber a relação entre os componentes e o seu comportamento aquando da aplicação de novas medidas. Outras vezes pode ser muito difícil conhecer um sistema pois este pode até ser uma hipótese ,ou seja , ainda não existir, e ao existir pode não ser possível conhecer todos os parâmetros necessários para a sua aplicação.

Um modelo, é uma simplificação de um sistema, pois este contém o essencial de modo a vir representar o sistema. O objetivo de estudo define o tipo de modelo a usar. Os modelos de simulação são analisados numericamente mais que métodos analíticos. Podemos usar método analíticos, que com diferentes cálculos, podem dar o mesmo resultado.

Passos no estudo da simulação:

Formulação do problema - Todo o estudo devia começar com uma análise do problema, sendo este conhecido, e bem identificado, pois por vezes alguns problemas advêm do desconhecimento do problema.

Definição dos objetivos e do plano - Os objetivos é o que se pretende alcançar com a simulação, assumindo a simulação mais aproximada do nosso problema real, deve ser feito um plano que contenha sistemas alternativos, de modo a perceber qual dos modelos é o mais apropriado, rápido e eficaz, para o nosso problema.

Conceção do modelo – A conceção de um modelo tem tanto de arte como ciência. Embora não haja modelos perfeitos, durante um espaço de tempo há itens que podem ser seguidos. Tem de haver uma abstração do problema em si, de modo a abrir horizontes, de onde podem surgir novas soluções (open mind). Um modelo deve iniciar-se como algo simples aumentando a sua complexidade, de forma a ficar o mais próximo possível da realidade, e com todos os seus pormenores incluídos no modelo.

É importante ter um modelador ou alguém que conheça bem o sistema real, na execução do modelo, pois estes têm um conhecimento mais aprofundado do sistema , minimizando alguns erros de processo que possam existir.

Recolha de dados- Os elementos necessários variam consoante a complexidade do sistema; a recolha de dados deve ser a mais pormenorizada possível, sendo também importante que seja registada a informação o mais cedo possível, de modo a que algumas falhas sejam logo corrigidas.

Os dados são muito importantes, pois são eles que nos indicam se o nosso modelo está a ter os resultados pretendidos, em comparação com o sistema real.

Com o avanço informático os dados a recolher são em maior número, como consequência os resultados são mais aproximados do sistema real. Os dados devem ser compatíveis para qualquer sistema informático, de forma a que o modelo tenha uma utilização mais diversa.

Hoje em dia existem vários simuladores, e compete ao simulador escolher o que mais se adapta à sua situação; com os sistemas informáticos o tempo de execução dos modelos diminuem.

Verificação - O programa de computador está preparado para o modelo do sistema; é muito difícil converter um modelo completo para um programa de computador já predefinido, pois estes

softwares são elaborados para casos gerais e não contêm a pormenorização necessária para cada caso em particular.

Validação - É a determinação de que o programa representa realmente o sistema, serve também para alcançar a calibração do modelo, comparando com o sistema real, de modo a aproximar ainda mais da realidade.

As alternativas que estão a ser simuladas, devem ser simuladas frequentemente. Para cada sistema deve ser determinado o tempo de simulação bem como o número de repetições do sistema.

Análise - Com a execução de inúmeras simulações são obtidos dados e seguidamente é feita análise aos mesmos. Tendo como base a análise anterior, deve-se analisar se os dados são suficientes, ou se é necessário executar mais vezes o programa.

Documentação e relatório - Há dois tipos de documentação: uma relativa ao programa e outra ao processo; a documentação do programa é muito importante, pois este pode ser guardada de modo a vários utilizadores terem acesso ao mesmo, e adaptarem-no ao seus casos em particular, fazendo com que o programa seja mais universal e mais real. O relatório deve ser um processo de melhoria contínua, pois é neste que estão contidos os pontos fracos e fortes do nosso problema, e com a sua análise podem ser corrigidos ou melhorados posteriormente, logo a sua realização deve ser metódica.

Implementação - A implementação depende do sucesso dos pontos anteriores sendo o mais importante a **validação**, se todos os passos forem executados então a simulação deve ser implementada.

Em grande parte o modelo de simulação é elaborado em ferramentas computacionais, podendo no entanto ser executado manualmente mas com as novas ferramentas tecnológicas o aproveitamento do tempo é elevadíssimo. Há várias vantagens na simulação computacional, quando comparada com simulação direta e real.

A primeira prende-se com os custos envolvidos: é muito menos dispendioso efetuar experiências com o modelo de simulação do que com o sistema real, especialmente quando são utilizados equipamentos com um custo elevado.

Um outro aspeto, tem a ver com os riscos presentes, quer materiais quer humanos, na realização de testes reais, pois os resultados são inesperados enquanto na simulação computacional isso não ocorre, os testes são realizados em ambientes virtuais.

Uma das desvantagens constatadas na simulação computacional, deve-se ao tempo despendido no estudo, nas técnicas e na execução de softwares, que em termos analíticos seria de menor duração na execução de algumas etapas.

3.3 Ferramentas e Tecnologias de Simulação

Durante muitos anos, a simulação tem sido utilizada para a análise da produção, problemas de logística e muitos processos de gestão. Em muitos casos, foram desenvolvidos pacotes de softwares de apoio á visualização e simulação de processos dentro de vários contextos.

Existem várias ferramentas e tecnologias no mercado para a simulação, o que torna o processo de selecção um problema a superar. Esta escolha pode significar o fracasso ou sucesso da simulação pretendida. Como tecnologias candidatas a executarem uma simulação existem as linguagens de programação genéricas ou convencionais, as linguagens de simulação e os simuladores (software dedicado). Em todas estas existem vantagens e desvantagens.

As linguagens de programação genéricas têm um nível de flexibilidade muito elevado, mas exigem conhecimentos de programação ao modelador, bem como muito mais tempo para a criação do modelo, do que as alternativas. São exemplos destas linguagens o C, C++, Java, FORTRAN, Pascal e Python.

As linguagens de simulação foram criadas especificamente para a criação de simulações e por isso têm a vantagem de estar vocacionadas para a área. No entanto, a necessidade de conhecimentos de programação mantém-se como um requisito para a construção da simulação. Embora sejam menos flexíveis, pois limitam a criatividade, dispõem de um interface com o programador, o que facilita todo o trabalho de programação e desta forma o tempo de conceção do modelo diminui. Nas diversas linguagens disponíveis, algumas foram criadas para certas áreas, outras são mais genéricas e abrangem mais mercados. São exemplos de tipo de linguagens o SIMAN, GPSS, DYNAMO, Simula e SIMSCRIPT.

Os simuladores surgiram com o objetivo de facilitar a criação de modelos de simulação. Embora sejam precisos alguns conhecimentos ao nível da programação do simulador, este é muito pequeno quando comparado com as alternativas anteriores, e em muitos casos o interface do simulador com o modelador quase que elimina este requisito. A grande desvantagem destas ferramentas é o seu custo elevado quando comparado com o custo (ou ausência dele em alguns casos) das mencionadas em cima. A flexibilidade na modelação do sistema é bastante menor nos simuladores, no entanto o tempo de conceção dos modelos é bastante mais rápido que em qualquer uma das alternativas. Dentro deste mercado existem várias hipóteses, umas mais genéricas, outras mais específicas em certas áreas. Como exemplos de simuladores temos o Rockwell Arena, Simio, Anylogic, Simulink. No nosso caso irá ser usado o Simulink, pois é um software muito geral e com infinitas de aplicações e modelagens.

3.3.1 Simulação em Mat Lab (Simulink)

Como foi referido anteriormente, o software aplicado será o Simulink pois não é um simulador específico, ou seja, pode ser alterado e melhorado de forma a termos uma simulação em que haja uma melhoria continua no tempo.

O Simulink é um software para modelar, simular, e analisar sistemas dinâmicos. É um software que suporta grandes variedades de sistemas, tais como, lineares e não-lineares, modelados em tempo contínuos, tempo discreto ou a mistura dos dois.

Para modelar, o Simulink possui uma interface gráfica com utilizador (GUI - Graphical User Interface) e para construir modelos utiliza diagramas de blocos, usando as operações de clicar-e-arrastar do rato. Com esta interface, o programador pode construir os modelos de forma simples, como se efetua-se no papel. Esta abordagem constitui um enorme avanço relativamente às

soluções tradicionais, que utilizam métodos numéricos.

O Simulink inclui um conjunto de bibliotecas de blocos pré-definidos, que ajudam na redução de tempo, para a criação do modelo de simulação, uma vez que os blocos já se encontram nas bibliotecas, não sendo necessário programá-los desperdiçando-se tempo, alguns blocos permitem também que se vejam os resultados enquanto a simulação estiver em execução. Além disso, o utilizador consegue em tempo real alterar os parâmetros e verificar os resultados obtidos.

Os resultados da simulação, podem ser enviados para o workspace do MATLAB para visualização e utilização posterior. Outras ferramentas do MATLAB podem ser usadas no Simulink, sendo por esse facto que o MATLAB e o Simulink estão integrados.

É possível simular, analisar e rever os modelos em qualquer ambiente em qualquer ponto. O SIMULINK é uma extensão gráfica do MATLAB, para a simulação dinâmica de sistemas. Existem duas fases distintas de uso: a definição do modelo e análise do modelo. Para facilitar a definição do modelo, o SIMULINK fornece uma ferramenta gráfica de edição em blocos, onde o modelo é criado e editado tipicamente com o rato.

Depois de definir o modelo, este pode ser analisado diretamente, no menu na janela atual do SIMULINK, ou entrando nos comandos devidos, pela janela de comando do MATLAB.

Dentro das ferramentas de análise de modelos, temos a simulação propriamente dita, linearização de modelos, etc.

Muito sucintamente podemos considerar alguns pontos de relevância e que se podem encarar como vantagens em relação ao ambiente MATLAB:

- Permite observar o comportamento dos sistemas de uma forma prática e fácil;
- Permite representar os sistemas de controlo, como se de um diagrama de blocos se tratasse;
- Aplicável para sistemas de controlo discretos;
- Cooperação entre o ambiente MATLAB e o ambiente simulink (pode-se exportar e importar informação entre ambos os ambientes);
- Existência de um conjunto de blocos pré-definidos que incluem, controladores, filtros, elementos somadores, funções de transferência, etc.;
- Capacidade de utilização de bibliotecas de tempo real para aplicações;
- Um procedimento consideravelmente simplificado;
- Possibilidade de um uso múltiplo de modelos matemáticos básicos;
- A possibilidade de comparar os resultados teóricos e experimentais;

O SIMULINK permite que se represente um sistema dinâmico por meio de diagramas em bloco.

Para definir um sistema, os blocos são copiados das bibliotecas de blocos padrões do SIMULINK. A biblioteca padrão é organizada em vários subsistemas, que agrupam blocos, de acordo com a função pretendida. Para correr o SIMULINK, primeiro é necessário inicializar o MATLAB clicando duas vezes sobre o ícone do Windows e então entrar no comando Simulink.

Este comando mostra uma nova janela contendo ícones dos blocos de subsistemas que constituem a biblioteca padrão.

3.3.2 Definições e conceitos da simulação de eventos discretos

Existem diferentes termos nas linguagens de simulação que utilizam definições diferentes para conceitos semelhantes ou até iguais. Por isso, para uniformizar e explicitar as ferramentas que usamos, vamos neste sub-capítulo definir melhor os conceitos base: entidade, evento, actividade, etc.

A **entidade** é um termo usado para designar uma unidade de tráfego (a "operação"). Um evento é um acontecimento que muda o estado de um modelo. Num modelo de um sistema de uma linha de enchimento, por exemplo, a chegada de uma encomenda pode ser simulada por uma entidade trazida para o modelo de simulação.

Existem dois tipos possíveis de entidades, referidas como entidades externas e entidades internas.

Entidades externas são aquelas cuja criação e movimento é explicitamente providenciado pelo modelador. Em contraste, entidades internas são criados e manipulados implicitamente pelo software de simulação em si. Por exemplo, as entidades internas podem ser usadas em algumas línguas para simular falhas da máquina, enquanto entidades externas podem ser usadas para simular o uso de máquinas.

No nosso caso de estudo a entidade é a ordem de trabalho que se cria para executar trabalhos de manutenção de equipamento de energias renováveis.

O termo **recurso** designa um elemento do sistema que fornece o serviço (por exemplo, um torno, um sistema automatizado, ou um espaço de uma memória intermédia de entrada). Os utilizadores de recursos são normalmente entidades. (Por exemplo, um transporte de matéria prima para um "armazém de entrada". Os recursos são geralmente de capacidade limitada.

Uma **atividade** representa normalmente um tempo de serviço, um tempo ou outro tempo de processo cuja duração foi caracterizada ou definida pelo modelador, a duração de uma atividade pode ser especificada de várias maneiras: "**Deterministicamente**", por exemplo: - 5 minutos exactos; "**Estatisticamente**", por exemplo: - 5 minutos em média com uma variância de 1 minuto; **Uma função** determinada pela característica do sistema.

Em contraste com a atividade, um atraso não é especificado por um modelador, mas determinado pelas condições do sistema. Muito frequentemente, um atraso é medido através das saídas desejadas, tipicamente um atraso termina quando uma condição lógica se inicia. Muitas vezes um atraso é definido como uma espera condicional, enquanto que a atividade é chamada espera

incondicional, quando uma atividade fica completa é um evento, chamada posteriormente como um evento primário. A duração de uma actividade não é afectada por outros eventos.

As entidades listadas são sempre ordenadas por alguma regra, como LIFO ou FIFO, ou ordenadas por prioridade ou devido à informação. A lista de eventos futura está sempre orientada pelo tempo que o evento demorou.

O termo elemento de controlo designa uma construção que suporta outros tipos de alternativas de atraso ou lógica com base no estado de um sistema. Os elementos de controlo podem assumir a forma de interruptores, balcões, valores de dados de utilizadores, e valores de dados do sistema construído na ferramenta de modelação. As condições de controlo complexos podem ser baseados em expressões que usam aritmética e / ou combinações de elementos de comando booleanas.

Uma operação é um passo levado a cabo por ou sobre uma entidade, enquanto se move através de um sistema por exemplo. As operações aplicáveis a um navio num porto, podem ser estes: chegar ao porto, solicitar uma vaga no porto, pedir um rebocador, ser transportado para o cais, carregar ou descarregar material, pedir um rebocador e ser transportado para o mar.

Em resumo:

- **Sistema.** Um conjunto de entidades (pessoas ou máquinas) que interagem entre si de modo a atingir os objectivos.
- **Modelo.** Representação abstração de um sistema, normalmente contém uma relação estrutural matemática ou lógica que descreve o sistema em termos de estado, entidades, processos, eventos, atributos e atrasos.
- **Estado de um sistema.** Um conjunto de variáveis que contém toda a informação de modo a descrever o sistema a qualquer momento.
- **Atributos.** Propriedades de um sistema.
- **Lista.** Um conjunto de entidades associadas, ordenadas de uma forma lógica.
- **Facto.** Uma ocorrência que acontece num determinado período no futuro, mas com a informação para tal.
- **Lista de Eventos.** Uma lista de eventos que ocorrem infinitamente, ordenado pelo termo de operação, também conhecida por Future Lost Event (FEL).
- **Tempo (T).** representa uma espécie de tempo de simulação em cada modelo. O tempo é um valor inteiro e neste padrão não tem unidades específicas para a medir.
- **Evento (E).** Um evento especifica um sistema instantâneo de transição entre dois estados diferentes ao mesmo tempo T.
- **Entidade (e).** Uma entidade é algo que é processado, por exemplo, uma matéria-prima ou um produto. Vai através de algumas filas e atividades que representam a produção de sistema e é definido pelos seus atributos.

- **Fila (Q).** É uma fila de entidades administradas com algumas especificidades da filosofia de fila (LIFO, FIFO, etc.).
- **Atividade (A).** É um processo ou ação demorado, ou o passo com uma duração conhecida.
- **Recurso (R).** Um recurso é algo que é necessário para uma atividade começar. Em ambientes de produção, normalmente as máquinas e operadores.
- **Estrutura de dados (D).** É semelhante a um recurso, mas existem diferenças de modelação em termos de semântica.

3.3.3 Descrição dos blocos DES no Simulink

As linguagens de simulação e os simuladores já têm um conjunto enorme de ferramentas pré-definidas para auxílio do analista e modelador. O Simulink para além de algumas bibliotecas com blocos comuns, tem uma biblioteca específica de simulação de eventos discretos. Descrevemos de seguida os principais blocos que usamos da biblioteca do Simulink de eventos discretos.

Bloco "Input Switch"(Filtro de entradas)

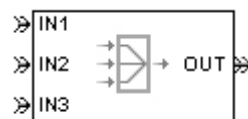


Figura 3.1: Input Switch (Filtro de entradas)

Este bloco aceita entidades através de um número definido de portas de entrada e só tem uma única porta de saída. Pode especificar-se o número de portas de entrada do bloco.

