

TEORIA DA DECISÃO I
ISCTE, DCTI
Sistemas Integrados de Apoio à Decisão,
Mestrado em SIAD

Duarte Trigueiros

3 de Novembro de 2010

Índice

I	A decisão empresarial e os sistemas que a apoiam	11
1	Estrutura conceptual da tomada de decisões	13
1.1	Estado, problema, decisão	13
1.2	Organização, valor, empresa	15
1.3	Hierarquia de objectivos na empresa	18
1.4	Sistemas e visão sistémica	22
1.5	A empresa como sistema	26
1.6	O processo de valor acrescentado	29
2	Sistemas de Informação	31
2.1	Informação e seu papel na empresa	31
2.2	Conversão de dados em informação	33
2.3	Atributos qualitativos dos dados	35
2.4	Atributos quantitativos dos dados	37
2.5	Atributos da informação por nível de objectivos	42
3	O Uso da informação na empresa	45
3.1	Registo de transacções para ligar tarefas entre si	45
3.2	Os sistemas transaccionais	48
3.3	A tomada de decisões na empresa	56
3.4	Planificação, execução, controlo e medição do desempenho	63
3.5	Os sistemas de apoio à decisão (SAD)	65
II	Critérios de decisão, com e sem informação <i>a priori</i>	67
4	Valores Esperados e Utilidade	73
4.1	Decisão e Desenlaces	73
4.2	Cálculo do Valor Esperado	74
4.3	O Critério do Valor Esperado e as Decisões Repetitivas	75

4.4	A Função Utilidade	77
4.5	Atitudes Perante o Risco	81
5	Árvores de Decisão	83
5.1	O Elemento Básico de Uma Árvore de Decisão	83
5.2	Cálculo do Valor Esperado em Árvores de Decisão	84
6	O valor da informação	91
6.1	Informação perfeita	91
6.2	Informação incompleta	95
7	A decisão sem informação <i>a priori</i>	99
7.1	Possíveis critérios de decisão	99
7.2	O critério MAXIMIN ou pessimista	100
7.3	O critério MAXIMAX ou optimista	101
7.4	O critério MINIMAX ou do lamento mínimo	102
7.5	O critério de Laplace ou da insuficiente razão	103
8	Exercícios	105
III	Robustez e peso causal de uma decisão	109
9	Robustez como Critério de Decisão	113
9.1	Introdução à Noção de Robustez	114
9.2	Discussão	116
9.3	Uma Nova Ideia de Robustez	118
9.4	Sumário	119
10	O Algoritmo ID3 para Indução de Regras	121
10.1	Quantidade de Informação e Ganho	121
10.2	O Algoritmo ID3	124
10.2.1	Outros Algoritmos	124
10.3	A Diferença Entre Modelar e Ordenar	125
10.4	Crítica ao Uso da Indução de Regras em Estatística	127
10.4.1	Generalização	127
10.4.2	Indução de Regras e Estrutura	129
10.4.3	Como Podar Árvores de Regras?	132
10.5	Indução de Regras e Modelos Usuais em Finanças	133
10.5.1	Problemas de Medição	133

10.5.2	Probabilidades e Correlações A-Priori	134
10.6	Sumário	135
11	Indução de Regras e Robustez	137
11.1	O ID3 em Modelos Sequenciais	137
11.1.1	Estruturas Concordantes	137
11.1.2	Quantificação da Causalidade	138
11.1.3	Como Aplicar o ID3 a Árvores de Decisão	141
11.2	Quantificando a Robustez	143
11.2.1	A Árvore de Decisão para “Prism Paints Inc.”	143
11.2.2	Discussão dos Resultados	146
11.3	Sumário	152
12	Conclusões	155

Introdução

Este texto é uma introdução à teoria da decisão na empresa e aos sistemas que a apoiam.

O trabalho fundacional deste ramo do conhecimento foi o livro que Herbert Simon publicou em 1947 com o título *Administrative Behaviour* [40], numa altura em que os sistemas digitais estavam na infância.

O primeiro problema que os sistemas de apoio à decisão tiveram que resolver foi o do diálogo entre o utilizador e a ferramenta. Desde o final dos anos 50 do século passado, tornou-se claro que o futuro dos sistemas de apoio à decisão na empresa passava pelo aumento substancial da inter-actividade entre o decisor e os computadores. Nessa altura, as máquinas de processamento digital de dados não permitiam senão um mínimo de inter-actividade. A esse propósito, o estudo de J. Licklider (1960) significativo por preconizar uma simbiose entre o homem e a máquina em tarefas de decisão empresarial. Mas foi preciso esperar ainda uns anos pois tal simbiose só começou a concretizar-se, e sob formas rudimentares, em finais da década seguinte.

Durante os anos 70 aparecem os primeiros sistemas de apoio à decisão. Little (1970) [24] apresenta um sistema de apoio à produção. J. Scott Morton e os seus colegas [31] publicaram em 1968 um artigo na *Sloan Management Review* onde distinguem entre a resolução automática de problemas de decisão e outros sistemas, mais orientados para o apoio a decisões semi-estruturadas.

A década dos 70 foi de rápida evolução; a tal ponto que S. Alter, [1] por alturas do início da década seguinte, podia já oferecer uma taxonomia dos sistemas de apoio à decisão baseada nos 7 grandes tipos então existentes:

- sistemas para criação e acesso a ficheiros;
- sistemas para a análise de dados contidos em ficheiros;
- sistemas para acesso diversificado a bases de dados;
- sistemas financeiros e contabilísticos;
- sistemas para a representação de dados, por exemplo através de simulação;
- sistemas para o cálculo de óptimos;
- sistemas para processamento lógico e capazes de oferecer sugestões ao decisor.

Em 1979 J. Rockart [37] publicou no *Harvard Business Review* um artigo influencial onde propunha a criação daquilo a que se viria a chamar o *executive information system*: um sistema capaz de mostrar ao gestor o estado em que se encontram os *key performance indicators* (KPI) da sua empresa.

Um ano antes, é importante assinalar o aparecimento da folha de cálculo, a qual se tornou no motor dos micro-computadores e de todas as suas aplicações actuais, incluída a *world-wide web*.

Até finais dos anos 80, os sistemas de suporte à decisão empresarial eram *model-driven*, isto é, prestavam pouca atenção à origem dos dados, à sua recolha e formatação prévia, focando-se exclusivamente no processamento desses dados com vistas a um dado fim (geralmente optimização, simulação, análise estatística ou modelação financeira). O exemplo típico de um sistema dessa época é o IFPS, uma ferramenta inter-activa para planeamento financeiro e simulação. Os anos 80 foram também a época dos grandes sistemas periciais, os quais se revelaram pouco flexíveis e, por não se apoiarem nos dados da empresa, ficavam desactualizados em pouco tempo.

O interesse pelos modelos deixou por resolver durante mais de uma década o problema do acesso aos dados da empresa, a tal ponto que esse acesso, formatação e sumarização de dados para uso no apoio à decisão, requeria, em muitas empresas dos anos 90, a existência de um gabinete especializado apenas para realizar essas tarefas.

A reacção, porém, não se fez esperar e os anos 90 foram de grande progresso nos sistemas *data-driven* de apoio à decisão. Por um lado, as bases dados relacionais e os seus sistemas gerenciadores, foram conseguindo conquistar o mundo das operações e substituíram pouco a pouco os sistemas dedicados ao processamento de transacções; por outro lado, os próprios sistemas para modelação, passaram a dedicar mais atenção à interface com os dados.

Neste campo, porém, o grande avanço foi protagonizado pela popularização, já em inícios de século, dos *data warehouses* e dos seus modos de acesso, as ferramentas para *on-line analytical processing* e os *data marts*, realmente capazes de tirar partido da organização *lógica* de dados, não apenas de organizações relacionais.

O desapontamento causado pelos sistemas periciais levou também a um redobrado interesse pelas ferramentas de *data mining*, como redes neuronais e algoritmos de extracção de regras. Surgiram então utensílios integrados que procuravam facilitar o acesso aos dados e ao mesmo tempo punham ao dispôr do decisor uma gama variada de ferramentas de modelação.

é de assinalar o aparecimento, também nos anos 90, de sistemas para apoio ao trabalho à distância: *workflow management tools* como o NOTES. Estes sistemas organizam o trabalho de grupos e a fluxo de documentos entre vários intervenientes num procedimento, independentemente da distância a que se encontrem uns dos outros.

O início do século viu o aparecimento de motores de busca eficazes como o *Google* e com eles, um novo tipo de sistema de apoio à decisão, *document oriented*.

Uma nota final, apenas para frisar que hoje, os sistemas baseados em regras ou *knowledge-driven*, não são geralmente estudados como sistemas de apoio à decisão, área onde deixaram de

ser usados devido à sua rigidez e fraca capacidade de diálogo e inter-acção. Tais sistemas são mais usados na resolução de problemas bem estruturados, na produção e operações ou integrados em *robots*.

Por outro lado, o interesse das empresas por modelos de controlo de gestão como o *tableau de bord* ou o *balanced scorecard* (Kaplan & Norton) acabou por ditar uma maior integração entre os diversos sistemas existentes, nomeadamente entre os *data-* e os *model-driven*. A esta última ferramenta corresponde a tentativa de organizar os dados segundo objectivos, obtidos por propagação da estratégia até aos níveis inferiores de decisão.

Acabamos esta introdução lembrando que o aproveitamento proveitoso da matéria por parte dos alunos pressupõe um mínimo de familiariedade com os problemas estudados, nomeadamente a gestão das empresas. Também pressupõe algum a-vontade e prontidão no uso de ferramentas informáticas comuns nas empresas.

Parte I

A decisão empresarial e os sistemas que a apoiam

Capítulo 1

Estrutura conceptual da tomada de decisões

Este capítulo introduz postulados e definições necessários ao estudo do processo de tomada de decisões na empresa e dos sistemas que o apoiam. Esses postulados encontram-se inter-ligados de forma coerente, formando aquilo que se designa por *estrutura conceptual*. Cada ramo do saber tem por base uma estrutura conceptual e é com ela que desenvolve novos conceitos a partir de postulados e definições.

De notar que a estrutura conceptual apresentada não é senão uma das possíveis abordagens ao estudo da tomada de decisões na empresa. Existem outras e dessas, talvez a mais próxima seja a desenvolvida por Simon (1947; [40]; 1960 [41]).

1.1 Estado, problema, decisão

O postulado mais básico e intuitivo é o de *fim a atingir*; e tem a ver com diferenças que porventura existam entre um *estado* ou situação real e outro estado considerado como desejável.

Ao longo da vida, todos temos necessidade de resolver *problemas*, começando com a satisfação das necessidades básicas (segurança, alimentação, saúde, abrigo); e passando por outros talvez mais complexos mas certamente menos prementes. O que é um *problema*? É a diferença (*gap*) entre um estado real e outro desejável.

1. Estados objectiváveis e não objectiváveis. Os estados que agora interessa considerar são aqueles que se podem descrever através de uma colecção de *atributos*. São portanto estados *objectiváveis*. O aumento na produtividade é um problema e tanto o seu estado real como o desejável podem, em geral, se descrever através de uma colecção de atributos; a competitividade de um negócio também é um problema objectivável. Já a insatisfação pessoal (anseios, inquietações) e certas opiniões de gestores, (como pressentimentos, gostos, manias) serão de difícil ou impossível

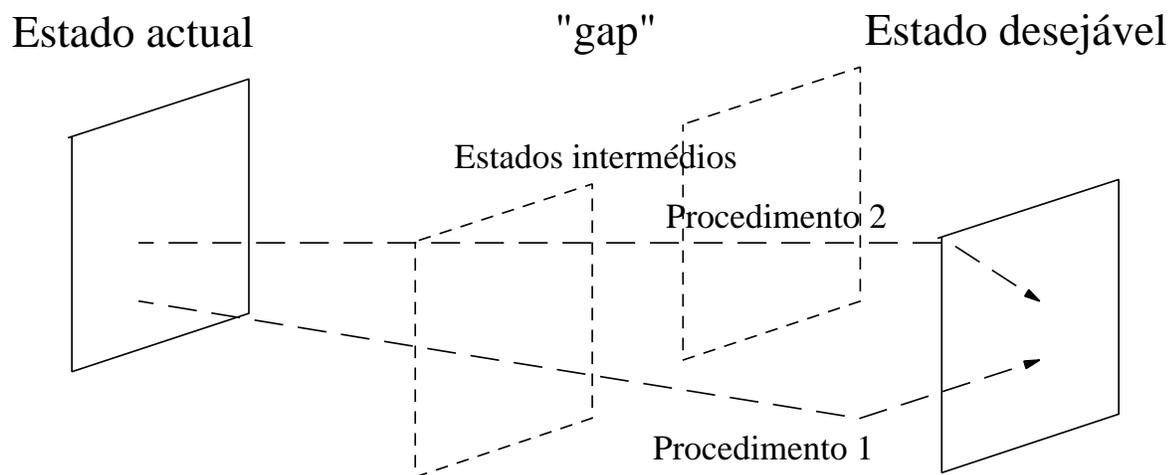


Figura 1.1: Representação esquemática de um problema com os seus três elementos: o estado actual, o *gap* e o estado desejável.

objectivação.

O gestor nunca pode esquecer que inúmeros problemas importantes com que a empresa se defronta e a maioria dos estados a eles associados, não são objectiváveis. A aplicação de procedimentos baseados em lógica e matemática a problemas não-objectiváveis, é um equívoco, uma manipulação; e apenas conduz à alienação dos colaboradores da empresa naquilo que possuem de mais valioso.

2. As 3 partes de um problema. Em qualquer problema, mesmo nos não-objectiváveis, observam-se sempre 3 partes ou componentes:

o output, objectivo ou fim a atingir, é a situação (estado) desejável (*desired state of affairs*); e pode acontecer que nos encontremos num estado de insatisfação, mas sem sabermos bem onde queremos chegar;

o gap é a distância ou fosso que é preciso transpôr para, partindo do estado ou situação real, chegarmos ao que consideramos desejável; e convirá lembrar que existem, em geral, vários caminhos ou *procedimentos* capazes de transpôr o *gap* e levar-nos ao fim, uns factíveis e outros não; e de entre os factíveis, uns talvez menos custosos do que outros;

o input é finalmente a situação real, ou ponto de partida, o *as is* ou *actual state of affairs*; e também aqui, há muito boa gente que não sabe onde está (não é capaz de objectivar a sua posição) ou que julga encontrar-se num estado em que realmente se não encontra; e assim, nunca será capaz de encontrar um procedimento adequado à consecução dos seus objectivos.

3. Passos para resolver um problema. Podem-se distinguir os seguintes passos na resolução de um problema:

Objectivar ou compreender o problema é ter a percepção verdadeira, realista, do seu *input* e *output*; é saber portanto onde estamos e onde queremos chegar. A tarefa de objectivar um problema costuma chamar-se *análise*; e sempre que possível, a análise leva à

1. definição dos *atributos* descritivos de um dado estado; à
2. medição, ou pelo menos descrição desses atributos de input (actuais); à
3. definição dos valores de output (desejados) para esses atributos.

Modelar o problema é encontrar caminhos (chamados *procedimentos*) que nos levem desde onde estamos até onde queremos estar. Modelar é o mesmo que *diagnosticar* e implica sempre dominar o problema.

Escolher uma de entre as possíveis soluções do problema é identificar procedimentos que sejam viáveis e de entre os viáveis, aquele que esteja ao nosso alcance utilizar; e de entre os que estejam ao nosso alcance, aquele que transpõe o *gap* com um mínimo de sacrifícios ou mais rapidamente ou que possua outra característica desejável. A essa característica mais desejável chama-se *critério de decisão*.

Resolver ou fechar um problema é executar um dos procedimentos que levam à transposição do *gap* e assim solucionar-lo de facto.

Podemos agora compreender o que é uma *decisão*. Tomar uma decisão é passar do estado de modelar o problema para o seguinte e ficar assim em condições de resolvê-lo. É portanto a escolha (obedecendo a um dado critério) de um entre os vários procedimentos disponíveis para resolver o problema. Uma decisão é sempre orientada para transpor um dado *gap* usando um de entre vários procedimentos possíveis.