Se várias entidades chegarem ao bloco "Input Switch" simultaneamente, enquanto a porta de saída entidade não é desbloqueada, a sequência das entidades de partida dependem da sequência de eventos de partida de blocos que precedem o bloco "Input Switch". Embora o tempo de partida seja o mesmo para todas as entidades, a sequência pode afetar o comportamento do sistema. Por exemplo, se as entidades avançarem para uma fila, a sequência de partida determina as suas posições na fila.

Bloco "Single Server"(Atividade)

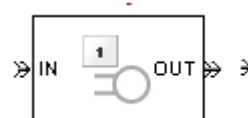


Figura 3.2: Single Server (Atividade)

Este bloco representa uma actividade sobre uma entidade por um período de tempo e, em seguida, se a porta de saída está bloqueada, então a entidade permanece neste bloco até que a porta fique desbloqueada. Se uma entidade neste bloco está prevista para um tempo limite, então pode sair prematuramente através uma saída opcional.

Se foi especificado o tempo de serviço, que é a duração do serviço, através de um parâmetro, atributo, ou de sinal, dependendo do tempo de serviço definido pelo parâmetro. O bloco determina o tempo de serviço para uma entidade após a sua chegada. Tempos de serviço são assumidos como especificados em unidades definidas de início do modelo de simulação.

Bloco "Output Switch"(Filtro de saidas)

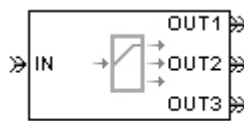


Figura 3.3: "Output Switch"(Filtro de saidas)

Este bloco recebe uma entidade de cada vez e define a saída através de uma das portas de saída fazendo que a entidade possa seguir uma caminho diferente na sua simulação. A porta seleccionada pode mudar durante a simulação.

Bloco "Set Attribute"(Definição de atributo)

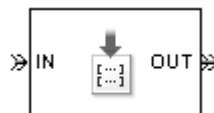


Figura 3.4: "Set Attribute"(Definição de atributo)

Este bloco aceita uma entidade, atribui-lhe valores e parâmetros. Os dados atribuídos são armazenados em campos específicos de acordo com tipo de atributo, nome e valor.

Bloco "Random Source"(Fonte aleatória)



Figura 3.5: "Random Source"(Fonte aleatória)

O bloco Random Source gera valores aleatórios de 0 a 1 seguindo uma distribuição uniforme. É possível definir outras distribuições estatísticas para servir de padrão para gerar numeros

aleatórios. No nosso caso de estudo utilizamos a distribuição de weibull com os parâmetros por nós definidos.

Bloco "FIFO Queue"(Fila de espera FIFO)



Figura 3.6: "FIFO Queue"(Fila de espera FIFO)

Este bloco armazena N entidades ao mesmo tempo, onde N é o valor do parâmetro de capacidade. O bloco retém a entidade se a porta de saída estiver bloqueada. Se o bloco está a armazenar várias entidades porque a porta de saída está bloqueada, o bloco armazena as entidades partir do conceito "first-in, first-out" modo (FIFO), isto é, sai primeiro a entidade que chegou primeiro. Se uma entidade tiver um tempo limite definido de espera, pode sair prematuramente através de uma saída opcional do bloco. O período de tempo que uma entidade fica neste bloco não pode ser antecipadamente determinado.

Bloco "LIFO Queue"(Fila de espera LIFO)



Figura 3.7: "LIFO Queue"(Fila de espera LIFO)

Este bloco armazena N entidades ao mesmo tempo, onde N é o valor do parâmetro de capacidade. O bloco retém a entidade se a porta de saída estiver bloqueada. Se o bloco está a armazenar várias entidades porque a porta de saída está bloqueada, o bloco armazena as entidades a partir do conceito "first-in, first-out" modo (FIFO), isto é, sai primeiro a entidade que chegou primeiro.

Se uma entidade tiver um tempo limite definido de espera, pode sair prematuramente através de uma saída opcional do bloco. O período de tempo que uma entidade fica neste bloco não pode ser antecipadamente determinado.

Bloco "Entity Combiner"(Combinador de atividades)

Este bloco gera uma nova entidade para cada conjunto de entidades que chegam simultaneamente das várias portas de entrada. As entidades que chegam são chamados entidades componentes. Podem representar diferentes partes dentro de uma entidade maior. As escolhas de parâmetro deste bloco determina se outros blocos podem terminar os atributos ou temporizadores das entidades e se a operação de combinação é reversível. Algumas escolhas de parâmetros exigem exclusividade de nomes de atributos ou temporizadores nas entidades componentes.

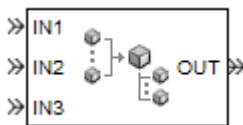


Figura 3.8: "Entity Combiner"(Combinador de atividades)

O bloco Combiner tem múltiplas entradas e uma porta de saída. A operação de combinação ocorre quando todas as entidades de componentes necessários estão prontos e a entidade resultante tem possibilidade de sair. Mais explicitamente, quando todos os blocos que se ligam às portas de entrada do bloco Combiner tem uma entidade pendente ao mesmo tempo e a porta de ligação para a porta de saída estiver disponível.

Bloco "Entity Sink"(Armazenamento de entidades")



Figura 3.9: "Entity Sink"(Armazenamento de entidades")

Este bloco fornece uma maneira de encerrar o percurso de uma entidade. Ao selecionar a porta de entrada disponível para chegadas de entidades, o bloco aceita sempre chegadas de entidades.

Bloco "Math Function"(Função matemática)

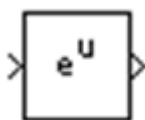


Figura 3.10: "Math Function"(Função matemática)

O bloco Função Matemática realiza inúmeras funções matemáticas, que servem para alterar parâmetros de atributos de entidades, definir tempos, comparar valores, etc.

Bloco "Get Attribute"(Recolha de atributos)

Este bloco gera valores usando os dados de atributos de entidades. Para cada entidade de chegada, o bloco atualiza o sinal nas portas de saída usando os valores dos atributos definidos. O bloco deixa a entidade inalterada.

Bloco "Enable Gate"(Portão de saida)

Este bloco representa uma porta que está aberta quando o sinal de controlo, na porta de entrada é positivo, e fechada sempre que o sinal é zero ou negativo. Por definição, uma portão aberto permite que as entidades que chegam possam avançar imediatamente para o bloco seguinte, ao passo que um portão fechado proíbe a passagem das entidades.

3.3.4 Gestão de filas de espera

A gestão das existências é uma importante área da gestão operacional das empresas, traduzindo-se genericamente no conjunto de regras e decisões tomadas com vista à obtenção de um elevado grau de eficiência na gestão de "stocks", que por sua vez se traduz na minimização dos investimentos e dos custos a ela associados. Dependendo do tipo de empresa em causa, as existências a partir das quais desenvolve a sua produção podem ser de vários tipos, designadamente mercadorias (no caso genérico das empresas comerciais), matérias-primas (no caso de empresas industriais), etc. .

No âmbito da gestão operacional das existências, uma das tarefas mais importantes é a definição do valor da rubrica de custo das mercadorias vendidas e matérias consumidas (CMVMC), que representa precisamente o custo dos bens que a empresa vende (no caso das mercadorias) ou consome durante o processo produtivo (no caso das matérias). Muitas vezes, a determinação deste custo é de difícil execução, designadamente quando se verifica uma grande diversidade de produtos transacionados pela empresa em causa e um constante movimento de entrada e saída de existências em armazém.

Neste contexto, existem, de acordo com o Plano Oficial de Contabilidade, vários métodos de custeio das saídas de armazém, sendo os seguintes os mais utilizados: FIFO, LIFO e Custo Médio Ponderado. Todos estes métodos têm como base a entrada das existências ao custo histórico, ou seja, ao custo de aquisição.

Segundo o método FIFO, cuja designação deriva das iniciais da expressão anglo-saxónica "first in first out" (o primeiro a entrar é o primeiro a sair), as primeiras existências a entrar em armazém são também as primeiras a sair, pelo que as existências remanescentes ficam sempre avaliadas aos preços mais recentes. Assim sendo, a utilização deste método em períodos de inflação elevada pode provocar uma sobreavaliação dos resultados, na medida em que as saídas são avaliadas a preços inferiores aos das existências. Em contrapartida, a utilização deste método em épocas de deflação tem o efeito inverso, resultando numa possível subavaliação dos resultados, na medida em que as saídas são valoradas a preços superiores.

A utilização do método LIFO ("last in first out") implica que numa empresa as saídas de armazém sejam valorizadas aos preços mais recentes, ficando as existências avaliadas aos preços mais antigos. Quanto ao método do custo médio ponderado, baseia-se na valorização das existências ao preço médio ponderado segundo as quantidades. A utilização destes métodos traduz-se na construção de fichas de armazém onde são registadas, para cada artigo, as quantidades, preço e valor das entradas, saídas e existências em armazém.

Capítulo 4

Estatística

Estatística é a ciência que recorre às teorias das probabilidades para explicar a frequência da ocorrência de fenómenos, tanto em estudos de amostragem por como em estudos experimentais de forma a modelar a aleatoriedade e a incerteza, e assim, poder estimar a previsão de fenómenos futuros.

Algumas práticas estatísticas incluem, por exemplo, o planeamento, a análise e a interpretação de observações. Dado que o objetivo da estatística é a produção da melhor informação possível a partir dos dados disponíveis, alguns autores sugerem que a estatística é um ramo da teoria da decisão.

Devido às suas raízes empíricas e ao seu foco em aplicações, a estatística geralmente é considerada uma disciplina distinta da matemática e não um ramo dela.

A estatística é uma ciência que se dedica à recolha, análise e interpretação de dados. Preocupa-se com os métodos de recolha, organização, resumo, apresentação e interpretação dos dados, assim como, em tirar conclusões sobre as características das fontes donde estes foram retirados, para melhor compreender os fenómenos.

4.1 Introdução

O ajustamento de dados a uma distribuição consiste em encontrar a função matemática que representa de uma forma razoável a variável estatística em análise.

A partir de algumas observações de carácter quantitativas (amostra), x_1, x_2, \dots, x_n , recolhidas de uma forma criteriosa, pretende-se testar se essas observações, sendo de uma amostra de uma população desconhecida, pertencem a uma população com uma função densidade de probabilidade (pdf) $f(x, \theta)$ onde θ é o vector de parâmetros da função pdf para estimar os dados disponíveis.

Podemos identificar quatro etapas no ajustamento das distribuições:

- Análise de dados/Escolha de modelo ;
- Estimação de parâmetros;

- Avaliação da qualidade do ajuste;
- Testes de hipóteses às distribuições.;

4.2 Estatística descritiva

O primeiro passo da análise de dados começa pela estatística descritiva (média, desvio padrão, assimetria, curtose, etc) e usando técnicas gráficas (histogramas, estimativa de densidade,), que podem sugerir o tipo de função densidade probabilidade a usar para ajustar o modelo.

No software R vamos gerar uma amostra aleatória de tamanho $n=200$ pertencente a uma população normal $N(10,2)$ com média de 10 e desvio padrão de 2.

```
hist(x.norm,main="Histograma dos dados observados")
```

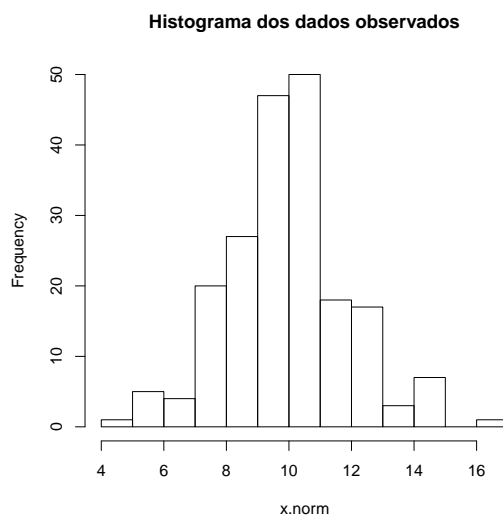


Figura 4.1: Histograma dos dados observados

Os Histogramas podem fornecer informações sobre assimetria, comportamento nas caudas, a presença de distribuições com várias modas e "outliers". Através dos histogramas podemos comparar o perfil dos dados com as formas standards das distribuições analíticas.

```
plot(density(x.norm),main="Gráfico da densidade estimada dos dados")
```

O R permite calcular a função distribuição empírica acumulada através da função `ecdf()`.

```
plot(ecdf(x.norm),main=" Função distribuição empírica acumulada ")
```

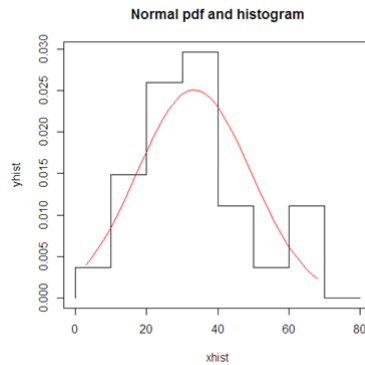


Figura 4.2: Gráfico da densidade estimada dos dados

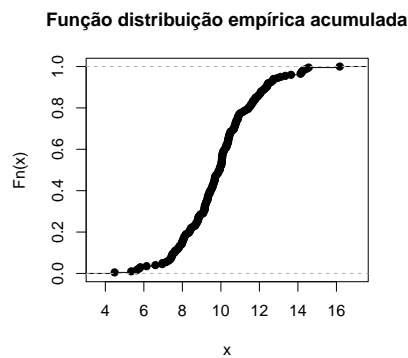


Figura 4.3: Função distribuição empírica acumulada

Um gráfico de Quartil-Quartil (Q-Q) é um gráfico de dispersão que compara a distribuição empírica em termos de valores adimensionais da variável (i.e. quartis empíricos).

É um método gráfico para determinar se o conjunto de dados vem de uma população conhecida. Neste gráfico temos no eixo dos y os quantis dos dados empíricos e no eixo dos x temos os quantis dados pelo modelo teórico.

O R tem as seguintes instruções: `qqnorm()`, para testar o ajustamento a uma distribuição gaussiana ou `qqplot()` para qualquer distribuição.

A linha de referência de 45 graus também é traçada.

Os dados empíricos que vêm da população com a distribuição escolhida, representados com pontos, devem cair aproximadamente ao longo desta linha de referência.

Quanto maior for o desvio a partir desta linha de referência, maior será a evidência para a conclusão de que o conjunto de dados é proveniente de uma população com uma distribuição diferente da escolhida.

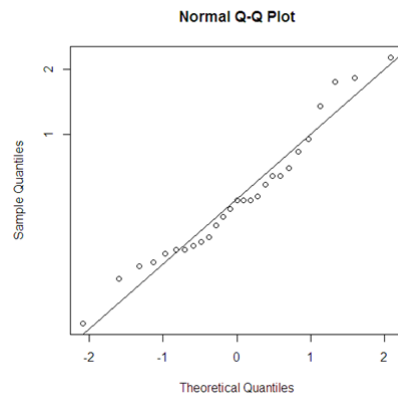


Figura 4.4: Quartil-Quartil (Q-Q)

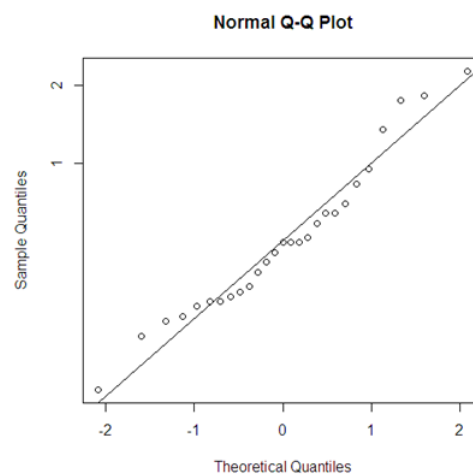


Figura 4.5: Quartil-Quartil (Q-Q) Normal

Se os dados não seguem a distribuição normal (i.e dados com origem numa função weibull pdf) podemos usar o gráfico qqplot() da seguinte forma:

4.3 Os modelo estatísticos

O primeiro passo para o ajustamento das distribuições consiste em escolher o modelo matemático ou a função que pode representar os dados da melhor maneira.

O tipo de modelo ou função a seleccionar pode ser definido por algumas hipóteses sobre a natureza dos dados, para ajudar neste passo começamos por elaborar histogramas e outras técnicas gráficas. No entanto os gráficos poderão ser bastante subjetivos, ou até pouco conclusivos pelo que existem métodos ou expressões analíticas que resultam em parâmetros como o critério de Pearson - k.

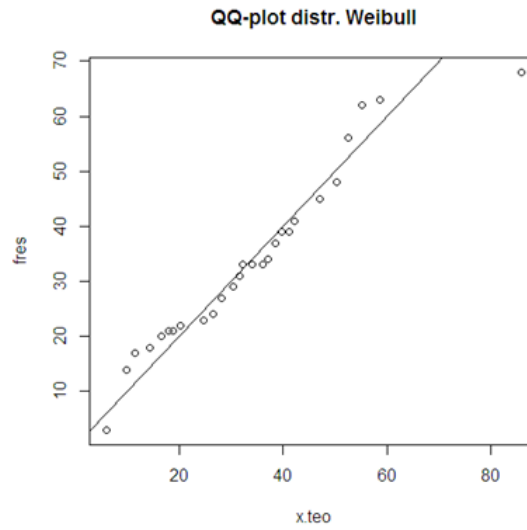


Figura 4.6: Quartil-Quartil (Q-Q) Weibull

As curvas de distribuição dependem de vários factores como a média, a variabilidade, a assimetria e kurtose. Com a padronização de dados, o tipo de curva depende apenas da assimetria e kurtose medidas como se mostra na seguinte fórmula:

$$K = \frac{\gamma_1^2 (\gamma_2 + 6)^2}{4(4\gamma_2 - 3\gamma_1^2 + 12)(2\gamma_2 - 3\gamma_1^2)} \quad (4.1)$$

O momento de terceira ordem ou o coeficiente "Skewness" de Pearson é calculado por:

$$\gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{n\sigma^3} \quad (4.2)$$

O momento de quarta ordem ou coeficiente de kurtose de Pearson é calculado por:

$$\gamma_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{n\sigma^4} - 3 \quad (4.3)$$

De acordo com o valor de K, obtidos pelos dados disponíveis, têm-se uma determinada função.

4.3.1 A distribuição de Poisson

No caso de dados discretos podemos utilizar a função de densidade de probabilidade de Poisson que está associada a um processo de contagem de Poisson. É utilizada para determinar a probabilidade de um dado número de sucessos quando os acontecimentos ocorrem num 'continuum' de tempo ou espaço, ou seja, permite-nos descrever fenómenos ou acontecimentos cuja ocorrência se repete no tempo ou no espaço.

As aplicações são inúmeras, tais como:

- Número de chamadas telefónicas por unidade de tempo;
- Número de doentes que chegam às urgências na parte da tarde;
- Número de pessoas atendidas por minuto;
- Número de carros que passam na ponte Vasco da Gama;
- Número de avarias por semana;
- Número de defeitos por área;
- etc...

Características que definem uma v.a. de Poisson ou condições em que se baseia a utilização da Distribuição de Poisson:

1. A experiência consiste em contar o número x de vezes que um acontecimento ocorre num determinado período de tempo ou área espacial.
2. A probabilidade de ocorrência é a mesma em todo o campo de observação.
3. A probabilidade de mais de uma ocorrência num único ponto é aproximadamente nula.
4. O número de eventos em qualquer intervalo é independente do número de eventos noutros intervalos.
5. O número médio de acontecimentos por unidade é denotado pela letra Grega λ

Definição: Uma variável aleatória X , com função de probabilidade

$$f(x) = P(X = x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} \text{ onde } x = 0, 1, 2, \dots, (\lambda > 0) \quad (4.4)$$

$x = 0, 1, 2, \dots$ $\lambda > 0$, $e = 2.71828\dots$ (a base do logaritmo natural)

diz-se que tem distribuição de Poisson com parâmetro λ , escrevendo-se simbolicamente:

$$X \sim Po(\lambda)$$

Nota:

- Teoricamente, o número de ocorrências por unidade pode ir de zero até infinito.
- No caso da Distribuição de Poisson, não nos é dado o número de tentativas (como na distribuição Binomial) nem a probabilidade de sucesso numa determinada realização da experiência. O que nos é dado é o número médio de sucessos λ numa determinada unidade de medida (período de tempo, área...).

O valor esperado pode-se calcular:

$$E(x) = \sum_{x=0}^{\infty} x e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} = \lambda e^{-\lambda} \sum_{x=0}^{\infty} \frac{\lambda^{x-1}}{(x-1)!} = \lambda$$

A variância após alguns cálculos ficará:

$$Var(x) = \lambda; \sigma = \sqrt{\lambda}; \gamma_1 = \lambda^{-1/2}.$$

Note-se a particularidade de a distribuição de poisson ter a média igual à variância e de o coeficiente de assimetria diminuir com λ . A figura 4.7 apresenta a função probabilidade da distribuição de poisson para diferentes valores de λ .

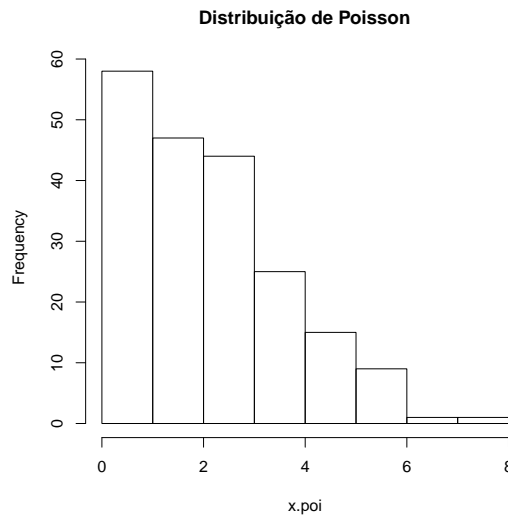


Figura 4.7: Distribuição Poisson

Teorema da aditividade da Lei de Poisson

Se as variáveis aleatórias $X_i, i = 1, 2, \dots, k$ são independentes, com distribuição

$$X_i \sim Po(\lambda_i)$$

então

$$\sum_{i=1}^k X_i \sim Po\left(\sum_{i=1}^k \lambda_i\right)$$

Exemplo

Numa fábrica de móveis existem vários equipamentos do mesmo tipo. Depois de muitas observações chegou-se à conclusão de que o número de equipamentos que se avariam cada semana é uma variável aleatória X com distribuição de média $\lambda = 3$ $X \sim Po(\lambda)$. a) A probabilidade para que durante uma semana se avariem sete ou mais máquinas é dada por:

$$P(X \geq 7) = \sum_{x=7}^{\infty} x e^{-3} \frac{3^x}{x!}.$$

Pode-se obter por tabela, ou:

$$P(X \geq 7) = P(X \leq 6) = 1 - 0.9665 = 0.0335$$

b) Para determinar a capacidade mensal mínima disponível, C , da oficina de reparação de modo a ser pelo menos de 90 % a probabilidade de não haver máquinas a aguardar reparação. Note-se que C é o menor dos inteiros tal que:

$$P(X \leq C) = \sum_{x=0}^C x e^{-3} \frac{3^x}{x!} \geq 0.9$$

A capacidade desejada é $C=5$ como se verifica com auxílio da tabela ou do cálculo.

Notas:

1. Na resolução de exercícios que envolvem a distribuição de Poisson, pode ser usada uma tabela de probabilidades de Poisson que nos dá a probabilidade para cada número de sucessos para os diversos valores de λ .
2. Quando houver interesse na probabilidade "X ou mais sucessos", ou "X ou menos sucessos" aplica-se a regra de adição para acontecimentos mutuamente exclusivos.
3. Uma vez que se supõe que o processo de Poisson é estacionário, a média do processo será sempre proporcional à extensão do 'continuum' de tempo ou espaço.

4.3.2 A função normal

A distribuição estatística mais usada, na teoria e na prática é a função normal. Do ponto de vista das aplicações experimentais, tem-se verificado que muitas variáveis observáveis de determinada população são representados por uma distribuição normal.

A distribuição normal goza de importantes propriedades que a tornam muito atraentes para as aplicações práticas e para os estudos teóricos tais como:

- Descrição de fenômenos físicos;
- Variáveis biométricas (de medida, de peso, de altura, de comprimento, etc.);
- Variáveis ligadas à produção e qualidade;
- Em muitas situações limite, as outras distribuições convergem para a distribuição Normal, como explica o teorema do limite central.;

Uma variável aleatória X tem uma distribuição normal com parâmetros μ e σ^2 com uma função densidade da forma

$$f(x|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2}.$$

Escreve-se simbolicamente, $X \sim N(\mu, \sigma^2)$

Os parâmetros da distribuição normal representam-se por μ e σ^2 porque correspondem respectivamente à média e a variância da variável aleatória. Alguns autores preferem utilizar o parâmetro σ (desvio padrão).

A função distribuição é definida pelo integral

$$F(x|\mu, \sigma^2) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(t-\mu)^2} dt,$$

para o qual não se conhece solução analítica. Os valores da função de distribuição têm então de ser calculados utilizando métodos de análise numérica.

A distribuição $N(0,1)$ é habitualmente designada por **distribuição normal estandardizada**. Este caso particular em que $\mu = 0$ e $\sigma^2 = 1$ é muito importante e principalmente é muito útil uma vez que os seus valores se encontram tabelado. Se $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ a variável $Z = \frac{X-\mu}{\sigma}$ tem distribuição $N(0,1)$.

Se considerarmos a mudança de variável definida pela variável estandardizada

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

a função densidade e a função distribuição ficam, respetivamente:

$$\phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}},$$

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Na figura representam-se funções densidade da distribuição normal para alguns valores de μ e σ^2 . Da análise da expressão $f(x|\mu, \sigma^2)$ podemos deduzir que a função densidade normal é simétrica em relação à recta $x = \mu$.

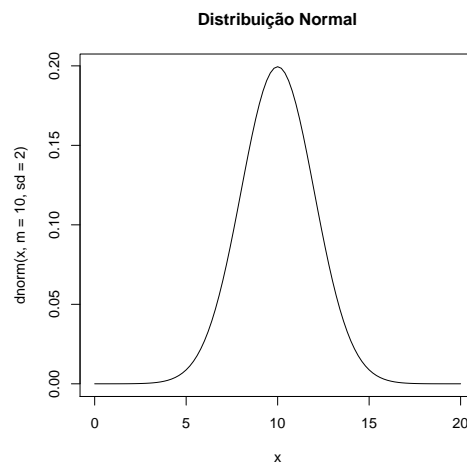


Figura 4.8: Função densidade da distribuição normal

A distribuição normal $N(0,1)$ encontra-se largamente tabelada. O primeiro aspecto a ter em conta ao consultar as tabelas é que se referem a $\Phi(z)$, e, portanto, permite calcular para cada z a respetiva ordenada da função de distribuição normal estandardizada.

Por exemplo, se $z=0.53$ obtém-se $\Phi(0.53) = P(Z < 0.53) = P(Z \leq 0.53) = 0.7019$. A tabela da distribuição Normal em geral refere apenas valores não negativos de u . No entanto, a simetria (em relação a 0) da distribuição normal garante que $\Phi(z) = 1 - \Phi(-z)$, o que permite determinar imediatamente valores de $\Phi(z)$ para valores negativos de z . Por exemplo, se $z=-0.47$, obtém-se $\Phi(-0.47) = 1 - \Phi(0.47) = 1 - 0.6808 = 0.3192$.

Exemplo 1

A precipitação anual (em mm) no distrito de beja é bem modelada por uma distribuição normal com $\mu = 572$ mm e $\sigma^2 = 138.6$ mm. Suponha-se que se pretendia calcular a probabilidade de a precipitação anual se situar entre 700 e 800 mm.

$$\begin{aligned}
 P(700 < X < 800) &= \int_{700}^{800} f(x)dx = F(800) - F(700) = \Phi\left(\frac{800 - 572}{138.6}\right) - \Phi\left(\frac{700 - 572}{138.6}\right) \\
 &= \Phi(1.65) - \Phi(0.92) = 0.9505 - 0.8212 = 0.1293
 \end{aligned}$$

Suponha agora que se pretendia determinar a probabilidade para que a precipitação anual fosse inferior a 500 mm.

$$\begin{aligned}
 P(X < 500) &= F(500) = \int_{-\infty}^{500} f(x)dx = \Phi\left(\frac{500 - 572}{138.6}\right) = \\
 &= \Phi(-0.52) = 1 - \Phi(0.52) = 1 - 0.6985 = 0.3015
 \end{aligned}$$

Exemplo 2

A resistência à compressão de amostras de cimento de um certo tipo é uma variável aleatória que pode ser modelada por uma distribuição normal com média 6000 kg/cm^2 e desvio padrão 100 kg/cm^2 .

a) A probabilidade de que uma amostra de cimento tenha resistência superior a 6150 kg/cm^2 é

$$\begin{aligned}
 P(X > 6150) &= P\left(\frac{X - 6000}{100} > \frac{6150 - 6000}{100}\right) = P(U > 1.5) \\
 &= 1 - \Phi(1.5) = 1 - 0.9332 = 0.0668
 \end{aligned}$$

b) A probabilidade de que uma amostra de cimento tenha resistência entre 5900 kg/cm^2 e 5950 kg/cm^2 é

$$\begin{aligned}
 P(5900 < X < 5950) &= P\left(\frac{5900 - 6000}{100} < \frac{X - 6000}{100} < \frac{5950 - 6000}{100}\right) \\
 &= P(-1 < Z < -0.5) = \Phi(-0.5) - \Phi(-1) \\
 &= [1 - \Phi(0.5)] - [1 - \Phi(1)] = 0.3085 - 0.1587 = 0.1498
 \end{aligned}$$

c) A resistência, seja R, que é excedida por 90 % das amostras de cimento é

$$\begin{aligned}
 P(X > R) = 0.90 &\Leftrightarrow P\left(\frac{X - 6000}{100} > \frac{R - 6000}{100}\right) = 0.90 \Leftrightarrow P\left(Z > \frac{R - 6000}{100}\right) = 0.90 \\
 &\Leftrightarrow 1 - \Phi\left(\frac{R - 6000}{100}\right) = 0.90 \Leftrightarrow \Phi\left(\frac{R - 6000}{100}\right) = 0.10
 \end{aligned}$$

Ou seja, pela consulta da tabela da distribuição normal, para $\Phi(x) = 0.90$, e tirando partido da simetria

$$\frac{R - 6000}{100} = -1,28$$

e, portanto, $R = 5872$.

Exemplo 3

Uma empresa, monopolista no mercado de determinado produto, tem produção constante de 90 toneladas por mês e tem conhecimento de que a procura é uma variável aleatória $X \sim N(80, 10)$.

a) A probabilidade de haver procura excedentária é

$$P(X > 90) = P\left(\frac{X - 80}{10} > \frac{90 - 80}{10}\right) = P(Z > 1) = 1 - \Phi(1),$$

recorrendo à tabela, retiramos $P(X > 90) = 1 - 0.8413 = 0.1587$

b) Para satisfazer a eventual procura excedentária, a empresa tem possibilidade de importar no princípio do mês um stock de segurança. Qual deve ser esse stock - S, por forma que a probabilidade de haver procura insatisfeita baixe para 0.025?

$$P\left(\frac{X - 80}{10} > \frac{90 + S - 80}{10}\right) = P\left(Z > \frac{10 + S}{10}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{10 + S}{10}\right) = 0.025,$$

donde

$$\Phi\left(\frac{10 + S}{10}\right) = 0.975$$

recorrendo à tabela, retiramos $(10 + S)/10 = 1.96$ e portanto, $S=9.6$.

4.3.3 Distribuição exponencial

A distribuição exponencial, ou exponencial negativa - como também é designada - tem a sua génese associada ao processo de Poisson, aplicando-se a fenómenos como o tempo de vida de equipamentos ou tempo de espera entre eventos originados por um processo de poisson.

Se a sucessão de eventos constitui um processo de Poisson aproximado e a contagem é iniciada no momento 0, o tempo de espera pela chegada do primeiro evento é uma variável aleatória, seja T, cuja a função de distribuição, G(t), é dada, para $t > 0$, por

$$G(t) = P(T) = 1 - P(T > t).$$

Como $P(T > t)$ é a probabilidade de não haver qualquer chegada no intervalo (0,t), tem-se

$$P(T > t) = P(Z = 0) = e^{-\lambda t}$$

onde $Z \sim Po(\lambda t)$ é a variável aleatória que representa a contagem no intervalo (0,t). Assim,

$$G(t) = \begin{cases} 0 & (t \leq 0), \\ 1 - e^{-\lambda t} & (t > 0), \end{cases} \quad f(t) = \begin{cases} 0 & (t \leq 0), \\ \lambda e^{-\lambda t} & (t > 0). \end{cases}$$

As considerações anteriores permitem definir uma distribuição teórica muito importante, a distribuição exponencial.

A variável aleatória X com função densidade

$$f(x|\lambda) = \begin{cases} 0 & (x \leq 0), \\ \lambda e^{-\lambda x} & (x > 0), \end{cases}$$

diz-se que tem distribuição exponencial (ou exponencial negativa).