1.2 Organização, valor, empresa

Nem todos os problemas podem ser resolvidos por uma só pessoa. Para resolver problemas que escapam à capacidade de uma só pessoa, foram criadas formas de cooperação entre pessoas; e uma dessas formas é a *organização*. As *organizações* são grupos de pessoas que se servem de recursos e ferramentas para atingirem juntas fins que, sozinhos, não poderiam atingir. Subjacente ao aparecimento das organizações estão dois princípios intuitivos:

1. certas tarefas só se tornam factíveis ou menos custosas quando são levadas a cabo por um grupo de pessoas em vez de individualmente. Dez homens podem fazer coisas que um só homem não consegue.

2. uma pessoa treinada na execução de certas tarefas pode atingir uma eficiência elevada nessas tarefas; e um grupo de pessoas especializadas, cada uma na sua tarefa, acaba por ser claramente mais eficiente naquilo que faça em conjunto, quando comparado com outro grupo indiferenciado onde não existam especializações.

Estes princípios (da eficiência do número e da especialização) são os que fazem com que existam organizações. As organizações existem para satisfazer necessidades ou para resolver problemas que requeiram número e especialização. Não se deve julgar que a organização é a única forma de cooperação harmónica entre pessoas. Muitas outras formas onde as pessoas cooperam em harmonia umas com as outras, não se baseiam nos dois princípios acima; e nem têm por meta atingir determinados fins, a não ser num sentido lato.

4. Fins. As organizações não são todas iguais. Como se distinguem as organizações umas das outras? Pelos fins que querem atingir. Aquilo que caracteriza cada organização é o tipo de necessidade que vem satisfazer ou problema que vem resolver: é o seu *fim*. Assim, um exército tem por fim defender o país contra agressões externas; o fim da polícia é proteger as pessoas de potenciais abusos (roubos, agressões); os bombeiros lutam contra fogos e catástrofes: esse é o seu fim. Existem organizações recreativas, caritativas, outras cujo fim é promover a educação e o treino profissional. Cada uma com o seu fim; e se esse fim mudasse, deixavam de ser o que eram.

As organizações que mais interessam aqui são aquelas cujo fim é aumentar a riqueza dos seus donos e outros intervenientes e promoverem o sustento de assalariados. Essas organizações chamam-se *empresas* ou *negócios*. Portanto as empresas existem para resolver um problema, o da criação de riqueza e para satisfazer a seguinte necessidade: o sustento dos assalariados. A empresa é pois um tipo especial de organização e para compreendermos a empresa precisamos primeiro de definir qual seja o seu fim.

5. Criação de Valor. Um *negócio* é um procedimento através do qual se cria *valor*. Quando o negócio implica a existência de uma organização, costuma chamar-se *empresa*. Embora todas as empresas sejam negócios, há negócios que não precisam de uma organização e portanto não se chamam empresas.

Diz-se que um produto ou um serviço tem valor quando existem pessoas dispostas a incorrer em sacrifícios para usufruir desse produto ou desse serviço. A partir de recursos pré-existentes, o negócio executa procedimentos que disponibilizam *produtos* ou *serviços* com valor para certas pessoas, os clientes.

Os produtos são objectos físicos capazes de satisfazer necessidades ou a que é atribuído qualquer outro valor: comida e bebida, roupa e calçado, medicamentos, combustíveis, electro-domésticos, mobiliário, objectos de adorno ou de luxo, livros, computadores, automóveis e muitos outros. Os serviços são actividades que satisfazem necessidades ou às quais, de outra qualquer forma, é

atribuído valor: transportes, comunicações, hotéis e hospitais, oficinas de reparação, divertimentos ou distrações, meios informativos e muitos outros.

Os sacrifícios exigidos por um negócio aos seus clientes têm hoje (quase sempre) a forma de *custos monetários*: ao entregar, em troca de um produto ou serviço, uma dada quantidade de dinheiro, o cliente sacrifica hoje (no presente) a possibilidade de auferir de bens no futuro. Mas deve notar-se que este auferir de um bem implica muitas vezes incorrer em sacrifícios que não são apenas monetários. Para comprar alimentos, por exemplo, é quase sempre preciso deslocar-mo-nos e transporta-los. Estes sacrifícios não monetários são também contabilizados pelos potenciais clientes e o gestor fará bem em tê-los em conta. Um hotel com acessos difíceis ou uma loja sem estacionamento, terão que reduzir preços para compensar potenciais clientes pelos sacrifícios não-monetários que lhes são impostos. Isto, é claro, numa economia onde exista concorrência.

6. Tipos de negócio. Criar valor não é fácil nem imediato. Em geral, cria-se valor quando se conseguem reunir recursos e executar procedimentos que levam a um produto ou serviço pela posse dos quais há gente disposta a pagar. Os grandes meios para chegar à criação de valor são:

Comércio, onde recursos existentes noutros lugares são transportados para junto de quem deles precisa;

Indústria, onde os recursos são transformados em produtos de que as pessoas precisam;

Actividades extractivas, onde os recursos são extraídos do sub-solo (minas e poços) e postos à disposição de quem deles precisa;

Agricultura e pescas, onde os recursos resultam do cultivo e recolha ou só recolha de animais ou plantas.

Serviços, onde os recursos não são palpáveis, materiais, mas sim acções.

Em muitos casos a criação de valor resultou da inovação; esta, por sua vez, foi o resultado de uma pesquisa intencional. No século XIX, toda a gente atribuía grande valor à possibilidade de conversar com outras pessoas à distância, de se deslocar com maior rapidez e segurança ou ainda de se iluminar na escuridão; e foi esse sentimento do valor de certas invenções o que levou os inventores da época a desenvolverem o telefone, o automóvel, o avião, a lâmpara eléctrica e tantos outros produtos e serviços.

Em outros casos, porém, o valor de um produto ou serviço só foi compreendido depois de já ter sido inventado; e o contrário também aconteceu: são inúmeros os casos de invenções supostas de grande valor, mas que depois ninguém quer comprar.

7. Cadeia de valor. Para se criar valor é preciso recolher recursos, transporta-los e, em muitos casos, transforma-los. A manufactura de um simples pneu de automóvel requer a recolha do latex

nas plantações da Malásia, o seu transporte para as fábricas, a sua transformação e a distribuição do produto final, o pneu, pelos potenciais interessados.

Chama-se *cadeia de valor* a todas as tarefas que é preciso executar, desde a extracção ou recollecção dos recursos mais *primários* (os que não sofreram quaisquer transformações), até à obtenção de um dado produto ou serviço pronto a atrair a atenção do cliente.

Ao longo da cadeia de valor, desde o seu início até à obtenção do produto final e sua venda, vão-se encontrando diferentes empresas, cada uma especializada na execução de certas actividades. Uma empresa agrícola produz o latex; outra, de transporte, leva esta matéria-prima para as fábricas; essas, por sua vez, produzem os pneus; e finalmente as empresas comerciais levam-nos para onde são precisos e vendem-nos.

1.3 Hierarquia de objectivos na empresa

Se uma organização existe para resolver problemas (atingir determinados fins), aplica-se-lhe o que já foi referido sobre problemas e decisões. Mas na medida em que uma organização tem partes e tarefas diferenciadas (especializações e outras divisões de trabalho), é evidente que cada uma dessas partes deverá ter fins a atingir, fins esses escolhidos de modo a contribuírem harmonicamente para o fim comum, o da organização.

Os fins a atingir por cada uma das partes de uma organização costumam chamar-se *objectivos*. Os objectivos são portanto os diversos *desired state of affairs* que cada parte de uma organização procurará alcançar de modo a contribuir harmonicamente para a consecução do fim comum, o da organização.

De forma semelhante ao que acontece com a organização no seu todo, cada parte ou tarefa de que uma organização se compõe deve ter uma clara consciência de qual o seu *input* ou ponto de partida e onde pretende chegar (deve objectivar a tarefa); e procurará, através da modelação e de um processo de tomada de decisões, definir quais as actividades concretas que, num dado período, serão as mais adequadas para transpôr o *gap* e atingir os objectivos que lhe foram fixados.

O fim de uma organização mantém-se enquanto ela existir. Mas é importante notar que o *input* não se mantém estático e portanto a distância que falta para atingir o fim (o *gap*) e a forma como se procura atingi-lo (o procedimento), variam ao longo do tempo. Este facto determinará nas suas partes um comportamento dinâmico. Assim, embora o fim de uma organização não mude, já o mesmo não se passa com os objectivos que as suas diversas partes tentam atingir.

Tendo presente o imperativo da harmonia, pode facilmente reconhecer-se a necessidade de uma *hierarquia de objectivos* nas organizações. No topo dessa hierarquia está o fim a atingir; logo abaixo, vêm os objectivos gerais e decisivos, sem os quais o fim é inalcançável. Por sua vez, a consecução desses objectivos implica que tenham sido antes atingidos vários outros objectivos mais circunscritos e estes podem ainda estar subordinados à consecução de outros ainda mais limitados, e por aí abaixo. Por exemplo, caso queiramos iniciar um negócio de prestação de cuidados de saúde para idosos,

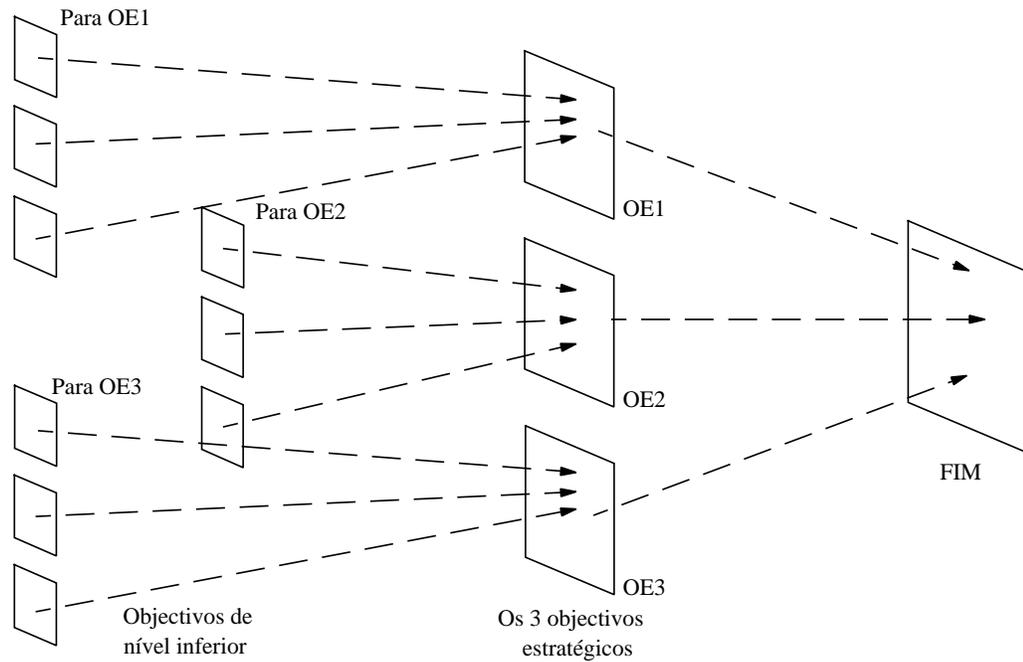


Figura 1.2: Representação de uma hierarquia de objectivos com 3 níveis, dos quais o último consiste em atingir o fim da organização.

é preciso primeiro atingir os três seguintes objectivos: dispôr de uma clínica equipada; contratar pessoal especializado; criar meios de transporte adequados. A obtenção de cada um destes exige, por sua vez, terem-se atingido outros (financiamento, recrutamento e treino de pessoal, compra de equipamentos e instalações e outros); e por aí abaixo. A figura 1.2 esquematiza uma tal hierarquia, com três *níveis* de objectivos, o último dos quais é o fim.

8. Níveis na hierarquia de objectivos. Assim, numa hierarquia de objectivos existirão (em geral mas não necessariamente), *níveis* ou patamares. O nível é constituído por todos os objectivos que devem ser obrigatoriamente atingidos para se poder passar ao patamar seguinte.

Na empresa, é costume distinguir-se os seguintes três níveis:

Estratégico, ou as grandes metas consideradas como decisivas para a consecução do fim;

de Gestão, a tradução concreta, no medio-prazo e segundo vertentes especializadas (Marketing, Finanças, Produção, Recursos Humanos e outras) de cada objectivo estratégico;

Operacional, cada etapa ou tarefa concreta, necessárias para aproximar a organização da satisfação dos objectivos estratégicos.

A forma tradicional de representar esses 3 níveis é a que a figura 1.3 mostra.

O exito na consecução de certos objectivos operacionais irá condicionar a satisfação de um dado objectivo estratégico. Chama-se *hierarquia de subordinação de objectivos* a esta concatenação entre

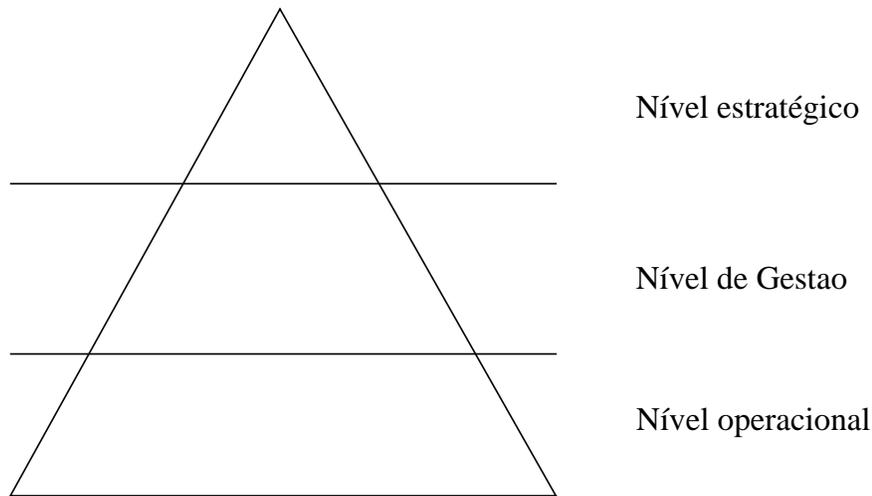


Figura 1.3: Este triângulo cortado é a forma habitual com que a literatura representa os três níveis de objectivos existentes nas organizações.

objectivos. As três designações acima têm, como vários outras usados pelos gestores, uma origem militar.

9. É também costume catalogar os objectivos da empresa segundo a sua vigência ou duração, isto é, segundo o tempo que levam a ser atingidos. Assim, ter-se-iam

Objectivos no longo prazo, os que levam, em geral, mais de 2 anos a serem atingidos;

Objectivos no medio prazo, os que levam entre 1 e 2 anos;

Objectivos no curto prazo, os que levam menos de 1 ano.

Não existe relação entre o tempo que um objectivo leva a ser atingido e a sua hierarquia em ordem aos fins. Na indústria aeronáutica, as decisões que levam à definição de objectivos estratégicos podem comprometer uma empresa para os trinta ou quarenta anos seguintes. Pelo contrário, na indústria de confecções ou calçado, as empresas mudam completamente de linha de fabrico e até de filosofia de vendas num prazo muito mais curto (poucos meses). Mesmo assim, os objectivos operacionais costumam ser de prazo mais curto do que os estratégicos.

10. **Objectivos tácticos.** Quando um objectivo operacional contribui directamente e é condição para o sucesso da estratégia de uma empresa (isto á, quando esse objectivo pode considerar-se como um *passo importante* a dar no curto prazo, para a consecução dum objectivo estratégico) também é conhecido como objectivo *táctico*. Por sua vez, a expressão *melhoria táctica* deverá entende-se como o avanço, a ser conseguido no curto prazo, numa operação directamente ligada à estratégia da empresa (vendas, fornecedores ou outras tarefas sensíveis).