Simbolicamente, $X \sim Ex(\lambda)$.

A correspondente função distribuição é, obviamente dada por

$$F(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq 0), \\ 1 - e^{-\lambda x} & (x > 0), \end{cases}$$

E, fazendo alguns cálculos obtém-se

$$E(X) = \frac{1}{\lambda}, \quad Var(X) = \frac{1}{\lambda^2}, \quad \gamma_1 = 2.$$

A distribuição exponencial mostra que a média do tempo de espera é o inverso do ritmo de influência dos eventos. Por exemplo, se em média surgem 60 eventos por hora, o tempo médio de espera por um evento é de 1 minuto. A distribuição exponencial não tem moda, uma vez que a função densidade é decrescente com x e que o domínio é aberto. A mediana é dada por $\mu_e = (\ln 2)/\lambda$.

Exemplo

A chegada de clientes a uma loja segue um processo de Poisson (aproximado) em que o ritmo médio de afluência é de 20 clientes por hora. Após abrir a loja qual é a probabilidade de o comerciante ter de esperar mais de 5 minutos pela chegada do primeiro cliente?

Se a unidade de referência é a hora, tem-se $X \sim Ex(20)$, logo

$$P(X > \frac{5}{60}) = P(X > \frac{1}{12}) = \int_{1/12}^{+\infty} 20e^{-20x} dx = [-e^{-20x}]_{1/12}^{+\infty} = e^{-5/3} \simeq 0.19.$$

Outra forma de resolver o problema é considerar um minuto como unidade de referência. Nesse caso o ritmo médio de afluência é de $1/3$ e, portanto, $Y \sim Ex(1/3)$, donde

$$P(Y > 5) = \int_5^{+\infty} (1/3)e^{-y/3} dy \simeq 0.19.$$

Exemplo

Suponha-se que o tempo de vida útil de um dado componente é uma variável aleatória X , com distribuição exponencial com média igual a 600 horas. A probabilidade de o componente durar mais de 700 horas é, portanto,

$$P(X > 700) = \int_{700}^{+\infty} \frac{1}{600} e^{-x/600} dx = e^{-7/6} \simeq 0.31.$$

Suponha-se que o componente já tinha durado 400 horas e que se desejava calcular a probabilidade de durar ainda mais 700 horas. Tem-se a probabilidade condicionada,

$$P(X > 1100 | X > 400) = \frac{P(X > 1100)}{P(X > 400)} = \frac{e^{-11/6}}{e^{-4/6}} = e^{-7/6} \simeq 0.31.$$

Curiosamente o resultado é o mesmo, quer dizer,

$$P(X > 700) = P(X > 1100 | X > 400).$$

O exemplo anterior permite chamar a atenção para uma importante propriedade da distribuição exponencial, que se pode formalizar da seguinte maneira:

$$X \sim Ex(\lambda) \Rightarrow P(X > x+h | X > x) = P(X > h).$$

Esta propriedade traduz a **falta de memória** da distribuição exponencial. Com efeito, se qualquer objecto tem tempo de vida com distribuição exponencial, então qualquer que seja a sua idade, o tempo residual de vida não é afectado pelo tempo já vivido, quer dizer, o objecto "não envelhece", e se chegou vivo, por exemplo, ao fim de dez anos, o tempo de sobrevivência tem a mesma distribuição que o tempo de vida à nascença.

Nas aplicações práticas o recurso à distribuição exponencial é, muitas vezes, prejudicado por não ter em conta o envelhecimento ou desgaste da idade.

Exemplo

O funcionamento de determinado sistema depende criticamente de K componentes com duração respectiva dada por X_1, X_2, \dots, X_k , variáveis aleatórias independentes com idêntica distribuição exponencial - $X_i \sim Ex(\lambda)$. O sistema falha quando se avariar a primeira componente. O sistema pode ser representado por

$$Y = \min_i X_i$$

Sendo $G(y)$ a função de distribuição de Y , tem-se

$$1 - G(y) = P(Y > y) = P(\min_i X_i > y).$$

Como

$$\min_i X_i > y \Leftrightarrow X_1 > y, X_2 > y, \dots, X_k > y,$$

tem-se

$$1 - G(y) = P(X_1 > y, X_2 > y, \dots, X_k > y) = \prod_{i=1}^k (P X_i > y),$$

onde a última expressão se explica porque as variáveis são independentes. Dado que as variáveis têm a mesma distribuição exponencial, $(P X_i > y) = \exp\{-\lambda y\}$, obtém-se

$$1 - G(y) = [\exp\{-\lambda y\}]^k = \exp\{-k\lambda y\}, g(y) = (k\lambda) \exp\{-(k\lambda)y\},$$

ou seja, Y tem também distribuição exponencial, mas a sua média é $1/(k\lambda)$, enquanto a média de uma componente arbitrária é $1/\lambda$. Como é lógico, o "pior" de um grupo de k componentes dura menos, em média, que uma qualquer componente.

4.3.4 Distribuição gama

A distribuição gama pode ser considerada uma generalização da distribuição exponencial, e tal, como esta, também pode ser introduzida a partir do tempo de espera associado a um processo de poisson. No entanto, a sua aplicação não se restringe de forma alguma a esta situação, razão pela qual se dá desde logo uma definição mais geral

Uma variável aleatória, X , com função densidade dada por

$$f(x, \alpha, \lambda) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{(\alpha-1)} e^{-\alpha x}, x > 0, \alpha, \lambda > 0$$

diz-se ter distribuição gama de parâmetros α e λ . Simbolicamente, $X \sim G(\alpha, \lambda)$.

As figuras apresentam as funções densidade da distribuição gama para alguns valores de parâmetros, o que permite verificar que esta família de distribuições abrange situações bem diversas. Quando o parâmetro α é inteiro, a distribuição gama é conhecida por distribuição de Erlang, e, naturalmente quando $\alpha = 1$, resulta no caso particular da distribuição exponencial.

```
curve(dgamma(x, scale=1.5, shape=2), from=0, to=15,
main="Distribuição Gamma")
```

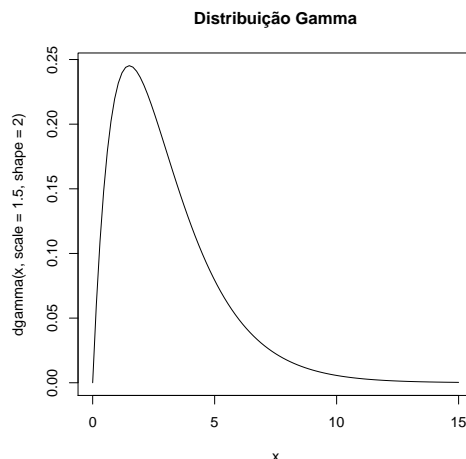


Figura 4.9: Distribuição gamma

4.3.5 Distribuição weibull

A distribuição de Weibull de mínimos a que alguns autores se referem como distribuição de Weibull deve o seu nome ao apelido do físico sueco Waloddi Weibull. Este utilizou-a em Weibull (1939 a 1939) para representar a tensão de ruptura de materiais e discutiu, posteriormente, a sua utilidade na modelação de outras v.a. em Weibull (1951).

A distribuição de Weibull, por possuir um parâmetro de forma, é caracterizada por uma f.d.p. que pode tomar uma grande diversidade de aspectos. A popularidade da distribuição de Weibull deve-se a esta excepcional flexibilidade: engloba a distribuição exponencial ($\alpha = 1$) e a distribuição Rayleigh (quando δ é substituído por $\sqrt{2}\delta$) e inclui funções taxa de falha constantes e monótonas crescentes e decrescentes, dependendo do valor do parâmetro de forma.

$$f(x, \alpha, \beta) = \alpha\beta^{-\alpha}x^{\alpha-1}e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}} \text{ with } x \in \mathbf{R}^+$$

```
curve(dweibull(x, scale=2.5, shape=1.5), from=0, to=15,
main="Distribuição Weibull")
```

4.4 Estimação de parâmetros

Depois de escolher um modelo que pode representar matematicamente os nossos dados, temos de estimar os parâmetros. Existem vários métodos de estimação na literatura estatística, mas nesta apresentação vamos utilizar os seguintes métodos:

1. Analógico

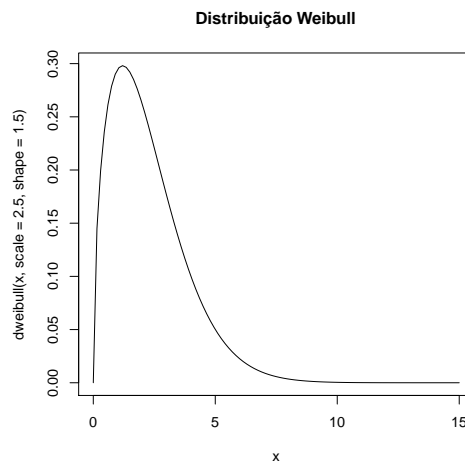


Figura 4.10: Distribuição de weibull

2. Momentos

3. Máxima verosimilhança (MLE)

O método analógico consiste em estimar os parâmetros do modelo aplicando a mesma função dos dados empíricos, isto é, estimamos a média desconhecida de uma população normal usando o cálculo da média amostral.

O método dos momentos é uma técnica de construção de estimadores de parâmetros que é baseada na comparação (matching) dos momentos da amostra com os momentos correspondentes da distribuição. Este método iguala os momentos da amostra com os momentos teóricos representativos da população. Quando o método dos momentos está disponível tem a vantagem de ser simples. Definimos os momentos da amostra (empíricos) desta forma:

- O momento da amostra centrado de ordem t :

$$m_i = \sum_{i=1}^n x_i^t y_i \quad t = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (4.5)$$

- O momento da amostra não centrado de ordem t :

$$m'_i = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^t y_i \quad t = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (4.6)$$

E definimos os momentos da população teóricos: - O momento da amostra centrado de ordem t :

$$m_i^* = \int_{\beta}^{\alpha} x^t f(x, \theta) dx \quad t = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (4.7)$$

- O momento da amostra não centrado de ordem t :

$$m'_i{}^* = \int_{\beta}^{\alpha} (x - \mu)^t f(x, \theta) dx \quad t = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (4.8)$$

onde $\beta - \alpha$ é o intervalo onde $f(x, \theta)$ está definido, μ é a média da distribuição, e y_i são as frequências relativas empíricas.

Para estimar os parâmetros da distribuição de gamma usando os métodos dos momentos devemos considerar o primeiro momento centrado (a média) e o segundo momento não centrado (variância):

$$\frac{\alpha}{\lambda} = \bar{x}$$

$$\frac{\alpha}{\lambda^2} = s^2$$

em que temos na esquerda a média e variância da distribuição gamma e na direita a média e variância amostral corrigida. Resolvendo as equações podemos obter os estimadores dos parâmetros.

$$\hat{\alpha} = \frac{\bar{x}}{s^2}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\bar{x}_2}{s^2}$$

O método da máxima verossimilhança é usado em inferência estatística para estimar parâmetros.

Existe uma variável aleatória com um pdf $f(x, \theta)$ descrevendo uma característica de uma população. Pretendemos estimar o vector das constantes dos parâmetros desconhecidos θ de acordo com os dados da amostra: x_1, x_2, \dots, x_n .

O método (MLE) começa com a expressão matemática conhecida como função de verossimilhança dos dados da amostra.

A verossimilhança de um conjunto de dados é a probabilidade de se obter um particular conjunto de dados do modelo de probabilidade escolhido.

Esta expressão inclui os parâmetros desconhecidos. Esses valores do parâmetro que maximizam a probabilidade da amostra são conhecidos como as estimativas de máxima verossimilhança (MLE).

A função de verossimilhança é definida como:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \quad (4.9)$$

O MLE consiste em encontrar o θ que maximiza $L(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta)$ ou a sua função logarítmica.

Podemos empregar métodos de análise matemática (derivadas parciais iguais a zero) quando a função de verosimilhança é simples, mas normalmente utiliza-se processos de otimização de $L(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta)$ usando métodos iterativos.

MLE tem várias propriedades estatísticas e vantagens. No caso da distribuição gamma a função de verosimilhança é:

$$\begin{aligned} L(x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha, \lambda) &= \prod_{i=1}^n f(x_i, \alpha, \lambda) = \prod_{i=1}^n \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x_i^{(\alpha-1)} e^{-\lambda x_i} \\ &= \left(\frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \right)^n \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{\alpha-1} e^{-\lambda \sum_{i=1}^n x_i} \end{aligned} \quad (4.10)$$

E o seu logaritmo é:

$$\text{Log}(L) = n\alpha \log(\lambda) - n \log(\Gamma(\alpha)) + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \log x_i - \lambda \sum_{i=1}^n x_i$$

No software R podemos obter o MLE a partir de duas instruções:

1. `mle()` incluída no package `stats4`
2. `fitdistr()` incluída no MASS

A função `mle()` permite ajustar os parâmetros usando métodos numéricos de cálculos iterativos para minimizar a função negativa logarítmica da verosimilhança (que é o mesmo que maximizar a função logarítmica de verosimilhança).

É necessário especificar a expressão analítica da função negativa logarítmica da verosimilhança e dar um parâmetro inicial como estimativa. No caso da distribuição gamma:

Normalmente tem de se dar os valores iniciais dos parâmetros a estimar de uma forma arbitrária, mas podemos usar o método dos momentos para encontrar esses parâmetros. A instrução `mle()` permite estimar parâmetros para qualquer tipo de pdf, necessita de ter a expressão analítica da verosimilhança para ser otimizada.

No MASS package do software R está disponível `fitdistr()` para a estimação de máxima verosimilhança de distribuição univariada sem nenhuma informação sobre o tipo de expressão analítica de verosimilhança. É suficiente especificar o vector dos dados, o tipo de pdf (`densfun`) e eventualmente uma lista de valores iniciais para o processo de iteração (`start`).

```

library(MASS)  instalar o package MASS
ajustar os parametros do pdf de gamma
fitdistr(x.gam, "gamma")
shape rate
3.64766028 0.51433676
(0.34936647) (0.05281448)
ajustar os parametros do pdf Weibull
fitdistr(x.wei, densfun=dweibull, start=list(scale=1, shape=2))
scale shape
1.09153729 2.11729892
(0.03834169) (0.11609376)
ajustar os parametros do pdf de gaussian
fitdistr(x.norm, "normal")
mean sd
9.91671732 1.90087517
(0.13441217) (0.09504376)

```

4.5 A medida da qualidade do ajustamento

A qualidade do ajustamento é útil para a comparação das frequências empíricas com as frequências dadas pelo modelo teórico com parâmetros estimados.

Existem medidas relativas e absolutas. Entre as medidas absolutas podemos escolher entre:

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_i^*|}{n}$$

$${}^2\xi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2}{n}}$$

em que y_i são as frequências empíricas e y_i^* são as frequências ajustadas.

Entre as medidas relativas podemos escolher:

$$\delta = \frac{\xi}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_i^*|}{\sum_{i=1}^n y_i}$$

$${}^2\delta = \frac{{}^2\xi}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2 / n}}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}}$$

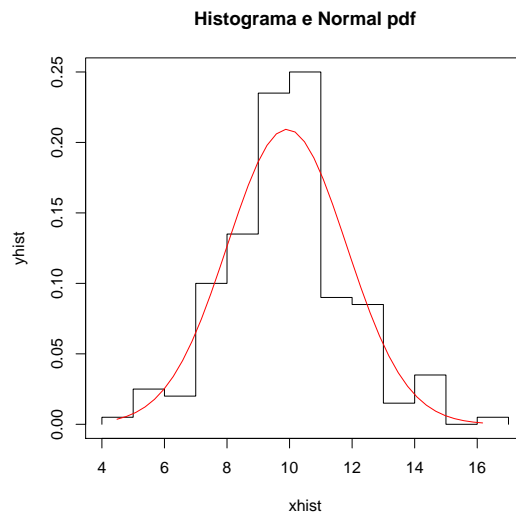


Figura 4.11: Histograma e distribuição Normal

$$\frac{2}{\delta} = \frac{2\xi}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}}$$

Normalmente estes indicadores são relativos à percentagem da média correspondente.

Uma técnica gráfica para avaliar a qualidade do ajustamento pode ser desenhar simultaneamente a curva da pdf e o respetivo histograma.

4.6 Os testes de hipóteses

Os testes de hipóteses indicam-nos se é razoável ou não assumir que uma amostra aleatória vem de uma específica distribuição.

Existem alguns testes onde a hipótese nula e alternativa são consideradas da seguinte forma:

- H0: Os dados da amostra são da distribuição escolhida
- HA: Os dados da amostra não são da distribuição testada

Estes testes são chamados às vezes como teste globais e são de distribuição livre, ou seja, não dependem da função de densidade de probabilidade (pdf).

O teste qui-quadrado é o mais antigo teste de ajuste que remonta a Karl Pearson (1900). O teste pode ser pensado como uma comparação formal de um histograma com a densidade ajustada.

Uma característica importante do teste qui-quadrado é que pode ser aplicado para distribuições univariadas em que conseguimos calcular a função distribuição acumulada.

O teste é aplicado para variáveis com dados agrupados; para dados não agrupados podemos elaborar um histograma ou uma tabela de frequências antes de gerar o teste da qui-quadrado. No entanto, o valor do teste da qui-quadrado depende da forma como se agruparam os dados. Outra desvantagem do teste é que requer um número de amostras suficiente de modo a que a aproximação da qui-quadrado possa ser válida.

O teste do qui-quadrado pode ser aplicado quer a distribuições discretas ou contínuas, enquanto outros testes como Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling estão restritos a distribuições contínuas.

Para estimar parâmetros de modelos com amostras o teste do qui-quadrado é definido pelas hipóteses:

- H_0 : os dados seguem a distribuição especificada
- H_A : os dados não seguem a distribuição escolhida

Para o cálculo do ajustamento do qui-quadrado, os dados são divididos em K classes e o teste estatístico é definido desta forma:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Onde O_i é a frequência observada para a classe i e E_i é a frequência esperada para a classe i .

A frequência esperada é calculada pela distribuição acumulada. A estatística do teste é distribuída segundo uma variável aleatória χ^2 com $k-p-1$ graus de liberdade (p é o número de parâmetros estimados pelos dados da amostra).

A hipótese que os dados sejam de uma população com uma distribuição específica é aceite se χ^2 é menor o valor da função qui-quadrado com $k - p - 1$ graus de liberdade e um nível de significância de α . O teste do qui-quadrado é sensível á escolha das classes.

No software R existem três maneiras de realizar o teste da qui-quadrado. No caso de dados discretos podemos usar `goodfit()` incluído no `vcd` package (está disponível no CRAN website):

```
library(vcd) instala o vcd package
gf<-goodfit(x.poi,type="poisson",method="MinChisq")
Goodness-of-fit test for poisson distribution
X^2 df P(X^2)
Pearson 2.878727 7 0.8959896
plot(gf,main="Dados agrupados vs Distribuição de Poisson ")
```

H_0 é aceite quando o p -value é maior que o nível de significância fixado, que será pelo menos de 5%.

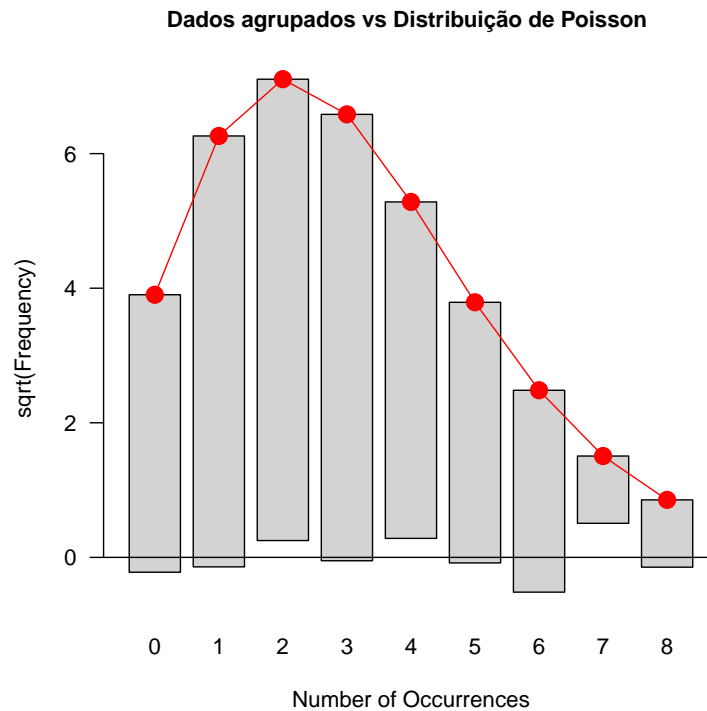


Figura 4.12: Ajustamento de Poisson

Quando estamos a trabalhar com variáveis contínuas e todos os seus parâmetros são conhecidos podemos usar `chisq.test()`:

```

calcula das frequências relativas esperadas
p<-c( (pgamma(3, shape=3.5, rate=0.5) - pgamma(0, shape=3.5, rate=0.5)),
      (pgamma(6, shape=3.5, rate=0.5) - pgamma(3, shape=3.5, rate=0.5)),
      (pgamma(9, shape=3.5, rate=0.5) - pgamma(6, shape=3.5, rate=0.5)),
      (pgamma(12, shape=3.5, rate=0.5) - pgamma(9, shape=3.5, rate=0.5)),
      (pgamma(18, shape=3.5, rate=0.5) - pgamma(12, shape=3.5, rate=0.5)))
chisq.test(x=f.os, p=p, rescale.p=T) teste qui-quadrado
Chi-squared test for given probabilities
data: f.os
X-squared = 2.8361, df = 4, p-value = 0.5856

```

Não podemos rejeitar a hipótese nula dado que o p-value é ligeiramente superior, por isso provávelmente a amostra pertence à distribuição gamma com os parâmetros de forma de 3.5 e de taxa de 0.5.

O teste de Kolmogorov-Smirnov é usado para decidir se uma amostra vem de uma população com uma distribuição específica. Baseia-se numa comparação entre a função de distribuição em-

pírica (ECDF) e um pdf teórico definido como

$$F(x) = \int_{\alpha}^x f(x, \theta) dy$$

onde $F(x, \theta)$ é a função pdf.

Dado n dados ordenados com pontos x_1, x_2, \dots, x_n , a função empírica acumulada é definida como:

$$F_n(X_i) = N(i)/n$$

onde $N(i)$ é o número de pontos de X_i (X_i são ordenados do menor para o maior valor). Esta é uma função degrau que aumenta em $1/n$ ao valor de cada ponto.

A estatística de teste utilizado é:

$$D_n = \sup |F(x_i) - F_n(x_i)|$$

$$1 \leq i \leq n$$

que D_n é o extremo superior entre diferenças do valor absoluto entre a distribuição acumulada empírica e teórica.

A hipótese sobre a forma de distribuição é rejeitada se a estatística de teste, D_n , é maior do que o valor crítico obtido a partir de uma tabela, ou, o que é o mesmo, se o valor p é menor do que o nível de significância.

O teste Kolmogorov-Smirnov é mais poderoso do que o qui-quadrado quando o tamanho da amostra não é muito grande. Para amostras de tamanho grande ambos os testes têm o mesmo potencial.

A limitação mais grave de Kolmogorov-Smirnov é que a distribuição deve ser totalmente especificada, isto é, os parâmetros de localização, dimensão e forma não podem ser estimados a partir da amostra de dados.

Devido a esta limitação, muitos analistas preferem utilizar o teste de Anderson-Darling no ajuste. No entanto, o teste de Anderson-Darling só é possível para algumas distribuições específicas

No R podemos realizar o teste Kolmogorov-Smirnov usando a função `ks.test()`.

Aplicando este teste a uma amostra pertencente a uma weibull com parâmetros conhecidos (forma=2 e escala=1), temos:

```
ks.test(x.wei, "pweibull", shape=2, scale=1)
One-sample Kolmogorov-Smirnov test
data:  x.wei
D = 0.0623, p-value = 0.4198
alternative hypothesis: two.sided
```

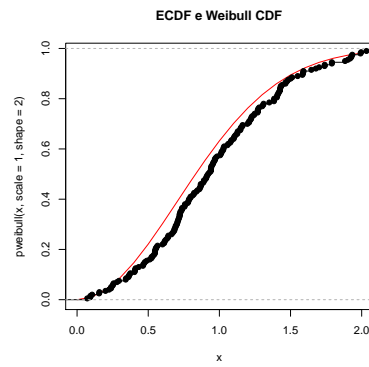


Figura 4.13: Ajustamento da distribuição Weibull

Aceitamos a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal porque o p-value é suficientemente maior que o nível de significância usualmente referido na literatura de estatística.

Capítulo 5

Estudo de Caso

Neste capítulo desenvolve-se um exemplo de aplicação utilizando as metodologias e ferramentas que descrevemos nos capítulos anteriores. Começamos por descrever sucintamente a empresa e desenhar um modelo conceptual do sistema real, assumindo algumas premissas que simplificam a realidade do serviço, circunscrevendo a área de realização de tarefas geograficamente. No nosso entender, as simplificações realizadas não distorcem a realidade e permitem que o comportamento dos cenários de simulação imitem o comportamento do sistema real. Existem sempre algumas exceções na forma como o serviço é desenvolvido ou executado.

A análise de dados permite-nos ter uma geração de ordens de trabalho aleatórias, bastante idêntica à realidade, o que nos permite dar maior robustez e fiabilidade à nossa simulação.

Desenvolvemos quatro cenários diferentes do nosso modelo geral, de forma, a poder comparar a melhor solução e fundamentar as opções de dimensionamento das equipas técnicas. No final são discutidos os resultados obtidos.

5.1 A empresa e o seu modelo de negócio

A empresa em análise tem uma equipa de colaboradores jovem e dinâmica, de três efetivos e três estagiários. Dedicar-se à instalação e manutenção de sistemas na área da climatização e energias alternativas.

Situa-se na região de Viseu e já teve, na anterior gerência, uma cobertura nacional, estando agora só focalizada a realizar serviços na zona centro, daí a nossa análise de dados e consequentemente as simulações dos nossos modelos se restrinjam à zona centro.

Os serviços da empresa incluem reparações, afinações e verificações de equipamento, bem como o arranque de equipamentos. Todos estes equipamentos, podemos dizer, que se incluem na área de energias renováveis e o cliente tanto pode ser doméstico como industrial, sendo a maioria dos clientes domésticos. O serviço de assistência prestado, necessita legalmente de qualificações próprias, sendo uma mais valia da empresa ter técnicos certificados para as diferentes tarefas a realizar.

O processo de negócio da empresa pode ser visto de uma forma muito simplificada como na seguinte figura:

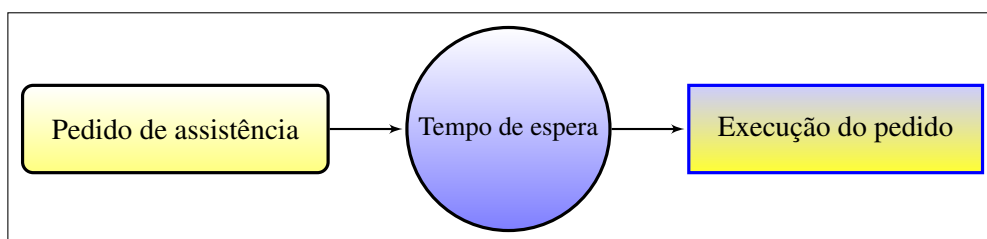


Figura 5.1: Modelo simples de assistência técnica

A empresa codificou os tipos de intervenção que realiza, o que nos permitiu uma análise de dados mais rigorosa. A empresa elaborou um código bastante simples: numérico e sequencial devido ao reduzido número de tarefas diferentes (aproximadamente 30). Na nossa perspectiva pensamos ser melhor ter um código diferente: do tipo alfanumérico e que identificasse logo se a actividade é de manutenção correctiva ou preventiva ou se é de arranque de um equipamento novo. Com a nova codificação poderia no futuro ter um número maior de tarefas diferentes e um controlo mais efectivo e fácil de visualizar das actividades realizadas pela empresa. A codificação dos tipos de intervenções actualmente definidos podem ser vistos na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Codificação dos tipos de intervenção

Descrição	Código	Descrição	Código
Reparação caldeira gasóleo sem AQS	1	Verificação ar condicionado	15
Reparação caldeira gás sem AQS	2	Verificação equipamentos lenha	16
Reparação caldeiras biomassa sem AQS	3	Verificação sistema solar	17
Reparação BC sem AQS	4	Verificação acumuladores	18
Reparação acumuladores sem AQS	5	Manutenção caldeiras a gasóleo	19
Reparação caldeira a gasóleo sem aquecimento	6	Manutenção caldeiras a gás	20
Reparação caldeira a gás sem aquecimento	7	Manutenção ar condicionado	21
Reparação caldeiras biomassa sem aquecimento	8	Manutenção BC	22
Reparação BC sem climatização	9	Manutenção sistema solar	23
Reparação ar condicionado	10	Arranque caldeira gasóleo	24
Verificação caldeira a gasóleo	11	Arranque caldeira a gás	25
Verificação caldeira a gás	12	Arranque queimador gasóleo	26
Verificação equipamentos biomassa	13	Arranque queimador a gás	27
Verificação BC	14	Arranque BC	28
		Arranque equipamentos biomassa	29

5.2 A análise dos dados

Os registos tratados foram significativos (aproximadamente 6500), resultante de três anos de intervenções, sendo necessário uma depuração dos campos de dados por alguma lacuna ou preenchimento incorreto de algum dos campos.

Existem várias análises possíveis com os dados que nos deram, entre eles destacamos:

- Número de intervenções realizadas por ano/mês e semana;
- Frequência de intervenções por tipo de intervenção;
- Intervalo de tempo entre intervenções;
- Frequência de intervenção por localidade;

Começamos por refinar os dados no que diz respeito à frequência de intervenções por tipo, o que nos permitiu fazer uma análise simples de Pareto, como se pode ver na figura 5.2.

Essa análise de Pareto indica-nos que as intervenções mais significativas são as intervenções codificadas com os números 11, 22, 1, isto é, são as intervenções que para a gestão são consideradas prioritárias e que se costumam classificar, na metodologia ABC, de atividades tipo A.

Dado a necessidade de simplificar a simulação numa primeira fase, decidimos só analisar as intervenções tipo A, e para o nosso modelo de simulação só vamos gerar ordens de trabalho destes três tipos de intervenção.

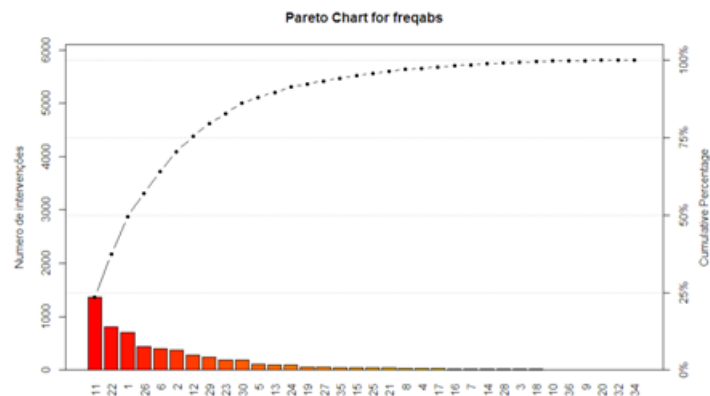


Figura 5.2: Análise de Pareto

Para a análise de cada um dos tipos de intervenção (11, 22 e 1), podemos verificar que a taxa de frequência das intervenções não é constante e de valor médio muito diferente se tivermos a analisar um período de verão ou um período de inverno, como se pode ver na figura 5.3.

O que se explica naturalmente, porque é no inverno que os clientes arrancam e trabalham com os equipamentos com mais intensidade. As intervenções selecionadas são todas de atividade de equipamentos que funcionam mais em tempo de inverno do que de verão, por isso só vamos analisar os dados dos meses de outono e inverno e fazer as nossas simulações também para essa altura.

Também fizemos, a título de exemplo, a análise só para a intervenção tipo 11, (ver figura 5.4) e constatámos que o padrão das ocorrências ao longo do ano por semana mantêm-se, mais ou menos, o mesmo. De salientar, que embora seja no inverno, a semana 52, não deve ser considerada, tal

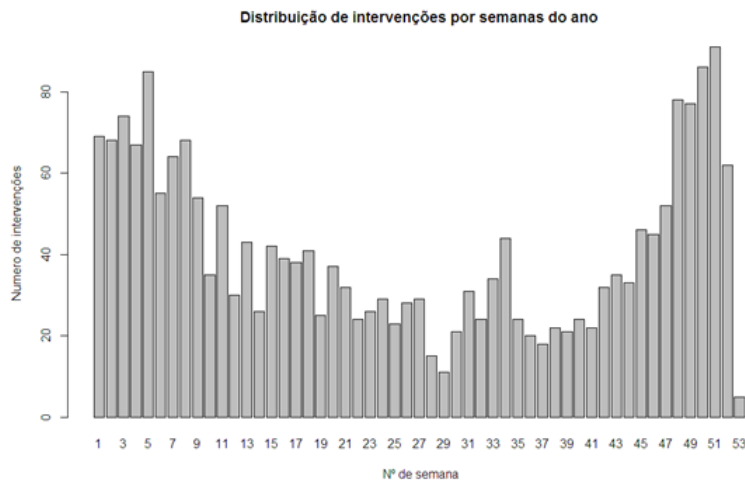


Figura 5.3: Distribuição de frequência por semanas do ano.