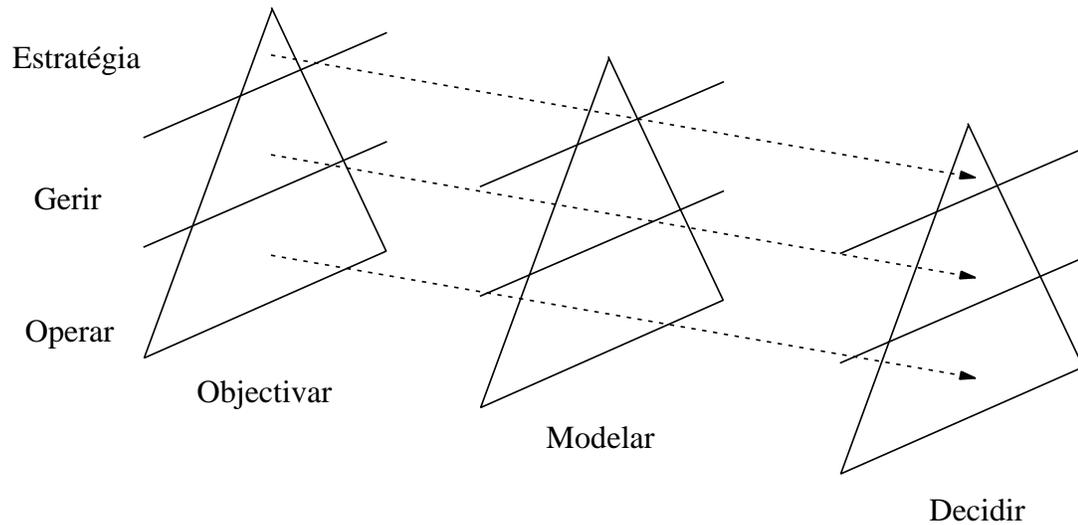


Figura 1.4: Representação esquemática de problemas e forma como se hierarquizam na empresa.

11. Hierarquia de modelos e de decisões. A hierarquia de objectivos leva à correcta objectivação do problema geral do negócio, a criação de valor (que é o seu fim). Mas objectivar não chega. É preciso depois modelar, escolher e realizar. Portanto, paralelamente à hierarquia de objectivos, a organização terá também as correspondentes hierarquias de modelos, de decisões e de execução do que foi decidido. Estas outras hierarquias são as que asseguram a efectiva transposição do *gap*. Como a figura 1.4 ilustra, existirão portanto

- os objectivos estratégicos, os modelos estratégicos e as decisões estratégicas da empresa;
- os objectivos de gestão, os modelos de gestão e as decisões de gestão da empresa;
- os objectivos operacionais, os modelos operacionais, as decisões operacionais e, atenção, as operações da empresa, onde as decisões são executadas, venham elas de onde vierem.

E tanto nesses objectivos como nos modelos e respectivas decisões, há uma hierarquia de subordinação.

A hierarquia e a vigência dos objectivos de uma empresa reflectem os seus níveis de decisão. Assim, os objectivos estratégicos são definidos ao nível correspondente de decisão e planificação. Na empresa clássica, esse nível seria o mais elevado dentro da organização, o do Conselho de Administração. A determinação e seguimento dos objectivos operacionais depende tradicionalmente de quadros intermédios especializados em determinadas *funções*. Porém, a relação directa entre funções e hierarquia de objectivos nem sempre se verifica.

1.4 Sistemas e visão sistémica

O problema, tal como definido acima, coincide com a definição de *sistema*. Chama-se *sistema* a tudo aquilo onde se podem distinguir três partes claramente diferenciadas:

input, o que dá início, é absorvido ou entra;

output, o que é um fim, é distribuído ou sai;

procedimento, as tarefas que conduzem do início ao fim; as modificações que o input sofre para se transformar no output.

A *teoria dos sistemas* é um método de objectivação (análise) de problemas e de desenvolvimento de modelos baseado no facto de muitas realidades e situações ficarem razoavelmente bem descritas como sendo compostas dessas três partes. A teoria dos sistemas é pois uma ferramenta conceptual, adequada à análise e modelação de problemas.

Um problema pode ser descrito como um sistema onde o input é o *as is*, o output é o *desired state of affairs* e o procedimento é um dos possíveis caminhos para transpôr o *gap*. A noção de sistema é aliás muito geral. Por exemplo, qualquer situação onde determinados recursos sejam absorvidos e transformados para produzir outros, pode também ser descrita como sistema. Porém, note-se que em sentido estrito, costuma exigir-se, para além da divisão em três partes, que o procedimento ou transformação levada a cabo por um sistema possa ser estudado independentemente do *input*.

12. Visão sistémica. Chama-se *visão sistémica* à interpretação da realidade em termos de sistemas. A visão sistémica é própria dos engenheiros de “software”, dos analistas de sistemas e de todas as profissões a quem é exigida a capacidade de identificar *inputs* e procedimentos necessários para atingir *outputs* desejados (objectivar, modelar, escolher). Os gestores devem possuir tal visão em alto grau já que, sem ela, não serão capazes de dirigir harmonicamente as diversas tarefas do negócio no sentido da obtenção do fim comum.

São inúmeros os problemas aos quais a visão sistémica se aplica ou se ajusta naturalmente. Uma função $z = f(x, y)$ que, perante determinados valores de x e y , produz um certo z , é um sistema onde x e y são os inputs, z é o output, e f o procedimento. O trânsito que entra e sai de uma cidade pode ser estudado como um sistema, bem como a educação ou o treino, a assimilação dos alimentos, o comportamento do consumidor e muitas, muitas outras realidades. A organização e portanto a empresa, podem e devem ser estudadas como sistemas, como veremos a seguir.

13. Vantagens e aplicabilidade da visão sistémica. Como método de análise, a modelação de determinada realidade como sistema tem grandes vantagens quando aplicado ao estudo dos problemas tácticos e operacionais da empresa. A razão pela qual a teoria dos sistemas é tão usada nos estudos empresariais tem a ver com

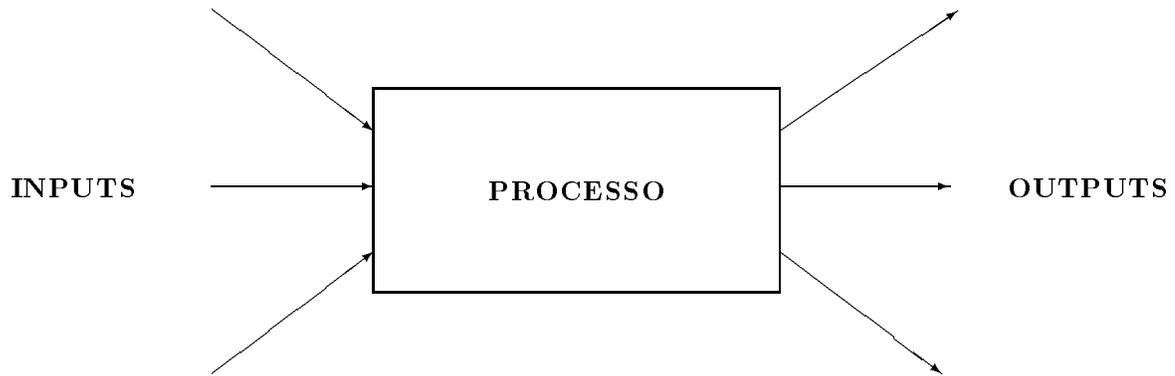


Figura 1.5: Um sistema e os seus três elementos.

- a estreita ligação entre sistemas e objectivos: um sistema aponta sempre para um objectivo; e com
- o facto de esta análise ser capaz de mostrar com clareza as tarefas a executar e as *ligações* que devem existir entre elas de modo a obter-se um funcionamento harmónico.

De facto, nenhuma organização pode permitir que as suas tarefas funcionem separadas de outras a que devam estar ligada; e tão pouco pode permitir que se desentendam dos objectivos a atingir. E, estranho como possa parecer, existe um perigo real de que tal aconteça.

A análise, modelação e escolha (o chamado planeamento organizacional) baseados em sistemas, produz uma visão da organização onde estas ligações ficam em evidência. O resultado é um mapa ou esquema organizativo onde aquilo que é mais difícil de conseguir, a correcta ligação das tarefas, fica realçado sob a forma de *inputs* e *outputs* que se ligam uns com os outros. Este mapa, uma vez construído, irá permitir:

1. Compreender melhor uma situação ou um problema, ao ser possível ter dele e de tudo o que para ele contribua, uma visão *estruturada*.
2. Identificar, num problema ou situação, os elementos e influências mais relevantes (por meio, por exemplo, de análises *caetibus-paribus* ou métodos de simulação).
3. Identificar as interações das tarefas umas com outras, por meio do estudo das correlações entre *inputs* e *outputs*.
4. Dividir um problema em sub-problemas, um sistema em sub-sistemas, e assim ser-se capaz de o enfrentar por partes sem perder a capacidade para o reconstruir depois.

Esta lista de vantagens evidencia o papel positivo que a visão sistémica, adequadamente usada, pode ter na facilitação das fase de objectivação, modelação e escolha da solução de problemas; e até mesmo na fase de execução.

A última das vantagens é talvez a que torna mais atractiva a análise baseada em sistemas e é consequência das primeiras. Ela representa, tanto o seu ponto mais forte, como o mais vulnerável ao mau uso, como tem sido evidenciado por críticas recentes.

14. Mas não deve considerar-se a análise baseada em sistemas como uma panaceia, aplicável a todo o tipo de problemas e situações. De facto,

- só quando interessar realçar as ligações entre tarefas e a consequente harmonização de objectivos acima de tudo o resto, terá este método vantagem sobre outros possíveis. Só que, mais acima da harmonização de objectivos estão, por exemplo, imperativos morais como a liberdade e dignidade do ser humano; e quando estes são postos em causa pela visão sistémica, esta não deve ser usada. As pessoas não são instrumentos mas fins em si. Além disso,
- nunca se deve esquecer a mencionada independência do procedimento em relação aos *inputs*. Quando esta não se verifica nem sequer aproximadamente, a abordagem sistémica torna-se perigosamente enganosa. São inúmeros os “procedimentos” (criação artística, inovação) de grande importância mas onde a relação com os input não é unívoca.

Em geral, a regra para usar a visão sistémica correctamente consiste em ter a maturidade suficiente para distinguir os problemas técnicos e objectiváveis dos que pertençam a outros foros, como já referido.

15. Hierarquia de sistemas. Quando um sistema se compõe de partes que são, elas próprias, sistemas, é costume designar essas partes por *sub-sistemas* e a forma como elas se articulam por *hierarquia*.

Note-se que o termo *hierarquia* tem um sentido muito preciso. Designa apenas a forma de organização onde se pode distinguir a raiz e o tronco, os ramos, os galhos e as folhas finais. Para que a hierarquia dos sistemas o seja no seu sentido mais estrito, não bastaria a consideração de sub-sistemas como parte de sistemas. Seria também preciso que esses sub-sistemas estivessem organizados em sistemas como galhos de um tronco comum. Portanto, deve tomar-se o uso do termo *hierarquia* na teoria dos sistemas como uma concessão ao que é costume, não como a designação correcta.

Ao estudarmos um sistema, o primeiro passo consistirá geralmente no reconhecimento do nível que ele ocupa na sua hierarquia. Na empresa, os sistemas relacionados com as operações são os de mais baixo nível.

16. Fronteira de sistemas. Mesmo quando um analista é capaz de separar sistemas e sub-sistemas de modo a conceptualizar uma hierarquia ou uma outra divisão funcional, isso não significa que a prática das empresas reflecta exactamente tal conceptualização. Podem existir várias razões para as diferenças encontradas entre a teoria dos sistemas e a prática das empresas. A mais geral é

simplesmente esta: um sistema é um modelo e portanto representa uma simplificação da realidade. Mas, ao analisarmos os motivos pelos quais essa simplificação pode ser grosseira, o que emerge em primeiro lugar é o problema da impossibilidade de definir com exactidão as fronteiras entre sistemas.

É frequentemente difícil descobrir onde os *outputs* de um sistema acabam e começam os *inputs* de outro. Isto acontece, tanto ao nível hierárquico, como no encadeamento horizontal (processo). Noutros casos, vários sistemas partilham os mesmos inputs. Por exemplo, uma indústria pode ter decidido colher e processar dados sobre os níveis de produção individuais de cada empregado envolvido no processo primário. Isto permite-lhe criar um sistema para controlar o rendimento dos seus empregados, sistema esse que faz parte do sistema de controlo das operações. Porém, o sub-sistema de salários também se serve dos mesmos dados para calcular prémios. Posto isto, em qual dos sistemas acima deve ser colocada a actividade de recolha e tratamento inicial de dados?

A consequência mais directa da indefinição nas fronteiras de um sistema é a necessidade de estar prevenidos contra problemas de *redundância* e de *sumarização* de dados ou processos:

- existe redundância quando:
 - os mesmos dados foram recolhidos mais de uma vez, ou quando
 - os dados recolhidos não são usados por nenhum sistema.

A redundância é um fenómeno frequente nas organizações. Ela deteriora o rendimento dos sistemas de informação pois

- a recolha, armazenamento, transmissão e tratamento de dados torna-se onerosa;
- expõe a organização a erros e mesmo desaires graves como o duplo tratamento de dados ou a substituição de uma versão recente de um ficheiro por outra mais antiga.

Note-se que existem casos onde, por motivos de segurança, se introduzem deliberadamente dados redundantes num sistema. Porém, tais casos estão estudados para lidar com tal redundância, não se prestando tanto a erros.

- Existem problemas de sumarização quando os códigos usados por um sistema para identificar determinada informação se tornam ambíguos quando usados por outros sistemas. Em sistemas de informação, é frequente o uso de códigos ou *chaves*. Por exemplo, em vez de identificar um empregado pelo nome e apelidos, é atribuído a cada empregado uma chave capaz de identificar, não só a pessoa, mas também a actividade a que pertence ou outras características. O problema surge precisamente porque estas chaves, ao serem usadas para fins muito diversos, ficam com a sua eficácia deteriorada e podem mesmo tornar-se ambíguas.

O último problema apontado é um exemplo do problema mais geral da especificidade da informação e não se deve pensar que os gerenciadores de bases de dados mais recentes, onde as chaves não são aparentes, estão isentos dele.

1.5 A empresa como sistema

A empresa pode e deve ser vista como um sistema onde um procedimento, designado *processo primário* transforma recursos absorvidos em produtos ou serviços:

os input são recursos absorvidos (trabalho, informação, materiais, dinheiro, energia ou entidades mais abstractas). Os recursos podem porvir de uma ou várias fontes. Podem fluir de uma forma contínua ou discreta, ou mesmo serem acontecimentos eventuais.

o processo so actividades como a armazenagem a assemblagem, a transmissão. A abordagem usada pela teoria dos sistemas exige que o processo seja algo de estável e concreto, de modo que, perante os mesmos *inputs*, os mesmos *outputs* sejam obtidos.

os output são aquilo que a empresa liberta (de dentro para fora): produtos acabados ou serviços, resíduos, informação e dinheiro. Outros sistemas a ele ligados irão receber tais *outputs* como seus *inputs*.

Ainda é costume considerar, na teoria dos sistemas, outros elementos designados *ambiente e infraestrutura*.

17. Recursos absorvidos. Os principais *inputs* ou tipos de recursos absorvidos por uma empresa são:

Capital. É o recurso por excelência porque permite a obtenção de todos os outros. Uma organização precisará, não apenas do capital inicial necessário à aquisição dos seus activos fixos (terrenos, edifícios, maquinarias, viaturas, patentes e licenças), mas também do dinheiro necessário ao sustento dessas operações (fundo de maneio). O capital pode ter origem nos donos do negócio (capital próprio) ou porvir de empréstimos contraidos (capital alheio).

Pessoas. Fornecem os conhecimentos, habilidades e experiência necessários ao processo de valor acrescentado. Este recurso é o mais difícil de obter e de gerir com eficiência, sendo também o mais volátil.