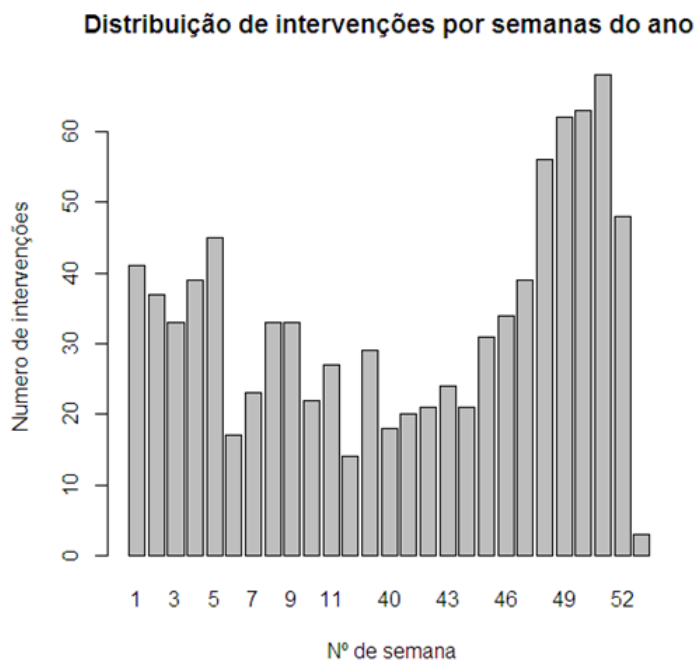


Figura 5.4: Distribuição de frequências por semanas do ano da intervenção 11.

é o número baixo de intervenções, isto devido ao facto, da empresa nessa semana, por regra, não trabalhar, só executando exceccionalmente alguns serviços muito urgentes.

De facto, a maioria dos equipamentos que a empresa assiste e a maioria das avarias reportam a equipamento para aquecimento usados exclusivamente no inverno; com o passar do tempo pode ocorrer que a empresa começa a instalar e reparar painéis solares e talvez nessa altura as intervenções ocorram no mesmo número durante o inverno e o verão.

Para cada um dos tipos de intervenção (11, 22 e 1), fizemos um estudo e uma análise profunda de forma a obter estimadores de dados o mais corretos possíveis, tal como foi pormenorizadamente explicado no capítulo 4.

Começamos por desenvolver primeiro uma análise gráfica, principalmente com a elaboração do histograma, escolhendo como unidade de medida a semana. De seguida, calculamos a estimação dos parâmetros principais da amostra (média, desvio padrão, etc...), depois fizemos o ajustamento a algumas distribuições e por último executamos alguns testes para verificar a precisão do ajustamento.

Toda esta análise foi feita para cada um dos anos que tínhamos (2009, 2010 e 2011). Embora em alguns casos pudéssemos somar os dados todos, preferimos analisar por ano, pois o tempo meteorológico variou bastante de ano para ano e os resultados foram significativamente diferentes.

De uma forma resumida, vamos explicitar todos esses passos para a intervenção tipo 11 e no final resumimos em duas tabelas os valores obtidos e a seleção de distribuições que mais se ajustam para os três tipos de intervenção em estudo.

O histograma de frequências para o ano 2009 da intervenção tipo 11, foi o seguinte:

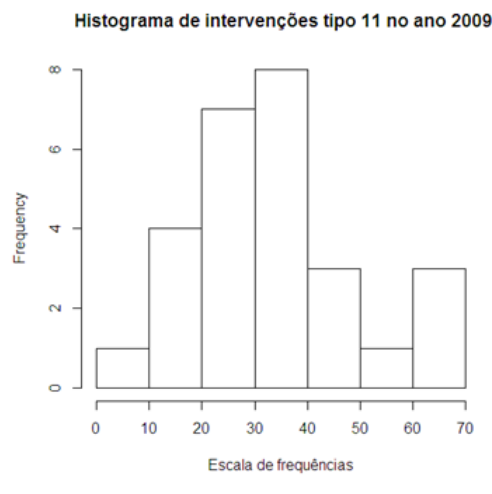


Figura 5.5: Histograma de intervenções tipo 11 no ano 2009.

A forma da densidade estimada dos dados no ano 2009 para a intervenção tipo 11, como se pode ver na figura 5.2 aponta-nos para uma distribuição não normal, embora também façamos o ajustamento à distribuição normal e consequentes testes da normalidade dos dados.

A comparação de uma distribuição normal com o ajustamentos dos dados à distribuição normal utilizando o gráfico de comparação para ajustamento *Q-Q plot* indica-nos um fraco ajustamento dos dados da amostra a uma distribuição normal.

Relativamente ao ajustamento a uma distribuição normal, fizemos uma tabela resumo para os três anos e para os três tipos de intervenção que vamos utilizar no nosso modelo de simulação.

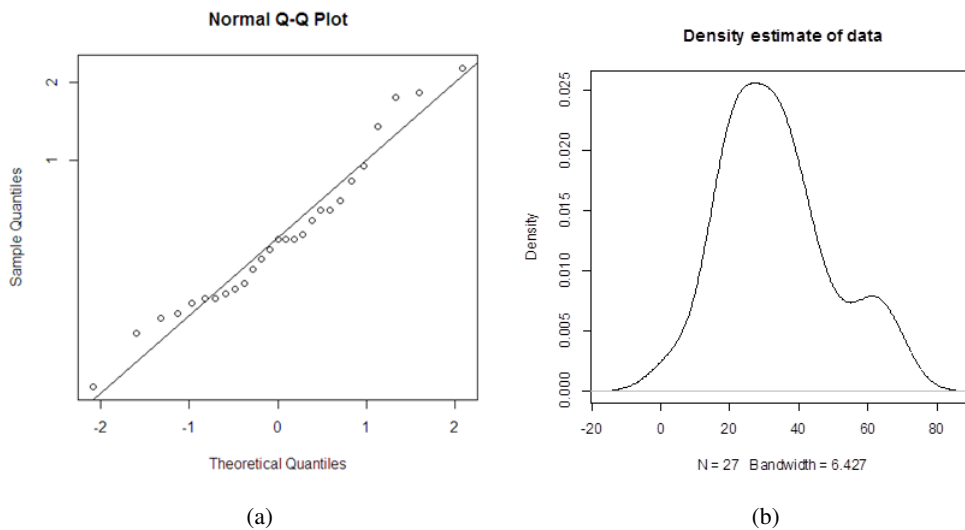


Figura 5.6: a) Normal Q-Q plot; b) Função densidade

Como podemos observar existe alguma variação na média e também no desvio padrão de ano para ano. Os teste Ks, foram realizados mas, os valores obtidos levam-nos a concluir que o ajustamento dos dados a uma distribuição normal não será o mais adequado.

Tabela 5.2: Resumo dos dados para ajustamento à normal

Tipo de Intervenção	Ano	Média	Desvio padrão	ks	shapiro	jarque.bera
11	2009	5.93	3.61	$3.76e-06$	0.20	0.52
-	2010	18.44	11.78	$7.88e-12$	0.11	0.44
-	2011	12.00	8.84	$1.05e-07$	0.07	0.47
22	2009	12.30	6.23	$6.26e-09$	0.17	0.74
-	2010	12.30	6.23	$1.01e-04$	0.02	0.44
-	2011	8.50	3.81	$4.66e-02$	0.89	0.78
1	2009	7.52	4.04	$8.23e-07$	0.65	0.74
-	2010	7.50	5.00	$1.02e-08$	$3.22e-04$	$3.50e-04$
-	2011	4.11	2.05	$4.08e-03$	0.09	0.38

No entanto, o ajustamento a uma distribuição de weibull, já nos parece muito melhor, como podemos observar por uma análise preliminar gráfica com a elaboração do histograma, função densidade e o gráfico qq-plot.

À semelhança do estudo anterior para distribuição normal, elaborámos uma tabela resumo dos cálculos feitos para a estimação de parâmetros a uma distribuição de weibull nos três anos e para cada tipo de intervenção. Neste caso os parâmetros estimados, através do método de máxima verosimilhança (MLE), são os parâmetros, factor de forma e factor de escala, como explicado no capítulo 4.

Para os dois testes de ajustamentos que realizámos os valores são bastante razoáveis e ajudam-nos a concluir que podemos assumir uma distribuição de weibull como função de distribuição para a geração de valores aleatórios das ordens de trabalho nas simulações a executar.

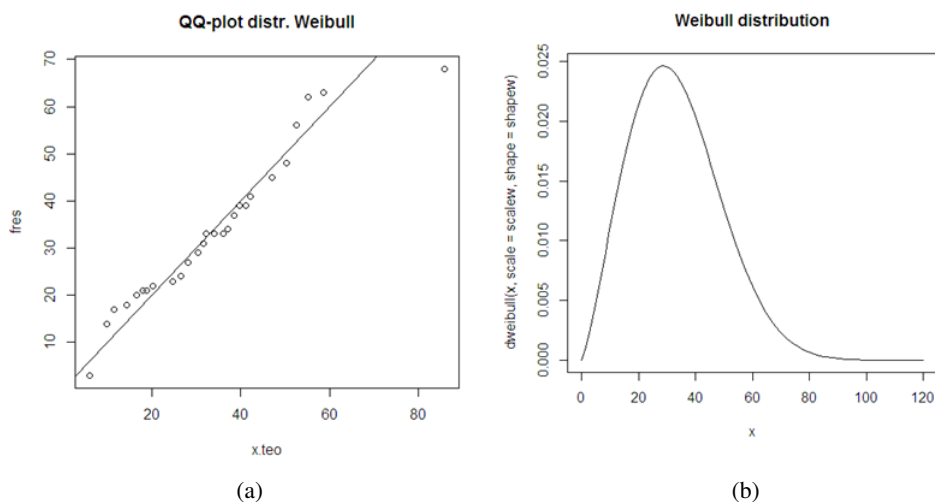


Figura 5.7: a) QQ-plot distr. Weibull; b) Weibull distribution

Tabela 5.3: Resumo dos dados para ajustamento à weibull

Tipo de Intervenção	Ano	Fator de forma	Fator de escala	Índice de ajustamento relativo	ks (p-value)
11	2009	1.66	6.62	1.00	0.92
-	2010	1.55	20.48	0.90	0.8
-	2011	1.24	12.81	1.00	0.74
22	2009	2.03	13.83	1.00	0.62
-	2010	1.19	10.76	1.00	0.37
-	2011	2.42	9.62	1.00	1.00
1	2009	1.90	8.44	1.00	0.89
-	2010	1.64	8.44	1.00	0.70
-	2011	2.14	4.65	1.00	0.65

Por último, interessava-nos fazer uma análise de dados relativa à frequência de intervenções por localidade.

Nesse sentido fizemos um estudo unicamente no distrito de Viseu, e assim, filtramos o maior número de intervenções, e com isso obtivemos as frequências de aparecimento das ordens de trabalho, nas várias localidade do distrito de Viseu. Na tabela seguinte 5.4 resumimos o estudo feito.

Tabela 5.4: Frequência de intervenção por localidade

Local	Quantidade	freq	x	y
Viseu	777	0,58	0	0
Vouzela	22	0,02	-20	5
Moimenta da Beira	250	0,19	20	37
Castro Daire	62	0,05	-3	25
Nelas	24	0,02	6	-15
Tondela	92	0,07	-13	-18
Lamego	35	0,03	3	46
Oliveira do hospital	28	0,02	10	-35
Mangualde/Penalva	60	0,04	13	-7

Estes valores foram utilizados para geração do local a atribuir à ordem de trabalho nos modelos de simulação onde se considera relevante a localização. No nosso trabalho só vamos fazer a atribuição do local à ordem de intervenção na simulação do cenário 4.

5.3 Modelo conceptual/construção do modelo

A construção do nosso modelo foi feita seguindo algumas das ideias explicadas no capítulo 3. Tivemos em conta que, a base para o modelo inicial seria o de duas equipas de assistência e as intervenções a simular seriam as três principais selecionadas no subcapítulo anterior.

Para iniciar a construção do modelo conceptual servimos-nos da metodologia de (Robinson 2011) e assim construímos um diagrama simples que consideramos que representa o processo de negócio.

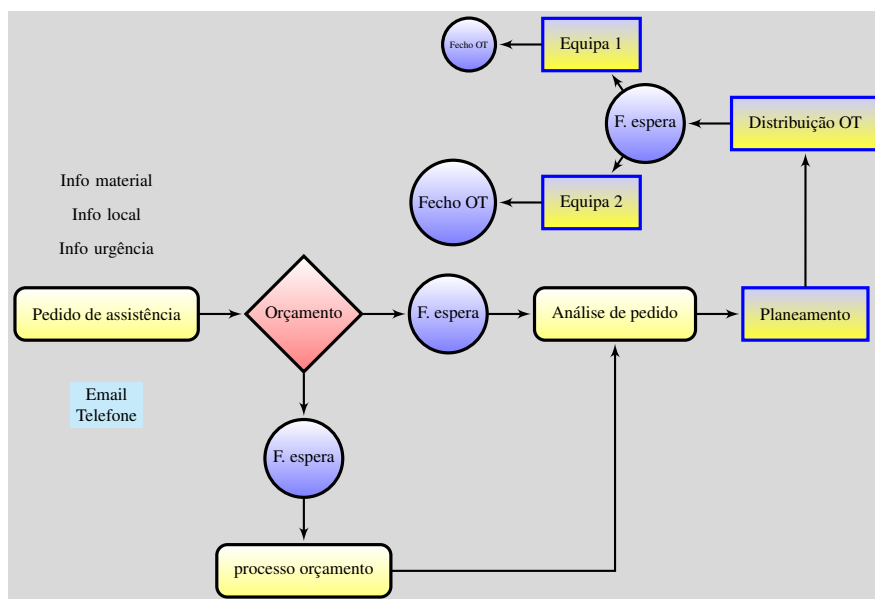


Figura 5.8: Modelo conceptual do processo de assistência

Todo o processo começa com o pedido de assistência técnica. Após receber o pedido é preciso fazer a sua análise de forma a definir a prioridade do pedido, a necessidade de pedir material e o tempo de deslocação. Em muitos casos existe um pedido de orçamento, com a visita do técnico/gestor às instalações, caso o cliente faça esse pedido.

Os dois postos de serviço correspondem a cada equipa técnica. A prioridade na atribuição de tarefas é feita em primeiro lugar com o sistema *fifo* - first in first out (explicado no capítulo 3). À medida que cada equipa acaba a sua ordem de trabalho, existe uma comparação relativamente ao ponto geográfico em que está de forma a atribuir a ordem de trabalho mais perto do local de onde ficou a equipa técnica.

A maioria dos pedidos de intervenção são feitas pelos clientes, por telefone ou email. A urgência do pedido é avaliada nessa altura, sendo a excepção os arranques dos equipamentos, em que normalmente é possível planear no espaço temporal relativamente grande a intervenção.

Consideramos que os técnicos trabalham as 8 horas por dia seguidas, embora seja difícil simular a tarefa que fica incompleta ao fim de um período de 8 horas e a equipa está relativamente longe da sede. Para fazer o sistema mais realista, poderíamos colocar no tempo de simulação a probabilidade de durante um mês termos alguma equipa a não comparecer ao trabalho, por férias, saúde (absentismo) etc...

A construção do nosso modelo inclui quatro grandes sub-sistemas, de forma a representar o processo de assistência após venda de uma pequena empresa da área da climatização. Fizemos algumas simplificações, tais como: - assumir que o pedido de orçamentos não é importante para o problema de dimensionamento das equipas de assistência, e por isso o nosso modelo começa na etapa imediatamente a seguir a todo o processo de orçamentação; não considerámos o problema do absentismo. Por último, considerámos que a equipa resolve sempre o problema. A situação de a equipa não resolver o problema, embora possível, não é muito frequente daí não ser considerada.

De seguida explicamos brevemente o nosso modelo, sendo fácil identificar os quatro sub-sistemas, como se pode ver na figura 5.9 .