Matérias primas ou mercadorias e serviços. São os recursos básicos que uma organização absorve e transforma. Alguns destes, como a energia, os materiais, são usados directamente no processo. Outros, como facilidades de transporte, cantinas, aconselhamento e auditoria, têm uma contribuição menos directa. Procedem de outras organizações ou da própria.

Informação. No contexto em que estamos, este recurso refere-se apenas a dados sobre o que é exterior à organização e sobre os três outros tipos de recursos descritos acima. Por exemplo, uma empresa precisará de ter informação referente a fontes de capital e seus custos; a disponibilidade de pessoas com certas habilitações e os custos do seu recrutamento e retenção;

fontes alternativas onde se podem obter certos materiais e serviços, seus méritos em termos de qualidade, custo, facilidades de entrega; potenciais clientes e seu perfil.

18. O Processo. O processo, ou actividades realizadas pela empresa, pertencem a um dos seguintes tipos:

Primárias: as que criam directamente valor, como a assemblagem e pintura de veículos ou, no caso dos transportes, o acto de transportar.

de Suporte: as que não criam valor directamente mas são necessárias. É o caso da contabilidade, da gestão, do controlo.

As actividades primárias estão directamente ligadas à transformação dos input e incluem geralmente as seguintes etapas:

Logística de Entrada. As compras, o recepcionamento, o controlo de qualidade, armazenagem, a aquisição de serviços.

Operações. Todas as actividades de transformação de recursos dentro do processo de acrescentamento do valor.

Marketing e Vendas. Pesquisa de mercados, promoção, venda.

Logística de Saída e Externa. Controlo de qualidade do produto, sua armazenagem, distribuição, instalação.

service. Cumprimento de compromissos decorrentes da venda, como instalação, manutenção, treino.

O termo *logística* usado acima significa a tarefa de colocar os recursos aí onde devem ser utilizados. Como muitos dos termos de Gestão, a sua origem é militar.

19. Actividades de suporte. Não acrescentam valor mas facilitam e apoiam as actividades primárias. Podem descrever-se como pertencendo a quatro grandes tipos

Procura de Recursos. O desenvolvimento de políticas, processos e a obtenção de conhecimentos tendentes a facilitar a aquisição de recursos, tanto materiais e serviços como capital e pessoas. Costuma dizer-se *procurement*. A política de fornecedores é um exemplo importante desta actividade.

Desenvolvimento da Tecnologia. A pesquisa, desenvolvimento e desenho de novos processos e produtos.

Gestão dos Recursos Humanos. O desenvolvimento de políticas e processos para o treino, gestão e controlo das pessoas dentro da organização.

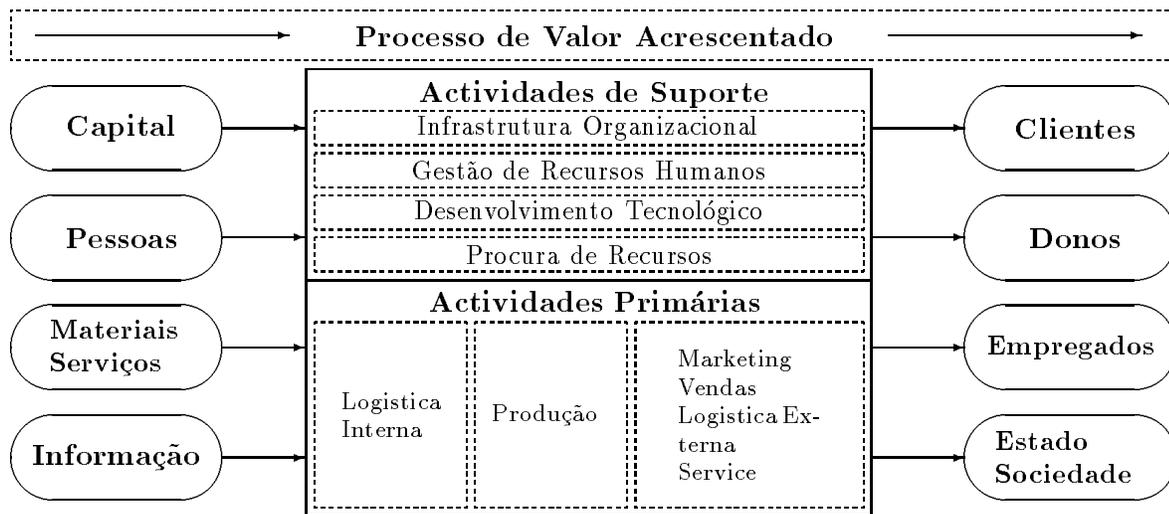


Figura 1.6: A empresa como sistema.

Infraestrutura Organizacional. A preparação de planos estratégicos e políticas da empresa com vistas à obtenção dos objectivos da organização. A implementação das necessárias estruturas organizacionais e sistemas de planeamento e controlo, a tomada de decisões.

Deve reconhecer-se que as actividades de suporte, apesar de não serem primárias em termos de acréscimo de valor, contribuem decisivamente para a consecução dos objectivos das organizações. São também conhecidas pelo nome de actividades de *infraestrutura*. O seu custo nunca deverá ser elevado ao ponto de comprometer a rentabilidade da empresa.

20. Recursos libertos e infra-estrutura. Os recursos libertos pela empresa (produtos, serviços, dinheiro) encontram quatro grandes grupos de recipientes

Os clientes, que compram os produtos acabados e serviços e que deles disfrutam.

Os donos (accionistas) e os credores, que recebem o prémio anualmente devido ao investimento que realizaram (dividendos, juros) ou vêm esse seu capital valorizado.

Os empregados, que recebem o salário.

O Estado, a sociedade, quer directamente com a cobrança de impostos, quer indirectamente através do aumento em riqueza ou outros bens.

O ambiente e a infra-estrutura representam o contexto dentro do qual um sistema está imerso. Em certos casos, por exemplo, nos sistemas ecológicos, é interessante considerar um sistema como isolado, recebendo todos os seus *inputs* do ambiente e entregando ao mesmo ambiente todos os seus *outputs*. Em outras situações, a consideração de um ambiente torna-se útil para referir aquilo que vários sistemas partilham, tanto como *inputs* como *outputs*. Assim, no caso dos sistemas de

informação baseados em computadores, é costume referirmo-nos às tecnologias (tanto *hardware* como *software*, tanto protocolos como convenções ou *standards*) capazes de servirem de ponte entre vários sistemas, como sendo “o ambiente” desses sistemas.

21. A figura 1.6 (página 28) ilustra o que foi dito até aqui sobre as actividades de uma empresa e o processo de valor acrescentado. Pode descrever-se uma empresa de muitas maneiras. Aquela que a figura 1.6 ilustra é apenas uma de entre várias possíveis formas de ver a empresa, a chamada visão sistémica.

1.6 O processo de valor acrescentado

Outra vantagem de descrever a empresa como uma entidade que absorve recursos, transforma-os e, como resultado, produz outros recursos, é o facto de esta visão evidenciar a criação de valor, permitindo a identificação das tarefas que criam muito ou pouco valor. A visão sistémica mostra o negócio como um problema de criação de valor, focando assim a atenção do gestor no seu principal objectivo.

Considerando, por exemplo, o nível operacional, o estado de coisas ou *as is* é uma colecção de recursos já disponíveis, o fim ou *desired state of affairs* é o produto ou serviço que leva os clientes a fazerem sacrifícios para dele auferirem e o *gap* entre estas duas situações é transposto por meio de um conjunto de tarefas a que se chama processo primário ou *de valor acrescentado*.

Os recursos absorvidos são integrados e transformados, originando produtos ou serviços mais valiosos, isto é, produtos ou serviços que o cliente está disposto a pagar mais caro do que pagaria, separadamente, pelos recursos que lhe dão origem. Este acréscimo em valor terá que ser suficiente para recompensar os donos da empresa (detentores do capital) pelo investimento efectuado, os trabalhadores pelo seu esforço e toda a sociedade (Estado) pelos serviços que presta e também para a prossecução do bem comum (solidariedade, promoção da igualdade). Vê-se pois que o processo de valor acrescentado terá que ser *eficiente* na criação de riqueza de modo a conseguir atingir todos estes objectivos.

22. Quantificação do valor acrescentado. O fim de uma empresa é a criação de valor. Mas quando e como é que uma empresa cria valor? Agora já se pode adiantar uma resposta mais concreta a esta importante questão: haverá criação de valor quando o valor de todos os recursos absorvidos é inferior ao valor total dos recursos libertos. O valor que os clientes atribuem ao produto ou serviço (o dinheiro que pagam por ele) deve chegar para cobrir os custos com os recursos de entrada e mais os dividendos, salários e impostos.

De notar que os custos com o uso do capital (juros ou custos de oportunidade) e o dos outros recursos, devem ser contabilizados usando a mesma lógica e horizonte temporal. Se um prémio é, por exemplo, um dividendo anual, os respectivos custos devem ser expressos em custos anuais da

oportunidade do uso do capital. Mas quando no *input* foi considerado o capital próprio, não os seus custos anuais, então o *output* correspondente deverá também ser um *stock*, por exemplo o valor actual de todos os dividendos esperados no futuro.

23. Tarefas extra-operações com valor acrescentado. Chamam-se *operações* às tarefas que contribuem directamente para criar valor mas com a ressalva de que devem ser actividades *próprias* desse negócio (devem fazer parte do processo primário).

Podem existir tarefas capazes de criar directamente valor, mas que não fazem parte do processo primário. Se, por exemplo, um comerciante do século XVI transporta especiarias das Índias Orientais para Amsterdão, então esse transporte é o seu negócio e as operações serão as actividades primárias que ele executa: ir buscar especiarias e depois vende-las. O facto de, ocasionalmente, ele também ganhar alguns tostões com a pilhagem de galeões Espanhois ou naus Portuguesas (uma actividade onde se cria valor), não nos autoriza a chamar “operações” a tais pilhagens. Já no negócio ou profissão de pirata, as operações seriam as pilhagens ao passo que o ocasional comércio em especiarias não deveria ser designado de operações.

A distinção entre operações e outras tarefas de valor acrescentado é importante já que um ganho ou uma perda extraordinários, mas que sejam reconhecidos ou reportados como sendo ganhos ou perdas operacionais, irão inevitavelmente conduzir a uma visão distorcida do negócio e das suas potencialidades para gerar riqueza.

24. Hierarquia empresarial. As organizações são sistemas, compoem-se de sistemas e fazem parte de sistemas mais abrangentes (como o sistema económico de um país ou região). Aqui, interessa considerar a hierarquia que se pode geralmente observar nas grandes organizações de recorte clássico. Nesta óptica, consideram-se seis níveis hierárquicos:

1. A *Corporação*, que engloba vários negócios e suas ligações. A este nível, as ligações mais importantes são de tipo financeiro (quem controla quem) e as que resultam de trocas de informação e tecnologias.
2. O *Ramo de Negócio*, onde se podem encontrar várias empresas associadas para a obtenção de objectivos semelhantes e pertencendo a uma mesma corporação.
3. A *Empresa* ou unidade.
4. A *Função* dentro de uma empresa, por exemplo, a produção, a logística, etc, vistas como modos de articulação de actividades primárias.
5. O *Departamento*, outra forma possível de articular actividades dentro de uma empresa, mais orientada para actividades de suporte ou para o fornecimento de serviços.
6. A *Actividade* e as tarefas de que cada uma se compõe; dentro do processo primário as tarefas designam-se por *operações*.

Capítulo 2

Sistemas de Informação

As empresas criam riqueza através de um processo de valor acrescentado, onde certos recursos são transformados e depois postos à disposição de potenciais clientes. Para criar riqueza, são portanto necessárias tarefas ou actividades, uma infraestrutura, ferramentas, técnicas e conhecimentos. Mas são ainda mais necessárias *ligações* entre cada uma dessas actividades e *decisões* ou escolhas entre procedimentos alternativos. Essas ligações e essas escolhas estabelecem-se e resolvem-se com *informação*.

2.1 Informação e seu papel na empresa

Informação é o dado capaz de remover incerteza. Um departamento de vendas, ao fornecer dados referentes à procura de um produto, ajuda a tomar decisões sobre quais as quantidades a produzir, matéria-prima a comprar, quantos empregados deverão ser contratados ou dispensados, preço de venda e outras. O conhecimento das probabilidades de que essa procura venha a ser alta, média ou baixa, poderá constituir informação pois remove incerteza e assim ajuda os gestores a tomarem decisões.

Os termos *dado* e *informação* aparecem frequentemente misturados na terminologia de Gestão. Há porém uma diferença capital entre eles. A informação é um dado; mas poucos dados são informação. O dado só será informação quando:

1. é novidade: revela algo que antes não era conhecido; e ainda quando
2. revela o que alguém queria saber.

Quando um gestor é informado de que a procura dos seus produtos vai aumentar (ou diminuir) no ano seguinte, ele passa a saber algo que não sabia e desejava saber; se o mesmo gestor é informado de que está a chover na Patagónia, ele fica a saber algo que não sabia e que não queria saber para nada. Só no primeiro caso o dado transmitido foi informativo.

25. Tipos de Dados na Empresa. O termo *dado* aplica-se a um domínio vasto de factos, medidas, opiniões ou juízos, registos, etc., que se possam obter dentro e fora das organizações. Os dados são a matéria prima da informação, isto é, eles contêm aquilo que o gestor precisa de saber; mas será preciso trabalhar sobre esses dados (aplicar um dado processamento) para que essa informação se torne utilizável.

Na óptica do gestor interessa considerar, antes do mais, os diferentes níveis de facilidade com que os dados estão disponíveis. Assim, convém distinguir em primeiro lugar

Dados Potenciais, os que se podem obter em teoria. Os factores que limitam o uso de dados potenciais são

- o desconhecimento de onde ou como se obtêm;
- problemas técnicos a superar para obtê-los ou para digitaliza-los num formato adequado;
- o custo desses dados, quando supera o seu valor para a empresa.

Dados Existentes. Apesar de existirem, nem todos os dados podem ser usados com proveito. Em certas aplicações, esse uso exigiria que os dados estivessem já gravados na memória de computadores, e obedecendo a um dado formato. Os últimos duzentos números de um suplemento económico podem conter dados úteis. Mas, antes de se basear nesses dados, ela irá precisar de organiza-los em ficheiros e processá-los. Assim, convirá perguntar se os dados existentes estão disponíveis imediatamente ou não.

A divisão acima já aponta para o processo de conversão dos dados em informação, pois o primeiro passo a dar quando se pretende transformar um dado em algo útil, capaz de remover, total ou parcialmente, a incerteza existente, é a sua transformação em dados disponíveis.

26. Os dados existentes também se podem considerar como mais ou menos disponíveis, segundo o seu formato e o suporte onde se encontram. Assim, interessa ter presente os seguintes níveis de disponibilidade:

Nível subjectivo, quando os dados se encontram apenas na mente de pessoas, quer sob a forma de conhecimento intuitivo, quer sob formas mais objectiváveis.

Nível objectivo, tratamento não-automático, como a escrita, o desenho, os esquemas, instruções e tudo o que se pode ler mas não se encontra organizado em formatos adequados e digitalizado.

Nível objectivo, tratamento automático, quando os dados já se encontram digitalizados e com formatos adequados, permitindo o seu reconhecimento como o que são e respectivo processamento, sem necessidade de interpretações e pre-processamentos.

Note-se que o facto de certos dados se encontrarem “metidos no computador” não garante que o seu tratamento se possa efectuar automaticamente. Uma imagem de uma peça ou de um edifício apenas permite a duplicação e distribuição; mas não o correcto processamento. Para que uma imagem seja processável é necessário que as entidades que a compõem tenham sido preservadas segundo formatos reconhecíveis, de tal modo que esse processamento as interprete como aquilo que realmente querem representar.

2.2 Conversão de dados em informação

Só a informação é útil a uma organização. Os dados, por si só, não o são. Ver-se-á agora qual o processo geralmente seguido para transformar dados de modo a que possam vir a remover incerteza.