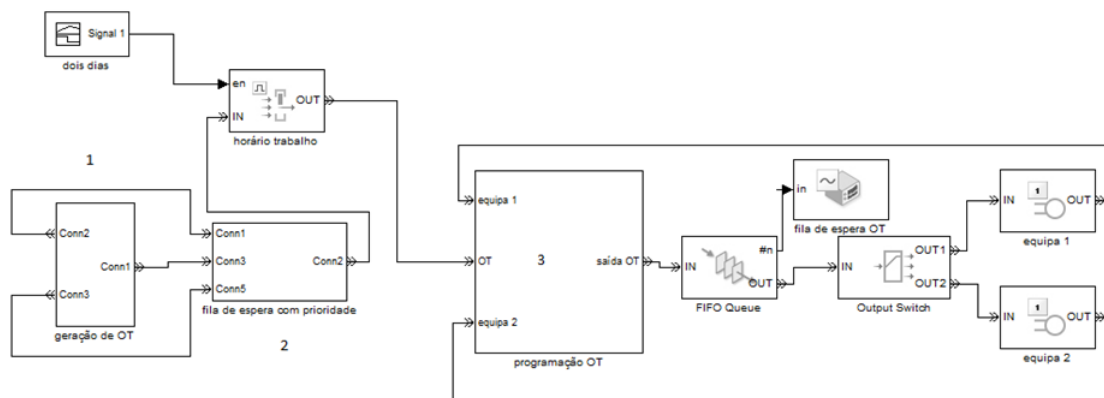


Figura 5.9: Modelo Geral

O primeiro subsistema corresponde a geração das ordens de trabalho. A geração das OT é feita de forma aleatória, mas tendo em conta a análise de dados que fizemos, a partir dos dados histórico fornecidos pela empresa. Com a análise de dados anterior podemos gerar eventos discretos (neste caso ordem de trabalhos) com características diferentes, neste caso, de frequência, de localização e de tempo de execução.

O segundo subsistema corresponde à atualização ao longo do tempo das prioridades relativas às ordens de trabalho. A definição de prioridades está feita de forma teórica e não baseada nos valores reais, porque não foi possível recolher dados suficientes e fazer o estudo conveniente.

O terceiro subsistema corresponde à atribuição das ordens de trabalhos às equipas técnicas de assistência tendo em conta a sua ultima localização geográfica, i.e. caso uma equipa tenha terminado uma assistência na Guarda e houvesse uma ordem de trabalhar a atribuir perto da Guarda não teria lógica atribuir a outra equipa que estaria mais longe dessa ordem de trabalho.

O quarto e último subsistema não assinalado diretamente na ilustração corresponde à fila de espera das ordens de trabalho e à realização da ordem de trabalho "tarefa" para a equipa correspondente.

Neste nosso modelo conceptual o tempo de espera que é importante é na altura que a OT já foi para planeamento e ainda não existe capacidade de resposta das duas equipas técnicas. Este é um valor importante, porque a empresa já se responsabilizou pelo trabalho e o cliente está à espera da sua execução, que como é óbvio, quanto mais rápido melhor.

5.3.1 Subsistema 1

O sub-sistema 1 tem como núcleo principal a geração de OT, através de blocos de geração de dados aleatórios "Random source". Os números são aleatórios mas seguem um padrão de uma distribuição, neste caso de weibull. Neste modelo definimos só três ordens de trabalho e cada uma delas tem uma geração de valores diferente, para cada tipo de intervenção escolhemos o factor de forma e factor de escala do ano 2010, que nos parece aquele que representa melhor os dados estimados. As OT são geradas em paralelo, de seguida, cada OT gerada passa por um bloco "set atributes" em que é atribuída à OT o n^o de 1, 2 e 3 correspondente às OT 11, 22 e 1 que mais tarde vão representar tempos diferentes de execução.

Na sequência seguinte cada OT passa por um subsistema de geração das coordenadas do local onde a OT foi pedida; este subsistema tem um conjunto de blocos que geram um número aleatório que representa uma determinada localização. Com esse número a simulação, mais à frente vai definir qual será a equipa mais próxima do local para resolver a intervenção.

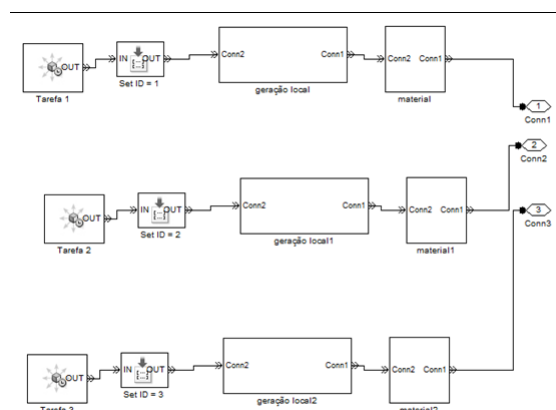


Figura 5.10: Subsistema 1

Por último temos a necessidade de saber se a OT necessita de material ou não. No fundo, caso a intervenção necessite de material a pedir, o único efeito é atrasar o tempo de entrada da OT na fase de planeamento e atribuição das OT às equipas de assistência.

5.3.2 Subsistema 2

Depois de definido o tipo de avaria e a sua localização, segue-se uma filtragem em que as ordens vão sendo actualizadas conforme a sua prioridade bem como o tempo de execução.

Por exemplo se tivermos três avarias uma delas sendo a mais urgente segue na simulação, enquanto as outras duas são processadas consoante o tempo despendido na primeira avaria sendo depois, analisado se ainda resta tempo para a resolução das avarias pendentes. Esta análise é feita por o conjunto de blocos que resulta no subsistema 2 visível na figura 5.11 .

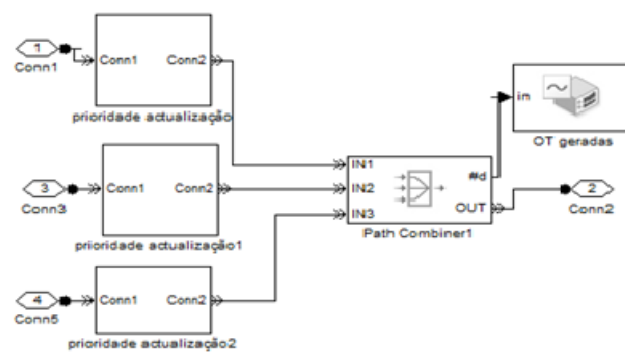


Figura 5.11: Subsistema 2

Neste subsistema os tempos de espera e uma fila de prioridade combinam para agilizar a tramitação de pedidos que esperam ao longo da simulação na fila de espera. Os pedidos, por defeito, são de prioridade inicial 3, o qual é o nível de prioridade menos importante neste modelo.

Se um pedido permanece sem ser processado por muito tempo, deixa o bloco de fila de prioridade, através da porta de saída da entidade e torna-se um pedido de prioridade 2, o intervalo de tempo limite é menor, e reentra na fila de espera.

A fila coloca este pedido à frente de todos os pedidos de prioridade 3 que já estão na fila.

Um pedido de prioridade 2 torna-se um pedido de prioridade 1, quando passa um intervalo de tempo limite e reentra na fila com prioridade 1. Este pedido fica à frente de todos os pedidos (com prioridade 2 e 3) que estão na fila de espera.

5.3.3 Sub-sistema 3

Nesta terceira fase de simulação, é feito uma análise matemático onde se define qual a equipa que deve avançar para uma intervenção, ou seja, neste subsistema é analisada qual a equipa de intervenção mais próxima do local da avaria e é encaminhada para essa localização.

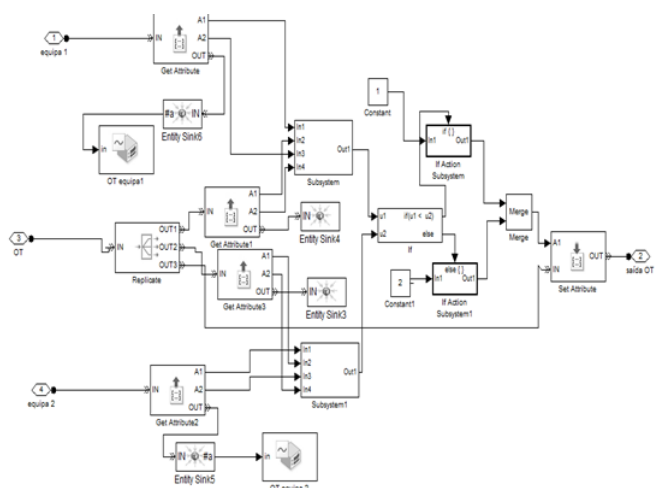


Figura 5.12: Sub-sistema 3

O estudo e análise da dados feito no cap.5.2, unicamente no distrito de Viseu, obteve as frequências de aparecimento das ordens de trabalho por local geográfico, como se pode ver na tabela 5.4.

Para definir as coordenadas e fazer as devidas comparações de distâncias utilizámos uma ferramenta de medição linear do Google Earth para obtermos as coordenadas x e y de cada um dos pontos principais das principais localidades do distrito de Viseu, na qual a empresa realiza e vai realizar as assistências técnicas.

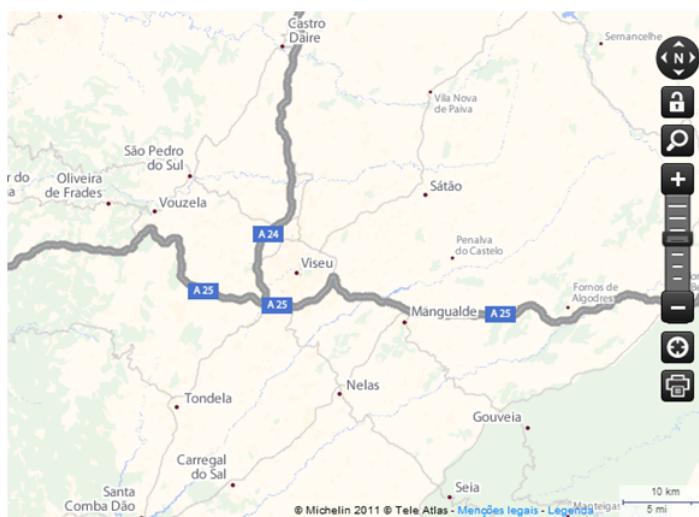


Figura 5.13: Medição de coordenadas

Esses valores foram utilizados para a atribuição do local da ordem de intervenção do cenário 4.

Esta análise usa a comparação de valores em tempo real. Para cada pedido é dado as coordenadas de localização (explicado em cima). Por sua vez o local geográfico onde estão as equipas são atualizadas para as coordenadas no mesmo sistema referencial que os pedidos. É calculado

o raio da distância das coordenadas (pois, estamos a trabalhar com duas dimensões x,y) entre o pedido e cada uma das equipas.

À distância menor é atribuído o valor 1 ou 2 dependendo se pertença o valor menor à equipa 1 ou 2. Por último, o sistema distribui as tarefas consoante um atributo especial que é o da comparação anterior, o qual permite que seja atribuída o pedido de intervenção à equipa que esteja no local mais próximo.

Esta análise já usa o conjunto de blocos mais avançado e o seu sistema de funcionamento já é mais complexo, exigindo algum trabalho na sua realização, no entanto, pensámos que conseguimos uma simulação parecida à realidade, embora haja algumas adaptações.

5.3.4 Subsistema 4

O subsistema quatro corresponde á fila de espera das ordens de trabalho a serem executadas e à realização da tarefas feitas com blocos designados por "server".

Os tempo de execução foram definidos no início da geração da ordem de trabalho e foram calculados através de um questionário aos técnicos principais da empresa, em que se pediu para indicar os tempos otimista, pessimista e realista podendo ajustar assim estes valores a uma distribuição estatística piramidal. O modelo gera tempos de reparação que estão entre o tempo pessimista e o tempo otimista com o valor médio de tempo normal. Os valores recolhidos podem ser visualizados na tabela seguinte.

E desta forma é possível fazer a simulação mais perto da realidade, dado este tipo de trabalho nunca ter uma duração padrão.

Tabela 5.5: Tempos padrão por intervenção

Descrição intervenção	Código	Tempo otimista	Tempo normal	Tempo pessimista
REPARAÇÃO CALDEIRA GASOLEO SEM AQS	1	1/2h	1h	2,5 h
VERIFICAÇÃO CALDEIRA A GASOLEO	11	1/2h	1h	2,5 h
MANUTENÇÃO BC	22	1h	1h30	2h

5.4 Simulações

O objetivo final do nosso trabalho é executar várias simulações com diferentes cenários, obtendo resultados que nos permitam avaliar qual a situação mais adequada para responder às solicitações dos clientes. Utilizámos os dados recolhidos e tratados anteriormente.

Com o modelo principal desenvolvido, podíamos fazer inúmeros cenários, alguns deles que iriam alterar quer a capacidade de resposta, quer ligeiramente a forma de processamento do serviço. Decidimos fazer a comparação de quatro cenários e utilizámos dois indicadores principais como comparação: o tempo de espera no sub-sistema 4 e o número de intervenções realizadas. Isto para o mesmo tempo de calendário definido.

Na empresa, consideramos um horário de trabalho durante um semana que corresponde a 8 horas por dia, e as restantes livres.

Este horário de trabalho foi definido num bloco especial, que permite visualizar graficamente o estado ativo ou não do operário como se pode ver na figura 5.14 .

No total, uma semana tem 120 horas repartidas por intervalos de 8 (activo) e 16 horas (inactivo).

Poderíamos refinar a nossa simulação considerando os intervalos das refeições, mas pensámos que não nos daria uma grande diferença na comparação de cenários.

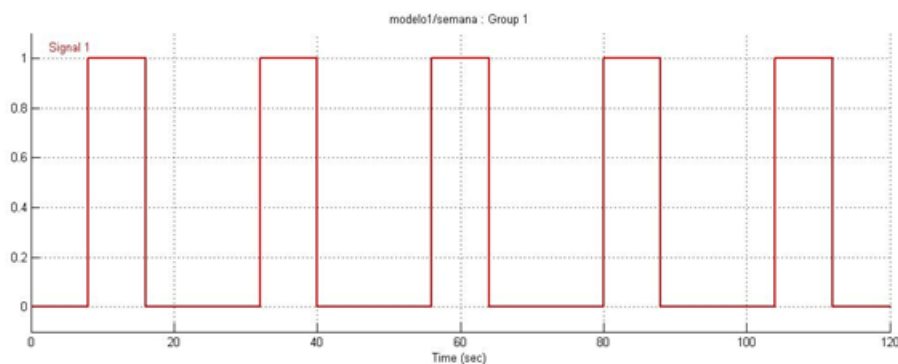


Figura 5.14: Horário de semana de trabalho

5.4.1 Cenário 1

No primeiro cenário, descrito na figura 5.15, simulámos o modelo geral construído e explicado anteriormente, mas só com uma equipa técnica.

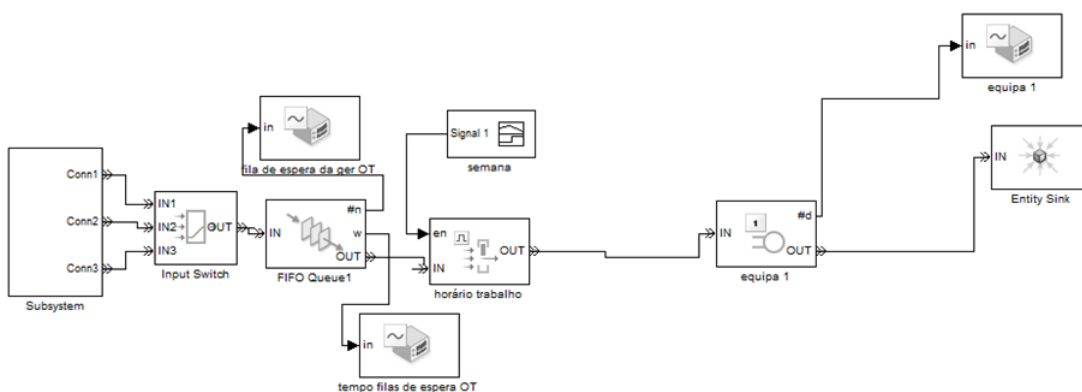


Figura 5.15: Cenário 1

Fizemos a simulação para uma semana, e os resultados obtidos, ver na figura 5.16, indicamos que no final da semana já temos 25 ordens de intervenção executadas, temos 8 a 10 ordens de intervenção em espera e um tempo de permanência em fila de espera de 20 Horas (waiting time).