1. O primeiro passo consiste na captura dos dados em bruto e seu registo ou digitalização segundo um formato adequado ao posterior processamento. Este é, na maioria dos casos, o passo mais trabalhoso.
2. A seguir, estes dados são objecto de um processamento, de modo a evidenciarem o seu conteúdo informativo ou, em geral, para poderem ser usados da forma desejada. O processamento consiste, por exemplo, em somas ou mudanças de escala (medições), ordenação e sumarização de fichas e muitas outras tarefas.
3. O último passo consiste na comunicação do resultado desse processamento, a informação, aos potenciais utilizadores. Até aqui está-se perante simples *processamento de dados*.

A informação é apenas um sub-conjunto dos dados disponíveis. Uma vez comunicados aos utilizadores, uma parte desses dados processados passa a ser informação, pois diminui ou elimina a incerteza com que esses utilizadores se debatiam. Outra parte dos dados, porém, é posta de parte pelos utilizadores. A figura 2.1 mostra esquematicamente o processo de conversão de dados em informação.

27. Sistemas de informação. A conversão de dados em informação é pois abrangida pela visão sistémica. Aí, os dados em bruto serão o input, o resultado do seu processamento será o output e as etapas enunciadas acima constituem o procedimento. Nesta visão, chamam-se *sistemas de informação* aos sistemas cujo objectivo é a transformação de dados em informação.

A informação é a única parcela dos dados que circulam numa organização, capaz de contribuir para os seus objectivos. É a parte dos dados que se mostra apropriada para um utilizador ou grupo de utilizadores. Os sistemas de informação eficientes são aqueles que conseguem canalizar para os utilizadores dados contendo uma larga proporção de informação. Quando um sistema de informação faz passar pelas mãos dos utilizadores um grande caudal de dados desnecessários, torna-se um factor de perda de rendimento pois estes precisam de tomar conhecimento de muitos dados inúteis até descobrirem os que lhes interessam – a informação.

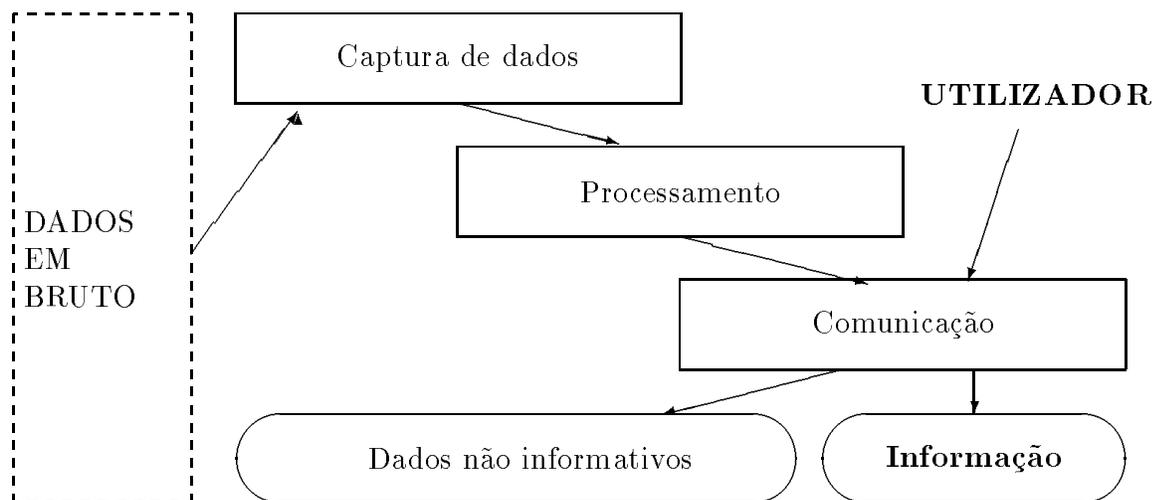


Figura 2.1: O processo de conversão de dados em informação.

Ao planejar sistemas de informação, o objectivo é fazer com que cada utilizador receba os dados de que carece e só esses. Não é fácil conjugar, num dado sistema, os interesses de utilizadores individuais com um certo grau de generalidade. Os dados que são porventura redundantes para um utilizador podem ser essenciais para outro. Basta pensar que o nível de experiência difere muito de pessoa para pessoa e que as explicações fornecidas serão essenciais para os menos experientes mas redundantes para os outros.

28. Informação e conhecimento a-priori. Apesar de se tratar de uma tarefa difícil, a busca de soluções ajustadas a cada utilizador deve constituir uma das primeiras prioridades daqueles que planeiam e implementam sistemas de informação numa organização. Para que um analista tenha sucesso nesta tarefa deve lembrar-se de que os dados serão informação consoante o nível de *conhecimento a-priori* de um utilizador.

A um elevado nível corresponderão necessidades mais selectivas e portanto mais difícil é transmitir a esses utilizadores dados que sejam informação. Daqui que os dados a passar para as mãos de um gestor experiente devam ter uma especificidade maior do que aqueles que se destinam a um quadro intermédio ou a um gestor com pouco tempo de casa. Nos níveis elevados não existem informações rotineiras. Para um gestor, o rotineiro deixa de ser informativo; para um administrador, mesmo novidades que abalam um gestor intermédio podem não ter qualquer interesse.

29. Desafios que enfrenta a conversão de dados em informação. Para qualquer nível de conhecimento a-priori, pode dizer-se que a conversão de dados em informação enfrenta os seguintes desafios

Obter dados em bruto de boa qualidade. Os dados podem ser pouco ou demasiado detalhados, mal resumidos, erróneos, *ambíguos* (de interpretação duvidosa), podem ser *redundantes*

(estar duplicados) e podem, naturalmente, ser *omissos* (faltar).

Mesmo um bom processamento posterior será incapaz de remediar *inputs* de má qualidade. Portanto, a primeira tarefa de um sistema é a de conseguir dados em bruto que sejam de boa qualidade. Nunca esquecer: *rubbish in, rubbish out* — Lixo que entre (no sistema) é lixo que sai (para cima do utilizador).

Obter apenas os dados necessários. Um erro comum a muitos analistas é o de pensarem que quantos mais dados melhor. O excesso de dados dificulta a análise e aumenta muito o risco de se virem a cometer erros. Uma regra de ouro será pois a da moderação e critério na recolha de dados. Como corolário a este ponto, o melhor analista será aquele que conhece a fundo as necessidades de informação da empresa.

Investir na automação da recolha de dados. Apesar de todos os progressos realizados nesta área, ainda fica um longo caminho por percorrer e a recolha e tratamento de dados é, em muitos casos, o calcanhar de aquiles de um sistema. Os processos existentes são lentos, muito caros, pouco fiáveis. Aqui, um investimento em novas tecnologias, se minimamente cuidadoso, pode compensar largamente.

Ter presente a vida útil dos dados. É comum encontrarem-se sistemas de informação que fazem chegar ao utilizador os dados com atraso em relação à sua vida útil. O resultado é que alguma da eventual informação, quando chega ao utilizador, já perdeu o interesse. Os sistemas de informação devem ser planeados para vencerem a corrida do *timing*. Todos os dados têm um tempo de vida útil.

Saber comunicar. O bom comunicador é aquele que sabe o que os outros querem saber, e diz apenas isso. Os profissionais, especialmente os mais ocupados, não têm paciência para divagações. A sua capacidade de atenção é selectiva. O uso de meios adequados na transmissão dos dados fará com que o utilizador os possa analisar e seleccionar. Uma apresentação ou (*user interface*), atraente e clara pode ajudar; não esquecer porém que um gestor, nas horas de serviço, tem pouca tolerância para apresentações ergonómicas e que, por melhor que seja o invólucro, um profissional só se interessará pelos conteúdos que forem informativos, isto é, por aquilo que ele anda à procura.

2.3 Atributos qualitativos dos dados

Para além de removerem ou não incerteza, os dados podem possuir *qualidades* ou atributos que os tornem mais ou menos adequados ao fim que se procura atingir com a informação. A tabela 2.1 descreve alguns dos atributos qualitativos que devem ser considerados nos dados. Convém notar que nem todas estes atributos são relevantes para utilizadores concretos e que a qualidade não deve

ATRIBUTO	DOMINIO
Detalhe	Exaustiva, Detalhada, Resumida
Exactidão	Precisa, Aproximada, Vaga
Dureza	Evidente, Inferencial, Conjectural
Clareza	Clara, Confusa, Ambígua
Consistência	Abrangente, Parcial, Truncada
Enviesamento	Objectiva, Distorcida, Falsa

Tabela 2.1: Alguns dos atributos qualitativos da informação.

confundir-se com o valor ou com qualquer outra medida de importância da informação. O valor da informação é determinado apenas pelo valor da decisão a que está associada.

A tabela 2.1 fornece uma terminologia comum, capaz de tornar certos problemas mais objectiváveis. Um analista deve ser capaz de distinguir informação confusa da ambígua; deve compreender quando o problema é de falta de consistência (os dados não veiculam toda a realidade) ou, pelo contrário, quando se dá uma falsificação dessa realidade.

A exactidão é uma qualidade com especial interesse para o gestor. Nem sempre a falta de exactidão se deve considerar como um defeito. Em muitos casos, a falta de exactidão de um dado, quando não separado do seu contexto, tem maior aplicabilidade do que a de dados mais exactos. Por exemplo, a indicação de que uma dada tarefa deve ser executada depressa pode ser mais eficaz do que a indicação de que ela deve ser executada nos próximos catorze minutos e meio. Existe toda uma literatura e um bem estabelecido corpo de investigação dedicados ao raciocínio vago (*fuzzy*) e á sua aplicabilidade.

Convirá também estudar em maior detalhe a qualidade chamada “dureza”. A informação pode ser

dura ou evidencial quando se impõe por si mesma;

inferencial quando os dados exigem, para se tornarem evidenciais, uma série de raciocínios lógicos.

Por último, pode ser

conjectural quando os dados só se tornam informativos se o gestor aceitar como boas suposições não-evidentes.

O gestor deve estar alerta para a dureza da informação que recebeu, de modo a distinguir factos de conjecturas. Deve cultivar uma *visão factual*. Não pode pretender, sob pena de paralização, que toda a sua actuação se baseie em factos. Mas existem situações (problemas técnicos, problemas disciplinares, prestação de contas e outros) onde só os factos devem contar.

2.4 Atributos quantitativos dos dados

A definição de informação dada acima, apenas contempla o caso em que um dado é capaz de remover *toda* a incerteza. Porém, há dados que não removem senão parte da incerteza. Por exemplo, ao saber que existem 80% de probabilidade de as vendas crescerem no próximo ano, o gestor sabe que fica em aberto a possibilidade (embora pouco verisímil) de as vendas não crescerem. A incerteza, portanto, foi apenas parcialmente removida: diminuiu mas não desapareceu. Deve-se pois considerar-se na informação um aspecto quantitativo: a medida em que um dado remove muita ou pouca incerteza. Chama-se informação parcial ou probabilística à que não remove toda a incerteza.

Imagine-se um jogo de dados. A probabilidade de que venha a sair qualquer das caras é a mesma, 1/6, e a informação sobre qual delas irá sair é nula. Se fosse possível viciar os dados de modo a que uma das caras tivesse mais probabilidades de sair do que as outras, a informação sobre qual delas sairia deixava de ser nula: passava a haver *alguma* informação sobre o futuro, mas era uma informação *incompleta*, probabilística.

Se os dados fossem de tal modo enviesados que, em todas as jogadas, apenas pudesse sair uma determinada cara, então as probabilidades de que as outras caras saíssem seriam zero e a informação sobre o futuro seria *completa*. Este exemplo serve para introduzir o conceito de *ganho em informação*, importante para se compreender a natureza da informação estratégica. Nos casos em que a incerteza diminui mas não desaparece, faz sentido perguntar

1. se a quantidade de informação que um dado trouxe consigo foi muita ou pouca (qual o ganho em informação) e
2. quanta incerteza ficou ainda por remover para se chegar à informação completa.

30. Quantidade de informação. Pode medir-se a quantidade de informação de que alguém está carecido, notando que ela é igual ao número de dígitos necessários para distinguir um acontecimento de entre todos os possíveis. Por exemplo, se existem 9 acontecimentos possíveis, é preciso um dígito decimal para comunicar a qual deles acabou por acontecer. Se fossem 99 os acontecimentos possíveis, seriam precisos dois dígitos decimais; 999 acontecimentos iriam requerer três dígitos decimais. A quantidade de informação que é precisa para distinguir um de entre N acontecimentos possíveis é pois igual ao logaritmo de N . De facto, o logaritmo de 10 é 1, o logaritmo de 100 é 2, e por aí fora.

Diz-se que $\log N$ é a *variedade* associada a uma colecção de N acontecimentos possíveis.

$$\text{Variedade} = \log N \quad (2.1)$$

A variedade é a quantidade de informação que é precisa para comunicar qual dos N acontecimentos possíveis acabou por dar-se.

31. Ganho. Quando existe alguma regularidade na colecção dos N acontecimentos possíveis, esse novo conhecimento traz consigo informação adicional sobre qual deles acabará por dar-se. Nesse

caso, a quantidade de informação que é precisa para distingui-los deixa de ser $\log N$. Deu-se um *ganho* em informação ao saber-se que, por exemplo, k_i dos N acontecimentos possuem um atributo comum. Assim, se existem 99 atletas em competição, são precisos dois dígitos para transmitir a informação de qual deles venceu; mas se esses 99 atletas representam apenas 9 países, o facto de se saber, à partida, o país de cada atleta, traz consigo um ganho em informação; a probabilidade de 9/10 de extrair uma bola branca de uma urna, dá ideia de uma forte expectativa: existe informação quase completa sobre o desenlace. Isto deve-se ao ganho em informação obtido com o conhecimento de que a urna contém 90 bolas brancas e apenas 10 pretas.

Sendo assim, na generalidade,

$$\text{Ganho} = \sum_i \frac{k_i}{N} \log k_i \quad (2.2)$$

onde a soma de todos os k_1, \dots, k_N é N . O ganho é pois a quantidade de informação média que uma classificação, previamente conhecida, traz consigo.

32. Incerteza por remover. Sempre que se pretenda saber a incerteza que ainda fica por remover (a quantidade de informação que ainda falta obter) para ser possível prever com certeza um desenlace futuro, o ganho deve ser subtraído à variedade:

$$\text{Informação que ainda falta} = \text{Variedade} - \text{Ganho} \quad (2.3)$$

Isto é,

$$H = \log N - \sum_i \frac{k_i}{N} \log k_i \quad (2.4)$$

Esta diferença, H , mede a incerteza que o gestor ainda tem que enfrentar depois de se ter informado o melhor possível. Em certos meios é conhecida pelo nome de *entropia*. A entropia é uma medida do grau em que a informação obtida é incompleta:

- Quando $H = 0$, não há falta de informação. O dado obtido pela empresa foi capaz de dissipar toda a incerteza existente. Isto deu-se porque o ganho em informação foi igual à variedade $\log N$. Era informação completa. Por exemplo, depois de um estudo de mercado, o gestor fica a saber que a procura de um produto será alta com 100% de probabilidade.
- No polo oposto, quando H é igual a $\log N$, o dado que o gestor obteve não trouxe consigo nenhum ganho em informação. Neste caso, a incerteza é máxima porque a irregularidade da colecção de acontecimentos possíveis é também máxima. Seria o caso de um gestor que, depois de um estudo de mercado, fosse informado de que a probabilidade de se verificar uma subida na procura era igual à probabilidade de se verificar uma descida. Como tanto uma coisa como outra são igualmente possíveis, esse estudo não acrescentou nada ao conhecimento que o gestor já tinha do futuro.