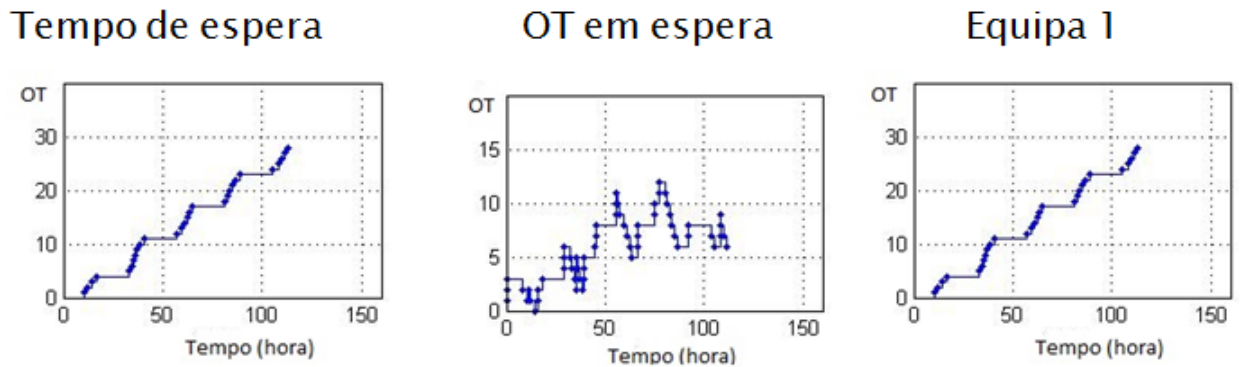


Figura 5.16: Resultados cenário 1

5.4.2 Cenário 2

No segundo cenário simulamos a geração das ordens de trabalho como no cenário anterior mas agora com duas equipas disponíveis e a atribuição de tarefas aleatória e considerada a regra de despacho da fila de espera fifo.

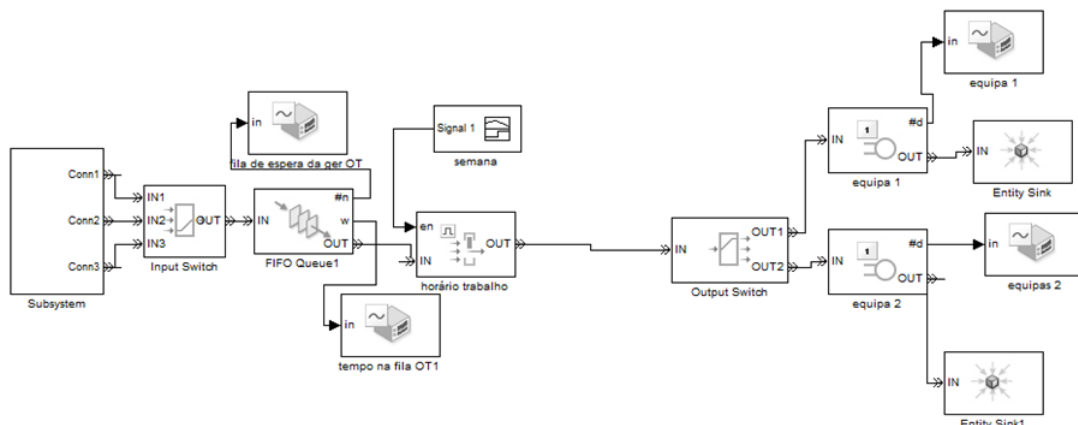


Figura 5.17: Cenário 2

Na simulação para uma semana, ver na figura 5.18 obtivemos uma produção de 35 ordens de trabalho em que no final não houve acumulação de ordens de trabalho, a simulação também nos indica um tempo de permanência em fila de espera de 10 horas (waiting time).

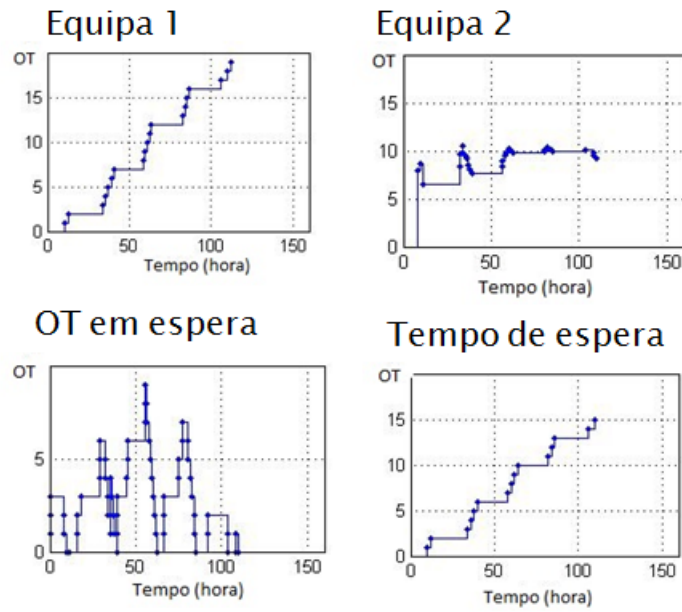


Figura 5.18: Resultados cenário 2

5.4.3 Cenário 3

No terceiro cenário simulamos a geração das ordens de trabalho como nos cenários anteriores mas agora com 3 equipas disponíveis e a atribuição de tarefas aleatória e considerada a regra de despacho da fila de espera fifo.

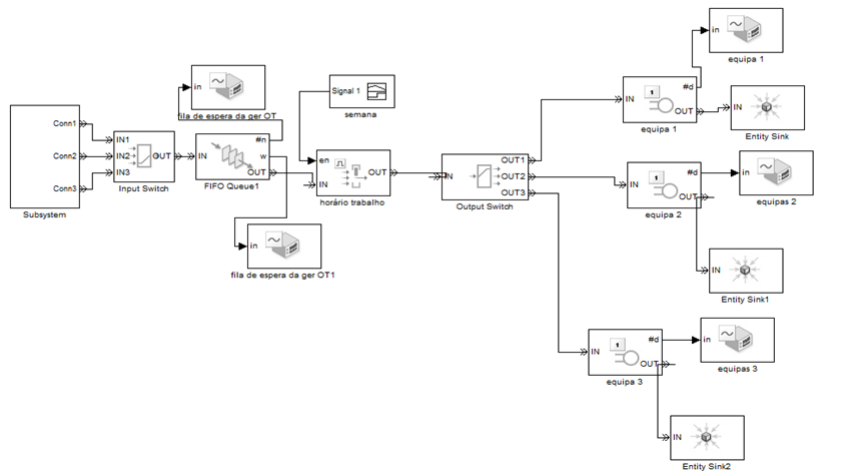


Figura 5.19: Cenário 3

Como resultados obtivemos também uma produção de 35 ordens de trabalho e um tempo de permanência de 5 horas (waiting time) metade do anterior.

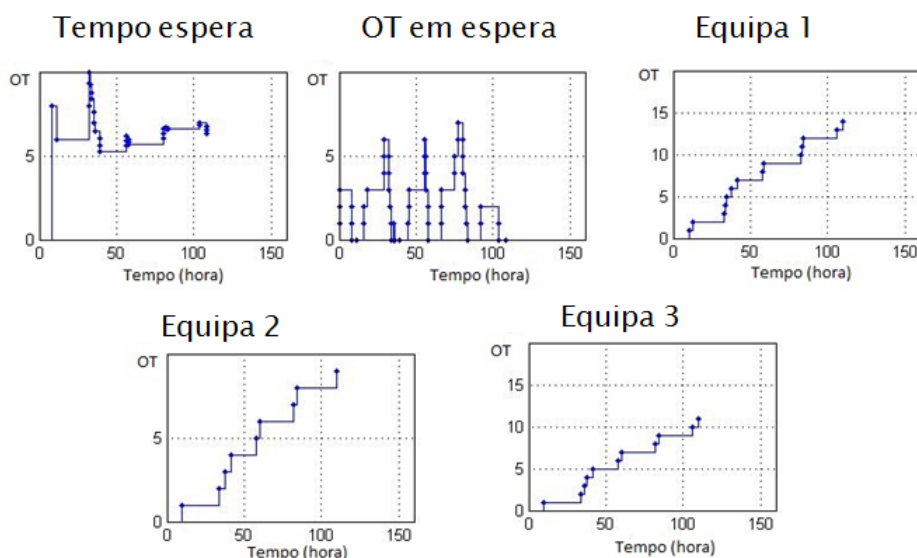


Figura 5.20: Resultados cenário 3

5.4.4 Cenário 4

Neste cenário utilizamos duas equipas e a atribuição das tarefas dependia da distância entre a última localização da equipa e a ordem de trabalho que estava para ser despachada. Os valores utilizados para as coordenadas x e y, foram os da tabela 5.13 e como referido anteriormente, o estudo foi realizado unicamente no distrito de Viseu.

Nesta simulação os resultados já foram diferentes dos anteriores cenários, em que, a segunda equipa ficou com a maioria das ordens de trabalho por ter ficado em Viseu, logo no início da simulação, onde se regista a maioria das ordens de trabalho. A produção de ordens de trabalho foi de 40, sendo que ao fim de uma semana as ordens encontravam-se todas realizadas com um tempo médio de espera de duas horas (waiting time).

5.5 Análise dos resultados

Numa primeira fase foi feita a análise de dados de três anos (2009, 2010 e 2011), restringindo a nossa análise apenas à zona centro, fizemos uma análise de pareto que nos permite filtrar os dados para definir as intervenções mais importantes, codificadas com os números 11, 22 e 1. De seguida fomos analisar a variação das ordens técnicas ao longo do ano e identificamos uma diferença significativa entre os meses de inverno e de verão, levando-nos a concluir que a análise deveria ser só nos meses de inverno/outono. Por último, fizemos uma análise das OT para a zona de Viseu, identificando as frequências de localização geográfica das intervenções.

Na análise dos vários cenários identificamos os seguintes aspectos: entre os três primeiros cenários o mais realista seria o de utilizar duas equipas de assistência, porque diminui bastante o tempo de espera de cada ordem de intervenção e para além disso consegue realizar todas as tarefas. O cenário com três equipas melhora um pouco mas não o bastante para justificar ter mais

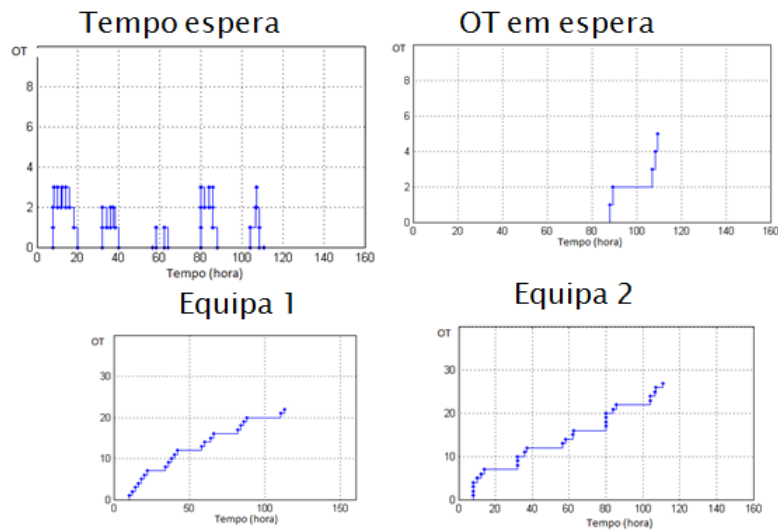


Figura 5.21: Resultados cenário 4

uma equipa com um gasto grande e ainda por cima com todas equipas com bastantes tempos mortos.

O quarto cenário é o mais realista e aquele que se aproxima mais da realidade; de facto, a empresa só tem duas equipas de assistência. Como alguns pressupostos são diferentes dos outros cenários não é muito aconselhável compará-los.

A conclusão final é que caso o padrão de avarias dos equipamentos se mantenha ou a venda dos equipamentos não aumente muito, o manter as duas equipas é para já a melhor opção.

Capítulo 6

Conclusões

A inovação de processos ou serviços com melhoria contínua caracteriza-se por uma procura de aperfeiçoamento constante e gradual de modo a aumentar a qualidade dos serviços. O processo de desenhar um modelo de um sistema real, conduzir experiências usando esse mesmo modelo, com o propósito de compreender o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias para o seu funcionamento, pode contribuir para o redesenho do processo e a sua inovação, quer relativamente aos concorrentes quer relativamente aos clientes.

Este projecto tinha como objectivo o apoio no dimensionamento de recursos numa empresa de assistência técnica. A inovação no sistema de planeamento e desenvolvimento estava no uso de ferramentas de simulação avançadas, bem como, no uso de ferramentas estatísticas para a análise dos dados dos últimos três anos que iriam permitir saber o número de equipas ideal, bem como a melhor forma de dispor geograficamente os recursos.

Em relação à ferramenta usada, o Simulink, comprovou-se que as suas potencialidades são enormes. O facto da sua programação ser baseada em programação por blocos constitui uma grande vantagem. Trata-se de uma linguagem poderosa, flexível e bem documentada.

Dentro do simulink, e mais propriamente na área relacionada com a simulação orientada a eventos discretos, existe a biblioteca de blocos bastante completa (Simevents), usada nesta dissertação que contém um vasto conjunto de blocos que permitem uma análise estatística profunda da simulação. A possibilidade e facilidade de utilização destes objetos, tanto a nível lógico como a nível de apresentação, foram cruciais durante todo o trabalho realizado. A curva de aprendizagem do Simulink é acessível e relativamente rápida, mas quando o modelador ou programador pretende fazer algo mais complicado ou um modelo mais complexo, a programação torna-se, também ela, mais complexa. No entanto, as possibilidades da ferramenta são imensas, o que facilita na procura de encontrar formas de solucionar os problemas dos modelos mais complexos.

6.1 Trabalho futuro

Na nossa tese identificamos muitas linhas de desenvolvimento que podem ser seguidas no futuro. Em primeiro lugar, acrescentar mais um ano de dados (2012) para a análise, aumentando

o número de 6500 intervenções para quase 8000 intervenções técnicas.

Na análise de dados poderiam ainda ser feitas mais análises de forma a compreender melhor os dados e a retirar mais ilações dos fenómenos das avarias em equipamentos de energia renováveis e climatização. Algumas das análises a desenvolver são:

- Realizar uma análise de dados que consiga aglutinar os parâmetros estimados das distribuições por cada ano;
- Identificar a relação que existe entre a temperatura média mínima por semana e o número de intervenções solicitadas nos equipamentos de aquecimento;
- Identificar a relação que existe entre a temperatura média máxima por semana e o número de intervenções solicitadas nos equipamentos solares e fotovoltaicos;
- A venda de equipamentos por zona e o número de intervenções;
- Realizar ajustamentos a outras distribuições estatísticas teóricas;
- Identificar as marcas e modelos que são mais responsáveis por intervenções;
- Melhorar o sistema de análise das intervenções segundo a localidade e concelho do País.

Também poderia ser feito um levantamento mais exaustivo dos tempo de intervenção para cada tipo de intervenção segundo a codificação feita pela empresa.

Nos campo da simulação poderíamos fazer inúmeras actividades de forma a aproveitar quer os modelos desenvolvidos, quer os dados recolhidos, como por exemplo:

- Simular, por exemplo, pausas de almoço dos operadores ou absentismo;
- Simular a intervenção contando com o tempo de deslocação;
- Simular a actualização de prioridades das intervenções;
- Simular a necessidade ou não de um tempo de espera para o material necessário na intervenção.

Por último, com os dados da simulação e a recolha de valores económicos, poderia utilizar-se os vários cenários para uma optimização de custos tendo em conta o preço de mão de obra, de deslocação, de material utilizado e o valor facturado por cada intervenção, obtendo desta forma o lucro esperado.

Referências

- COTEC Portugal © 2010. Cotec Portugal - associação empresarial para a inovação, Junho 2012. <http://www.cotecportugal.pt>.
- Matos M. A. Normas para apresentação de dissertações, bases essenciais. Relatório técnico, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Maio 1993.
- Jerry Banks and John Carson e Barry Nelson. *Discrete-Event System Simulation*. Prentice-Hall International Series, Second edição, 1995. ISBN 0-13-217449-9.
- FREEMAN C e PEREZ. *Structural Crises of Adjustment, Business Cycles and Investment Behaviour*, volume of . . , edição, 1988. ISBN . .
- Jaap H.M. de Jonge. *All you need to know about management*. <http://www.12manage.com>.
- Shannon R. E. Introduction to the art and science of simulation. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, December 1998.
- Gallouj F. *Innovating in reverse: services and the reverse product cycle*. , 1998.
- Ingalls R. G. Introduction to simulation. *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, December 2002.
- Hauknes J. *Services in innovation innovation in services*, volume of . . , edição, 1998. ISBN . .
- Rodrigues J. An analysis and evaluation of discrete production systems: a simulation based approach, 2008.
- MATLAB. *version 7.10.0 (R2010a)*. The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, 2010.
- Clemente R. Conceito inovacao disruptiva, October 2008. Disponível em <http://www.slideshare.net/rafclm/conceito-inovacao-disruptiva-presentation>.
- Fernandes R. Simulador de sistemas de produção e de informação industriais: Aplicação a sistema de produção lean, 2008.
- R Development Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2008. URL <http://www.R-project.org>. ISBN 3-900051-07-0.
- V. Ricci. Fitting distributions with r, February 2005. Free Software Foundation, disponível em <http://www.fsf.org/licenses/licenses.html#FDL>.
- Carson J. S. Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, December 2005.
- Wikipedia.org. Inovação, Maio 2012. <http://www.wikipedia.org/wiki/Inovaco>.