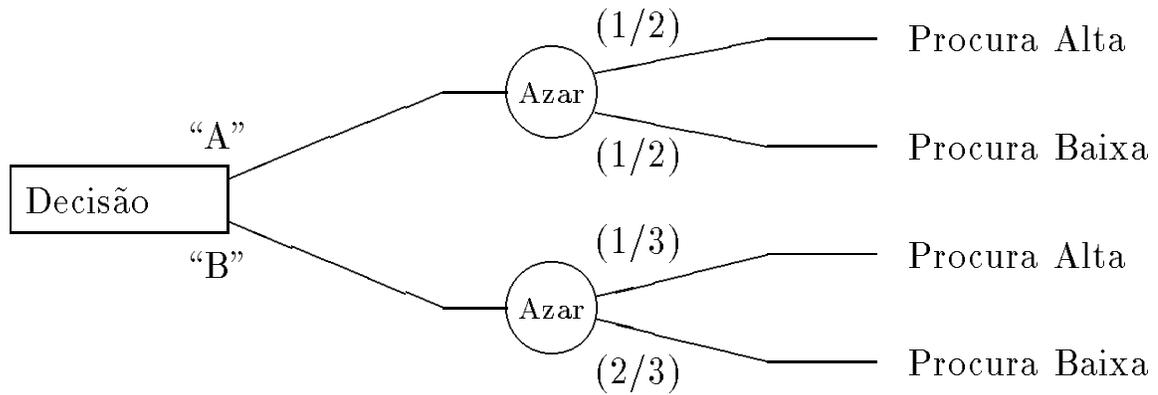


Figura 2.2: Representação esquemática do elemento básico de qualquer decisão estratégica com incerteza. À escolha do gestor (“A” ou “B”) segue-se uma procura incerta para o seu produto. As probabilidades associadas a cada desenlace possível estão entre parêntesis.

A situação de $H = 0$ dá-se quando cada um dos estados é completamente descrito pelos seus atributos, de tal modo que quem conhecer os atributos fica também a saber qual é o desenlace. Continuando com o exemplo anterior, aquilo que permitiria a um estudo de mercado ser tão taxativo em relação ao futuro, seria a observação de determinados indicadores que, infalivelmente, estariam associados ao crescimento. A situação oposta, $H = \log N$, acontece quando os atributos, os tais indicadores, não trazem consigo nenhuma informação sobre o desenlace futuro. Entre estes dois extremos, qualquer situação é possível.

33. Entropia e probabilidades *a-priori*. Viu-se que a entropia era a diferença entre a incerteza inicial e o ganho obtido com o conhecimento prévio de certas regularidades existentes na colecção de estados possíveis. O conhecimento prévio é também designado por *informação a-priori* e está contido em colecções de probabilidades. Seria fácil de ver que H em (2.4) pode ser escrita como a média ou valor esperado da informação que falta para conhecer completamente um desenlace:

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i \quad (2.5)$$

onde p_i é a probabilidade de ocorrência de cada um dos N possíveis desenlaces.

Considerar a entropia em vez de uma colecção de probabilidades e respectiva estrutura, simplifica e faz mais realista a tomada de decisões. Para entender porquê, considerar-se-á uma decisão à qual se seguem, para cada possível movimento do gestor, um acontecimento incerto. Esta simples estrutura, esquematicamente representada na figura 11.1, pode considerar-se como o elemento básico de qualquer decisão estratégica. Neste caso, o uso da entropia dá ao gestor a possibilidade de comparar, com mais realismo do que se usasse colecções de probabilidades, cada uma das possíveis opções que enfrenta.

A figura 11.1 mostra uma decisão à qual se segue um entre dois acontecimentos incertos envol-

Prob.	Entropia	Prob.	Entropia
1/2 e 1/2	0.30	1/5 e 4/5	0.22
1/3 e 2/3	0.28	1/10 e 9/10	0.14
1/4 e 3/4	0.24	1/20 e 19/20	0.09

Tabela 2.2: Relação entre entropia e probabilidades num jogo com dois desenlaces.

vendo dois possíveis desenlaces com probabilidades de ocorrência de p_1 e $p_2 = 1 - p_1$. Ao contrário do que seria intuitivo, a diferença entre uma incerteza dada por

$$p_1 = \frac{1}{2}, p_2 = \frac{1}{2} \text{ e a incerteza gerada por } p_1 = \frac{1}{3}, p_2 = \frac{2}{3}$$

é negligível e não merece ser tida em consideração, excepto quando a decisão tem que repetir-se muitas vezes. Tal facto só se torna claramente visível quando se observa a entropia. A tabela 11.1 mostra o valor de H para pares de probabilidades associados a um jogo com dois possíveis desenlaces. As diferenças só começam a ser importantes a partir de 1/3. Apesar das probabilidades parecerem indicar uma quebra na incerteza quando a decisão é “B”, esta é na realidade mínima.

A relação entre probabilidades e entropia — a incerteza que falta remover — não é linear. Em redor de valores de $p = 1/N$, grandes variações de p conduzem a pequenas variações da incerteza. E nos extremos, quando p se aproxima de zero, qualquer pequena variação de p produz uma grande variação em incerteza. Ao gestor interessa muito mais comparar entropias ou ganhos pois, ao contrário das probabilidades, estas medidas são capazes de lhe dizer directamente qual o poder de que ele dispõe sobre cada um dos desenlaces.

34. Numeração binária e quantidade de informação. Até aqui não se falou da base dos logaritmos a usar para calcular o ganho ou a entropia quando a informação é incompleta. Em teoria, não importa muito qual seja a base escolhida desde que seja sempre a mesma. Na prática, porém, há interesse em usar a base 2 para que a quantidade de informação ou a sua falta (incerteza) venham expressas em *bits*.

Como não é fácil encontrar tabelas de logaritmos na base binária, lembramos que

$$\log_2 x = \frac{\log_n x}{\log_n 2} \quad (2.6)$$

Por exemplo, qual seria a quantidade de informação necessária para transmitir o resultado do lançamento de uma moeda ao ar? Aplicando (10.3), com $p_{\text{caras}} = 0.5$ e $p_{\text{coroas}} = 0.5$ vem:

$$H = - \sum_{i=1}^2 p_i \log p_i = -0.5 \log 0.5 - 0.5 \log 0.5$$

Caso fosse usada a base decimal, H valeria 0.301; uma base natural daria $H = 0.693$; e uma base binária daria $H = 1$. Um bit é pois a quantidade de informação que falta para remover totalmente a incerteza que rodeia um jogo de moeda ao ar. Este valor é bastante mais intuitivo do que o mesmo

noutras bases. A variedade, $\log N$, passa a medir o número de bits necessário para identificar uma de entre N possibilidades. Para identificar um de entre 2 acontecimentos diferentes será preciso um bit, quatro acontecimentos requerem dois bits, oito requerem três e por aí fora.

35. Retorno esperado com informação exclusiva. Se a informação tem valor, deve ser possível relacionar informação com retornos esperados. O ganho G em informação que se obtém ao conhecer, com exclusividade, uma tendência ou enviezamento é, como se viu,

$$G = \max H - H = \log N - \left(-\sum_{i=1}^N p_i \log p_i\right)$$

Chama-se *ganho relativo* ou *percentual* ao ganho obtido em relação à incerteza que existia originalmente (a variedade). Será portanto o quociente

$$g = \frac{G}{\log N} \quad (2.7)$$

Por sua vez, pode provar-se (Kelly, 1956 [19]) que este ganho relativo g coincide com o máximo retorno esperado por um investidor que possua informação parcial G não acessível a outros investidores. É esta portanto a relação entre ganho em informação e ganho esperado.

Claro que tal retorno só se pode auferir com posse exclusiva de informação, o que é aliás um fenómeno frequente e encontra-se bem estudado pelos economistas. Os gestores de um negócio, por exemplo, têm informação que não é acessível aos próprios donos. Esta posse dá origem a problemas de *agência*, um tipo concreto de assimetria informativa.

Para obter o ganho g , um investidor com informação exclusiva terá que usar uma estratégia específica que a seguir se descreve para o caso simples de $N = 2$ (portanto $\log_2 N = 1$). Se a probabilidade de um dado acontecimento vir a dar-se é q , claramente maior do que 50%. Um investidor que possua o conhecimento exclusivo desta assimetria deverá, para obter o máximo retorno, investir uma proporção

$$\omega = 2q - 1 \quad (2.8)$$

do seu capital jogando contra todos os outros investidores (para quem $q = 50\%$). Caso o faça em sucessivas ocasiões, o seu retorno esperado será, como descrito em (2.7),

$$g = G = 1 + q \log_2 q + (1 - q) \log_2(1 - q)$$

Repare-se, (tabela 2.3), como um ω óptimo se relaciona com os retornos esperados, sugerindo a estratégia simples de investir tanto mais quanto menor é a incerteza.

Quanto maior a incerteza, menor é a vantagem do investidor com informação exclusiva e menor deverá ser a proporção do capital a investir — e vice versa. Esta estratégia constitui uma regra geral da teoria financeira e nunca deve ser esquecida. Quem segue esta regra, prospera; quem a esquece, acaba na bancarrota com probabilidade 1.

Probabilidade q	Estratégia ω	Retorno esperado g
50%	0%	0%
60%	20%	2.9%
70%	40%	11.9%
80%	60%	27.8%
90%	80%	53.1%
100%	100%	100%

Tabela 2.3: Relação entre informação exclusiva e o retorno esperado num jogo com dois desenlaces. ω é a estratégia que conduz a melhores retornos

2.5 Atributos da informação por nível de objectivos

Já foi visto que existiam nas organizações três níveis de objectivos e de decisão. Existem diferenças na natureza das decisões que se tomam em cada nível da hierarquia de objectivos. Uma decisão estratégica é muito diferente de outra de gestão. Tais diferenças determinam, tanto o que é informativo como a sua qualidade. É pois natural que cada um dos níveis tenha características próprias quanto às suas necessidade em informação. Assim:

- As decisões estratégicas estão orientadas para o aumento da competitividade da empresa e este consegue-se desenvolvendo actividades que lhe permitam atingir os seus objectivos, e planeando-as de modo a torna-la capaz de responder adequadamente a mudanças no ambiente e nas forças que o definem. Tais decisões requerem geralmente uma maior proporção de dados exteriores à empresa, tanto relativos à evolução futura como ao passado. Como consequência, a informação será incompleta e menos dura.
- As decisões operacionais irão basear-se principalmente em dados internos à empresa ou em transacções de que é protagonista. Estes serão detalhados, precisos, devendo evitar-se aqueles que forem conjecturais. A elevada estruturabilidade das decisões torna-as ideais para modelação.
- As decisões que o gestor toma dizem respeito ao planeamento e ao controlo. Os dados chegam a este nível sob a forma de sumários, tabelas cruzadas, planos e orçamentos ou desvios em relação aos ditos. As medidas de desempenho das actividades primárias geram decisões estruturáveis. Porém, existe a este nível todo um mundo de decisões cujos problemas subjacentes são impossíveis de capturar em modelos.

36. Atributos da informação e forma organizativa. Uma característica clássica das organizações é a de serem *organizadas*. Pode colocar-se a hipótese de conseguir que diversas actividades funcionem para um fim comum e se esforcem por atingir objectivos a curto e médio prazo, mas carecendo de qualquer estrutura organizativa. Porém, tal hipótese é teórica, excepto em casos

muito especiais (dimensão reduzida, elevado grau de compenetração das pessoas, causada por forte pressão exterior ou outros motivos).

Sendo que as organizações são organizadas, acontece que umas se organizam de uma forma e outras de outra. Existe uma diversidade enorme de organização, mesmo em empresas do mesmo ramo. Como deve equacionar-se o problema do entrelaçamento ente os sistemas de informação e a forma organizacional de cada empresa? Este assunto tem uma importância crucial e está, em grande parte, por resolver. De facto,

- por não respeitarem uma forma organizativa existente, acontece que a implementação de novos sistemas de informação baseados em tecnologias evoluídas e com tendência a serem *standard* (muito semelhantes de empresa para empresa), gera incompatibilidades e obriga a empresa a ajustar a sua forma organizativa; tal ajuste assume custos elevados;
- por serem feitos à medida de uma organização, e por terem ficado demasiado justos, certos sistemas de informação tornam a empresa incapaz de qualquer ajuste rápido na sua organização e portanto lenta na resposta a mudanças; tal rigidez pode levar ao desaparecimento da empresa;
- por estarem dependentes de equipamento dispendioso e sofisticado ou de difícil substituição, de contratos de manutenção de hardware e do suporte demasiado vinculativos, de *software houses*, as empresas ficam presas numa rede que não dominam; não só perdem flexibilidade como até a sua independência. Isto é um mal comum a um sem-fim de organizações.

Eis apenas três dos problemas típicos do relacionamento entre os sistemas de informação e a organização. Mais adiante voltar-se-á a este assunto.

Capítulo 3

O Uso da informação na empresa

Em que sentido é a informação um *recurso* da empresa e, concretamente, como contribui ela para o funcionamento das operações e para a tomada das decisões estratégicas ou de gestão?

37. Tarefas empresariais onde a informação é o recurso preponderante. Vamos considerar os grandes tipos de tarefas que melhor ilustam o uso da informação na empresa. Essas tarefas tentam atingir os seguintes objectivos gerais:

1. Ligar entre si as tarefas da empresa. É com este fim que se registam e processam as *transações* como veremos abaixo.
2. Ajudar a tomar decisões, nomeadamente as que se encontram a um nível mais elevado (de gestão e estratégicas).
3. Planificar a posta em prática de decisões tomadas;
4. Acompanhar a execução do que foi planificado (o *controlo*).
5. Medir o desempenho dessa execução ou, em geral, de cada actividade da empresa; e contribuir para melhorar esse desempenho.

Cada uma destes objectivos será estudado detalhadamente embora as duas primeiras mereçam maior atenção.

3.1 Registo de transações para ligar tarefas entre si

A empresa é um conjunto de tarefas, executadas harmonicamente de modo a constituírem um processo de valor acrescentado. Essa harmonia constroi-se de forma simples e intuitiva, pelo facto de cada tarefa se encontrar *ligada* a outras a que deve estar ligada. E essas ligações são asseguradas com informação.

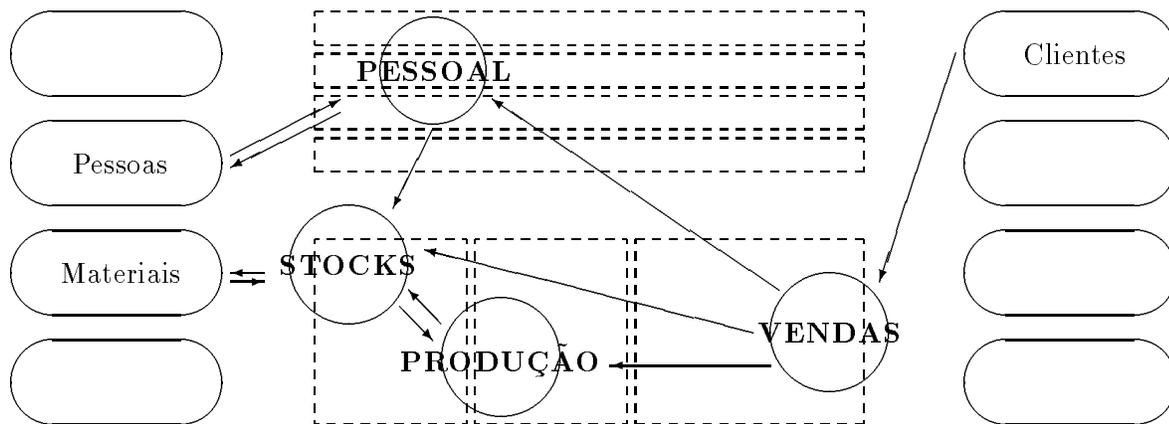


Figura 3.1: O fluxo de informação mais óbvio na empresa é aquele que corre no sentido contrário ao do processo.

Aquilo que assegura o funcionamento harmónico das tarefas da empresa e entre esta e o exterior, é um fluxo de dados; e o mais óbvio, o mais perceptível, é o que flui no sentido contrário ao da criação de valor: os clientes compram, as Vendas fazem as suas previsões baseadas nessas compras e depois fornecem à Produção e à Logística de entrada informação que lhes permitem fazer encomendas e produzir. A figura 3.1 exemplifica esse fluxo de informação.

38. A transacção como ligação entre tarefas. O processo de produzir e fornecer bens ou serviços a clientes, ou o de comprar matérias-primas a fornecedores, pode ser visto como uma sequência de *transacções* e correspondentes actividades. As transacções são registos de movimentos de bens e serviços dentro da empresa e desta com o exterior. São a forma mais primária de relacionamento da empresa com o exterior, e, dentro dela, de relacionamento das actividades entre si. Cada transacção tem um

emissor que é a entidade que produz ou escreve a transacção; e tem um ou vários

recipientes, que são as entidades a quem a transacção é destinada e que efectivamente a recebem.

E é através de transacções que os recipientes ficam a saber o que devem fazer. Sem transacções, as entidades que compõem um negócio ficam sem saber o que fazer. Por exemplo, quando a produção levanta do armazém certa quantidade de matéria-prima, emite uma transacção onde o recipiente é o armazém. É essa transacção que faz com que o armazém efectivamente entregue a matéria-prima pedida. Por sua vez, o fornecedor que entregou esses bens para serem recepcionados e (caso sejam conformes com as especificações da encomenda) armazenados, também é protagonista de várias transacções onde é emissor ou recipiente (recepção da encomenda, envio do produto encomendado junto com a guia de entrega, facturação, recepção do pagamento, envio do recibo).

No interior de uma organização, os dados mais relevantes são portanto os respeitantes a transacções pois são elas que, ao estabelecerem as ligações entre tarefas, fazem com que estas sejam

executada. Os sistemas transaccionais são a espinha dorsal de qualquer negócio e quando deixam de funcionar o negócio para.

39. Registo de transacções. Além de permitirem a ligação entre tarefas, as transacções devem ser *registadas* (armazenadas de forma coerente, por data de emissão e segundo a sua natureza). O registo propriamente dito consiste na escrita, em suporte apropriado, de uma descrição da

data ou ordem de entrada em que foi emitida, da

natureza da transacção (a transacção é portanto *reconhecida* ou identificada), e dos seus

atributos como quantidades, preço, etc.

O registo de transacções tem duas finalidades. Destina-se, em primeiro lugar, a

- fornecer prova de que a transacção foi efectuada. Em certos casos existe mesmo o dever legal de manter um registo de transacções.
- dar à contabilidade, à auditoria e ao fisco os dados em que se baseiam para construir relatórios do estado financeiro da empresa.
- dar aos clientes, fornecedores e accionistas da empresa a segurança de uma actuação transparente.

e em segundo lugar, depois de um processamento adequado, tem por finalidade a obtenção de informação crucial para a empresa.

40. Processamento das transacções. Uma vez registadas, as transacções permitem, através do seu processamento, a obtenção de informação fundamental para qualquer negócio. Além de assegurarem a ligação entre actividades, é pois esta outra tarefa mais básica com que os sistemas de informação de uma empresa se defrontam.

O processamento começa com o registo propriamente dito e armazenagem, e acaba na disponibilização dos resultados, de acordo com as necessidades de cada utilizador. Eis alguns dos resultados típicos do processamento das transacções:

- Permitir o controlo dos níveis de disponibilidade de certas matérias e produtos e a monitorização de todo o processo de abastecimento, armazenagem, produção e vendas.
- Fornecer os dados necessários à identificação dos custos e ganhos associados com cada produto e actividade, fornecedor ou cliente, de modo a tornar possível uma análise fiável da rentabilidade da empresa, a optimização de certas actividades e o planeamento de novos produtos.

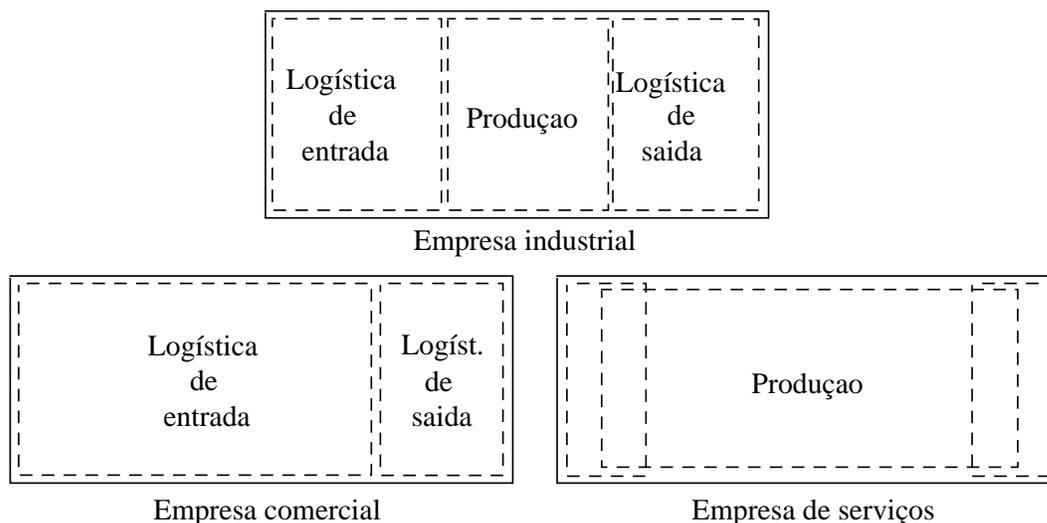


Figura 3.2: Só na empresa industrial encontramos as três grandes partes ou conjuntos de tarefas típicos do processo primário.

As necessidades de cada utilizador são por sua vez específicas no *tipo*, no *detalhe*, no *timing*, etc. Assim, certos utilizadores estarão interessados em aspectos puramente quantitativos das transações (por exemplo, o número de unidades vendidas) enquanto que outros quererão saber aspectos financeiros. Há casos em que é preciso fornecer um registo exaustivo de todas as transações efectuadas num dado período, enquanto que noutros o que se pretende é um resumo, uma tabela ou um total. Por último, o tempo que estes dados levam a estarem disponíveis pode ser ou não crítico consoante o utilizador.

3.2 Os sistemas transaccionais

Chama-se *sistema transaccional* ao sistema de informação que regista e processa as transacções e depois disponibiliza os resultados desse processamento.

Vão-se agora considerar as mais importantes tarefas do processo primário, as suas transações mais típicas e os sistemas que as suportam. O paradigma utilizado nesta secção é a empresa industrial, pois é aí que se encontram todas as três grandes partes em que se dividem as tarefas do processo primário: logística de entrada, produção e logística de saída. Com efeito, como a figura 3.2 ilustra, no comércio só se encontram as duas logísticas (não há produção pois não se faz a transformação de materiais) enquanto que as empresas de serviços quase só têm produção (as duas logísticas encontram-se, em geral, mal definidas por serem inseparáveis da produção).

Assim, uma discussão em torno da indústria será a mais completa e geral. Para mais, embora os exemplos dados se refiram à empresa industrial, a maioria dos conceitos aplicam-se também ao comércio e a empresas de serviços. Começemos pois a estudar o papel da informação transaccional no processo primário.

41. Fornecedores e Armazém. Uma empresa absorve matéria prima, serviços, trabalho e capital. Ao registar as transações correspondentes a recursos absorvidos, o que interessa reter é a entidade-origem, a designação do que foi absorvido, o seu custo e quantidade. Não esquecer que certas transações têm, elas próprias, um custo que convem registar.

É raro que os recursos primários, obtidos através da actividade *Fornecedores*, entrem logo para as primeiras etapas da produção. O mais comum é que sejam recepcionados e armazenados até serem precisos. O armazém é um *buffer* ou depósito que permite adequar um fluxo de encomendas a outro fluxo de produção. Em nédia, estes dois fluxos são os mesmos; mas, quando observados no muito curto prazo, o fluxo de compras evolui de uma forma discreta ao passo que o da produção é contínuo. Para além de regularizar o fluxo de materiais, adequando-o ao da produção, o armazém deve ainda ser a reserva ou depósito de segurança: Em caso de atrasos no fornecimento, esta reserva assegura que a produção não sofre uma interrupção.

Em casos específicos, o armazém pode ainda ser uma reserva táctica de materiais cujo preço se prevê vá aumentar, ou cuja compra é mais vantajosa quando em grandes quantidades. Porém, não se pense que este último aspecto é pacífico na vida das empresas: A armazenagem tem custos e riscos elevados e, regra geral, quanto menos se armazene, melhor. Os stocks são bens acumulados mas não rentáveis. Para além dos custos directos provenientes da sua compra, os stocks têm custos *de oportunidade*, representados pelos rendimentos que se obteriam com esse capital se ele não estivesse inactivo, e também custos de armazenagem.

O sub-sistema de informação que regista e processa as compras e as existências em armazém deve estar desenhado para cumprir com as seguintes funções:

- Permitir saber as quantidades de cada item presentemente em stock sem ter que ir ao armazém conta-las, e desencadear o processo de compra de um item quando as quantidades descem abaixo de um certo nível. Este nível calcula-se de acordo com o tempo necessário para a sua reposição e o ritmo ao qual a produção o está ou vai usar.
- Indicar a percentagem dos recursos financeiros *circulantes* (os disponíveis no curto prazo) que estão retidos sob a forma de bens em armazém e a dos que são devidos a fornecedores.
- Permitir o estudo do risco de interrupção da produção e, em geral, a construção de modelos de minimização do armazém.

A melhoria da eficácia nesta área tem merecido o maior interesse por parte das ciências das operações (*Operations Research*). O objectivo é sempre tentar conseguir um fluxo, o mais contínuo possível, entre as encomendas e a produção, diminuindo ou mesmo evitando o tempo de armazenagem, de modo a libertar capital para actividades mais produtivas. Um exemplo de um processo de optimização deste tipo é o sistema JIT (*just in time*) de fornecimento. Foi criado pela indústria automóvel e, com ele, consegue-se reduzir para poucas horas o tempo que decorre entre a encomenda e a entrada em produção. Mas para que tal sistema, ou outros semelhantes, funcionem, terá de

existir, a suporta-lo, um apurado sistema de informação transaccional. E não convém esquecer que o JIT não resolve problemas: transfere-os para os fornecedores.

42. Outros recursos de entrada. A definição de recursos em stock não deve restringir-se a materiais. Importa ainda considerar a reserva de capital e, mais raramente, de pessoas. A reserva de capital traduz-se na existência de um fundo de maneo com o qual a empresa faz face a desfasamentos entre pagamentos e recebimentos, toma providências quanto a avarias, material deteriorado, clientes que não pagam, etc.

O fundo de maneo tem que prover à manutenção de um *buffer* com dinheiro, o qual se chama *caixa* e reside geralmente em depósitos à ordem ou a curto prazo nos bancos. Este *buffer* tem funções semelhantes às do armazém. Porém, neste caso, apenas existem transações com o exterior. Transações envolvendo fornecedores produzirão *pagamentos*, os quais, mais cedo ou mais tarde, darão origem a fluxos de dinheiro para fora da caixa. Transações envolvendo clientes originarão *recebimentos*, os quais, se tudo correr bem, darão origem a fluxos de dinheiro para dentro da caixa.

Se o processo acrescenta mesmo valor ao produto, o fluxo de dinheiro que sai da caixa deve ser menor, em média, do que o que entra. Vai portanto surgindo um excesso de dinheiro que deve ser prontamente aplicado. O problema está em conseguir rentabilizar este excesso sem comprometer a capacidade da empresa de cumprir os seus compromissos. Para tal, os sistemas de informação devem ser capazes de fornecer *balanços* de caixa actualizados e previsões que possibilitem construir orçamentos, ditos *de tesouraria*.

Findo um dado período (um ano ou uma outra etapa), o dinheiro em excesso poderá ser distribuído pelos donos da empresa sob a forma de *dividendos*, aplicado em outros activos de modo a render juros, ou investido dentro da própria empresa em maquinaria, terrenos, (o *imobilizado*) treino, patentes e direitos, estudos e publicidade, etc, tornando-se produtivo e contribuindo para o *crescimento sustentado* do negócio. Também aqui, os sistemas de informação devem ser capazes de fornecer dados sobre a capacidade produtiva, especialmente no que respeita ao grau de uso, localização, valor e grau de amortização do immobilizado. Isto permite identificar as necessidades de capital futuras, planear o crescimento, medir e melhorar a rendibilidade do investimento.

No caso das pessoas, é frequente que as empresas tenham que enfrentar situações de excesso de recursos ou de falta deles. Tanto o tempo em que os empregados tiverem que ficar inativos, como a falta de uso de habilitações, originam quebras no rendimento. O tempo e as habilitações devem ser vistas como um recurso que deverá estar inactivo o menor tempo possível; e aqui, o papel dos sistemas de informação é relevante.

43. Produção. No processo de valor acrescentado, a *produção* é o conjunto de tarefas que transformam os recursos de entrada, *inputs*, em produtos acabados ou que prestam directamente serviços. Nas transações aí efectuadas interessará reter os dados referentes a quantidades, horas-homem, custos de mão-de-obra externa, maquinaria e todos os outros necessários para

- calcular o custo associado a cada actividade. É isto que permite depois decidir qual o preço de venda de modo a obter uma margem de lucro desejada;
- medir e corrigir a eficácia de cada actividade.

O tipo e qualidade da informação colhida neste grupo de operações irá depender da sua natureza. Existem três grandes tipos de produção industrial:

Por tarefa. Cada produto é objecto de processamento individual. A organização acompanha o fabrico de cada item ao longo de todo o processo. Por isso, os custos podem ser directamente imputados a essa tarefa. Cada tarefa (*job*) terá um número que a identifica (geralmente, o mesmo que o da encomenda) e é fácil calcular o custo primário do produto final.

Por lotes ou fornadas (*batch*). Muitos itens idênticos são processados ao mesmo tempo e progridem juntos através de todo o processo primário. É claro que se processam os itens em fornadas sempre que isso é possível já que, obviamente, é mais rentável. Os custos são calculados pela média de custos de cada fornada.

Linha de fluxo contínuo. Este processamento usa-se quando só existe um produto ou quando seria difícil separar o produto final em partes identificáveis. As indústrias químicas a granel usam-na habitualmente. Para se obterem custos, é preciso calcular médias a partir do volume total fabricado num dado período. As medidas de rendimento também se têm que referir a médias por período.

Foram surgindo formas de calcular custos adaptadas a estes três tipos de processamento. Em certas empresas dá-se uma combinação deles, cada um aplicado a uma parte do processo. Assim, um fabricante de grandes computadores terá linhas de fluxo contínuo para o fabrico de componentes electrónicos simples em grandes quantidades; terá também várias fornadas para juntar componentes e montá-los em circuitos impressos; e terá finalmente uma tarefa por cada computador encomendado.

O fabricante de computadores referido acima estaria interessado nos seguintes tipos de informação:

Custos. Serão determinados por manipulação, mais ou menos trabalhosa, de dados como

1. O custo individual de cada um dos componentes usados.
2. O custo da mão-de-obra envolvida em cada actividade ou etapa do processo.
3. O tempo gasto pelo equipamento e armazenagem, para determinar a proporção dos custos do capital investido a afectar ao produto.
4. Os custos provenientes das actividades de suporte que apoiam o processo.

Como é fácil de imaginar, a avaliação de custos pode ser complexa e contém geralmente estimativas subjectivas ou aproximadas. Mesmo assim, trata-se de uma informação fundamental para a gestão e os Sistemas que registam transações podem ajudar muito nesta tarefa.

Rendimento. Uma vez avaliados os custos, a empresa será capaz de medir a eficiência do processo através do uso de indicadores tais como

1. Percentagem de componentes rejeitados ou estragados.
2. As horas-homem e o tempo de uso de equipamentos e instalações, comparados com valores-referência.
3. Percentagem de unidades defeituosas no produto final.
4. Percentagem de utilização das instalações e da capacidade do equipamento instalado, bem como eventuais interrupções na produção.

O valor dos recursos empregues pelo processo de produção é também importante para calcular a quantidade de valor que é acrescentado pela empresa.

Os conceitos enunciados acima aplicam-se tanto a empresas industriais como a empresas de serviços e ao comércio. Porém, o ênfase varia com cada sector. Por exemplo, em empresas de serviços os custos são mais subjectivos e calculam-se com base em convenções ou naquilo que o mercado determina.

44. Armazenamento do produto. Como no caso dos recursos absorvidos, o armazém de produtos acabados é um *buffer* que liga as actividades primárias aos agentes exteriores à empresa. É preciso manter um certo depósito de produtos acabados já que

1. a empresa deve responder depressa a certas encomendas;
2. podem existir flutuações (nomeadamente sazonais) na procura e estas não se devem reflectir na produção sob pena de comprometer o rendimento;
3. é preciso garantir que existem stocks capazes de responder à procura, sob pena de perder mercado. Aqui, uma falha paga-se muito caro.

A informação que importa colher para minimizar o stock de produtos acabados sem incorrer nos perigos enunciados acima será, entre outra,

- Quantidades em stock, com lançamento de ordens de fabrico quando estas atingem um dado nível mínimo.
- Capital investido que está em stock e custos de oportunidade associados.

- Risco de quebra nas vendas por falta de stocks, de acordo com as previsões de vendas. Custos associados.

Há empresas que trabalham apenas com base em encomendas recebidas e com prazos de entrega conhecidos. Construtores navais, produtos artesanais, certas empresas de confecção, etc. Mas, mesmo nestes casos, é normal que existam stocks de produtos acabados à espera de que toda a encomenda seja satisfeita.

45. Vendas, distribuição e apoio ao cliente. As vendas requerem o registo de uma série de transações envolvendo os clientes, desde a encomenda até ao pagamento da factura, desde o acordo quanto ao caderno de encargos até às condições de manutenção e treino. Nomeadamente, estes registos devem ser capazes de fornecer dados sobre

1. Natureza dos direitos e obrigações contratuais em que incorrem tanto o vendedor como o comprador.
2. Especificações do produto, as quais podem ser de três tipos:
 - (a) características correspondentes a um produto já existente em armazém,
 - (b) modificações de um produto já existente em armazém, ou
 - (c) características a serem satisfeitas por um novo produto.
3. Necessidades de recursos a serem absorvidos na produção.
4. Quantidades, preços, descontos combinados e outros dados necessários à contabilização das vendas e a outras actividades de suporte.
5. Local e data da entrega, e outros pontos acordados com o cliente em questões de instalação, manutenção, treino, etc.
6. Actividades que o cliente levará a cabo no acompanhamento da sua encomenda.
7. Dados requeridos pela auditoria e pelo fisco.

A empresa estará também interessada em avaliar os custos associados às actividades de venda e *service*, no seu rendimento bem como na capacidade de potenciais clientes para satisfazerem as suas obrigações atempadamente. Existem empresas especializadas em fornecer informações sobre a situação financeira de potenciais clientes, nomeadamente se são ou não bons pagadores.

46. Mas a qualidade do produto não chega. São também importantes os prazos de entrega e a sua fiabilidade, a instalação e manutenção, bem como todo o processo de após-vendas, incluindo as garantias quanto à manutenção e disponibilidade futura de peças suplentes. Ao estudar o preço de venda, o cliente liga geralmente mais importância a estes últimos aspectos do que ao mérito relativo

do produto. A fiabilidade, a segurança, são mais procuradas do que outras vantagens marginais porventura oferecidas com um produto ou serviço. Sendo assim, a empresa precisará de informação segura e actual capaz de monitorar a qualidade das suas vendas e *service*. Entre outros dados, esta irá incluir

- Os prazos de entrega, tempo que resta, percursos, custos de transporte.
- O tempo requerido para instalação, teste e treino.
- A frequência e custo da manutenção.
- Listas de problemas encontrados e soluções, níveis de qualidade requeridos no processo de pós-venda e níveis de satisfação atingidos.

Obviamente, o ênfase nestas actividades varia muito com o sector.

47. As Transações e as actividades de suporte. Este tipo de actividades usa, mais do que produz, os dados registados pelas transações. Assim,

O Marketing precisa de se apoiar nos dados de vendas e *service* para, junto com fontes externas, prever necessidades do mercado, implementar novas estratégias, planear e controlar o desenvolvimento do produto, canais de distribuição, política de preços, publicidade e promoção e outras actividades orientadas para a identificação e satisfação das necessidades do consumidor. Note-se que o Marketing, pelo seu papel imprescindível no processo de valor acrescentado, tende a ser considerado hoje como uma actividade primária e não de suporte.

A Contabilidade e a Direcção Financeira absorvem dados que permitam, por exemplo, o registo contabilístico e dos prazos de recebimento e pagamento; a emissão de facturas para a venda de produtos, o controlo do crédito concedido e da forma de liquidação; o pagamento a fornecedores e a cobrança a clientes; a gestão da tesouraria (assegurar que existem em caixa os meios necessários à satisfação de compromissos e que não se acumulam aí fundos em excesso); a gestão dos activos fixos e outros.

O Controlo das Operações inclui o planeamento e a coordenação das diversas actividades primárias envolvidas na produção e o estabelecimento de prioridades nestas áreas. Obviamente, baseia-se no registos das transações para conseguir tal monitorização.

A Gestão dos Recursos Humanos faz o recrutamento e o treino do pessoal, fornece os serviços médicos, de refeições, creches, etc, e procura a valorização e o aumento em motivação do *staff*. Recorre ao estudo dos registos para, com outros dados, monitorar o rendimento deste recurso nas duas vertentes referidas.

A Infraestrutura Organizacional, que compreende a administração do imobilizado, o planeamento de novos edifícios etc, e de menos tangíveis mas muito importantes recursos tais como a estrutura em que se apoia a organização, sistemas e processos que facilitem as actividades primárias e de suporte. Faz também uso dos registos sob a forma de resumos, tabelas cruzadas, modelos estatísticos, etc.

Gestão de Tesouraria: o fluxo de dinheiro associado com cada transação é um atributo não imediatamente visível mas importante para a empresa. Os sistemas de informação devem ser capazes de determinar, não apenas valores, mas também a posição em que a tesouraria da empresa se encontra e aquela em que se virá a encontrar no curto prazo. Para tal, devem registar todas as entradas e saídas de dinheiro, bem como os prazos de pagamento e recebimento das transacções que venham a implicar tais entradas e saídas, não apenas nos casos mais óbvios (clientes, fornecedores) mas também de

- Trabalho e outros serviços absorvidos pelas actividades primárias.
- Compra e aluguer de equipamento e instalações.
- Pagamentos devidos a recursos utilizados, incluindo energia, seguros, juros sobre capitais emprestados à empresa, dividendos declarados aos accionistas.

O saldo de caixa está muito dependente da relação que exista entre os prazos médios de recebimento de clientes, por um lado, e de permanência em stock e de pagamentos a fornecedores por outro. Os sistemas de informação devem estar preparados para fornecer informação sobre estes prazos.

Ao estudarmos os parágrafos anteriores, notamos que os sistemas de informação de uma empresa precisam de registar transacções de tipo muito variado pois existem utilizadores para quem estas transacções serão informação. Todos os grandes grupos em que se dividem as actividades primárias e de suporte são, ao mesmo tempo, fontes de dados e utilizadores de informação. Para satisfazer-los, é preciso criar um fluxo contínuo de registo e transformação de transacções, que abranja todas as actividades primárias conjuntamente, não apenas as adjacentes.

48. Os sistemas transaccionais e *Business Intelligence*. Sem dúvida que o registo e processamento das transacções é a base e suporte de todos os outros sistemas de informação da empresa. A figura 3.3 reflecte esse facto de uma forma esquemática, ao envolver as actividades primárias da empresa num anel onde pode circular a informação resultante do registo de todas as transacções.

Hoje, os dados de origem transaccional, depois de processados são armazenados em *data warehouses* segundo um paradigma lógico (e não transaccional) e são depois postos à disposição dos gestores com acesso a ferramentas de *data mining*.

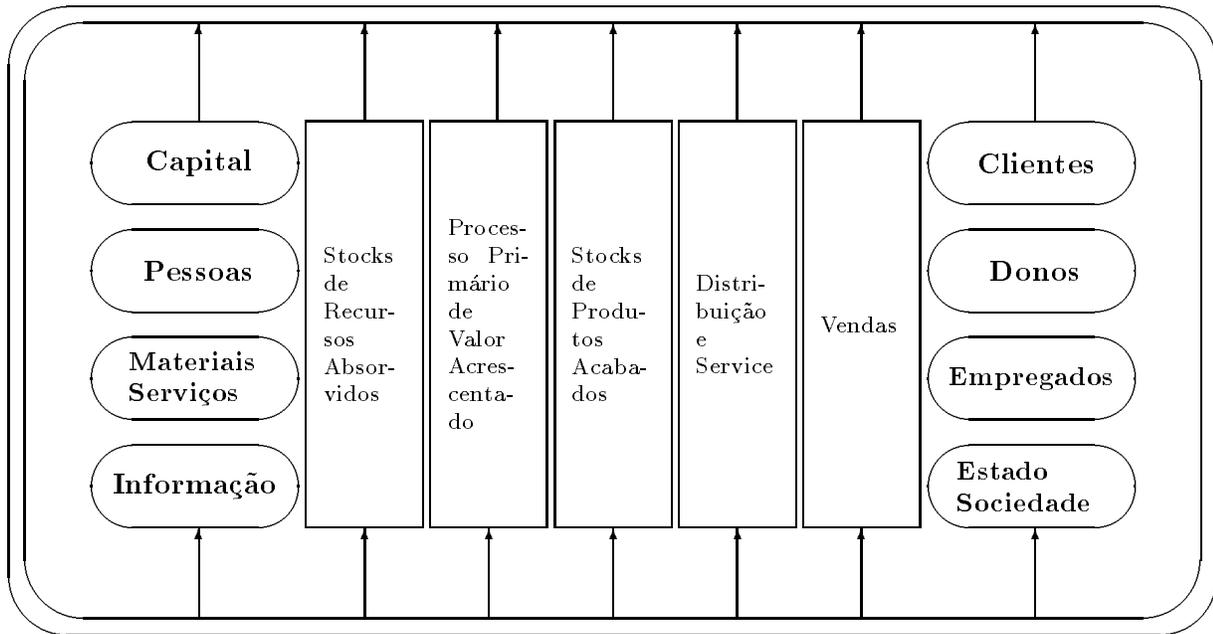


Figura 3.3: As actividades de uma organização como geradoras de transações e o sistema transaccional a envolve-las.

O uso de transaccões passadas para melhorar o conhecimento sobre a empresa, os clientes e fornecedores, processos e modelos subjacentes, leva a melhorar a tomada de decisões estratégicas ou de gestão e é conhecido pelo nome de *business intelligence*. As duas grandes vertentes do *business intelligence* são a pesquisa de dados (nomeadamente os com o uso de *Data Marts* e os modos de acesso conhecidos como *on line analytical processing* e a pesquisa de modelos (com o uso de ferramentas de modelação estatística, redes neuronais, árvores de regras e outras).

3.3 A tomada de decisões na empresa

Esta secção considera o papel da informação na tomada de decisões empresarial, a qual é específica dos níveis mais elevados, o estratégico e o de gestão.

49. Decisões programáveis. As decisões costumam chamar-se

Estruturáveis quando são passíveis de uma total automatização. Podem portanto ser tomadas por algoritmos sem qualquer intervenção do gestor. A maioria das decisões ao nível operacional são deste tipo.

Semi-Estruturáveis quando podem ser automatizadas mas não dispensam a intervenção pontual do gestor em alguma fase do processo, tipicamente na altura da decisão (com o fim de que

exista uma entidade responsável ou com outro fim). Algumas decisões operacionais e de gestão são deste tipo.

Não-Estruturáveis quando não são automatizáveis. Quase todas as decisões de gestão e estratégicas são deste tipo.

O grau de automatização do processamento necessário a uma tomada de decisões é uma característica de grande relevância pois condiciona o custo das decisões.

Quando as decisões, por serem estruturáveis até ao detalhe, se tornam programáveis, isto é, quando se podem tomar com recurso ao uso automático ou quase automático de algoritmos, a informação referente à decisão determina-a univocamente, podendo já ter sido tomada de ante-mão (ou *a priori*). As decisões deste tipo apresentam sempre as seguintes características:

- são frequentes por oposição a raras;
- têm horizontes temporais curtos;
- requerem a consideração de poucos atributos;
- podem ser modeladas de forma simbólica;
- têm um domínio limitado de soluções possíveis.

Eis exemplos típicos de decisões programáveis:

- A política de concessão de crédito a novos clientes.
- O controlo de qualidade e a decisão de rejeitar um lote.
- A decisão de encomendar mais materiais a fornecedores.

As decisões não-programáveis podem ser objecto de um processo de tomada de decisão mais ou menos apoiado em modelos simbólicos. Na empresa, existe toda uma graduação de decisões no que respeita ao grau em que se deixam automatizar. Em geral, portanto, as decisões operacionais são estruturáveis (podem ser e são tomadas automaticamente) e não merecem portanto grandes considerações.

50. Decisão e informação. “Todo o processo de tomada de decisões pode ser visto como aquisição e transformação de informação” (MacCrimmon, 1977) [25]. Nunca se sobrestimará o papel da informação na tomada de decisões. Aqui, o termo *decisão* é simplesmente a escolha de uma entre várias alternativas possíveis. O procedimento para a tomada de decisões é a sequência de actividades que levam à escolha. Vale a pena considerarmos três características geralmente associadas à tomada de decisões:

1. É uma sequência de actividades,

2. que podem ser individuais ou de um grupo e
3. se dirigem a colmatar uma falha (*re-acção*) ou a obter um avanço em direcção aos objectivos da empresa (*acção*, ou *pró-acção*).

O termo *problema* designa, como foi dito, tanto a re-acção perante estados negativos, como o avanço em direcção a estados desejáveis (os objectivos da empresa).

A forte dependência de informação ao longo do procedimento para a tomada de decisões, está esquematizado na figura 3.4. Vamos considerar cada uma das fases aí assinaladas

51. O *trigger*. O desencadear (*trigger*) do processo de tomada de uma decisão dá-se quando surge determinada informação. Por exemplo,

- a descoberta de uma percentagem elevada de componentes defeituosos num lote comprado a um fornecedor, deve despoletar as decisões de tornar mais rigoroso o recepcionamento desses componentes, um estudo dos padrões de qualidade praticados por esse fornecedor e podem levar mesmo à decisão de mudar de fornecedor;
- um crescimento nos níveis de stocks de certos produtos acabados podem despoletar um estudo da procura e um ajuste do fluxo de produção, ou o estudo da viabilidade de baixar os preços, ou ainda o lançamento de campanhas promocionais;
- Dados quanto ao futuro podem também servir de *trigger* ao processo de tomada de uma decisão. Uma proposta para modificar a tecnologia de produção irá requerer a tomada de decisões quanto ao seu financiamento ou corrigir a política de marketing de modo a reflectir a modernização do produto, bem como o treino do staff que irá operar com a nova tecnologia.

Nas empresas, existem também métodos pro-activos cuja finalidade é desencadear melhorias no desempenho das empresas. Em primeiro lugar, o *service* e as vendas passaram a ser encarado como uma fonte de informação capaz de aproximar a empresa das necessidades dos clientes. Além disso, os “círculos de qualidade”, as simples “fichas de sugestões” e outros meios, estão cada vez mais espalhados.

52. A definição do problema. Tendo-se iniciado o processo de tomada da decisão, é preciso objectivar o problema, isto é, descrever os estados actual e deseável, através de uma colecção apropriada de atributos. Um pré-requisito para a definição do problema é a definição dos objectivos que se pretendem atingir; e é desejável que não sejam expressos de forma vaga. No caso de uma erosão nas vendas causada pela concorrência, os objectivos podem ser expressos usando uma das maneiras seguintes,

- evitar o declínio das vendas no futuro,

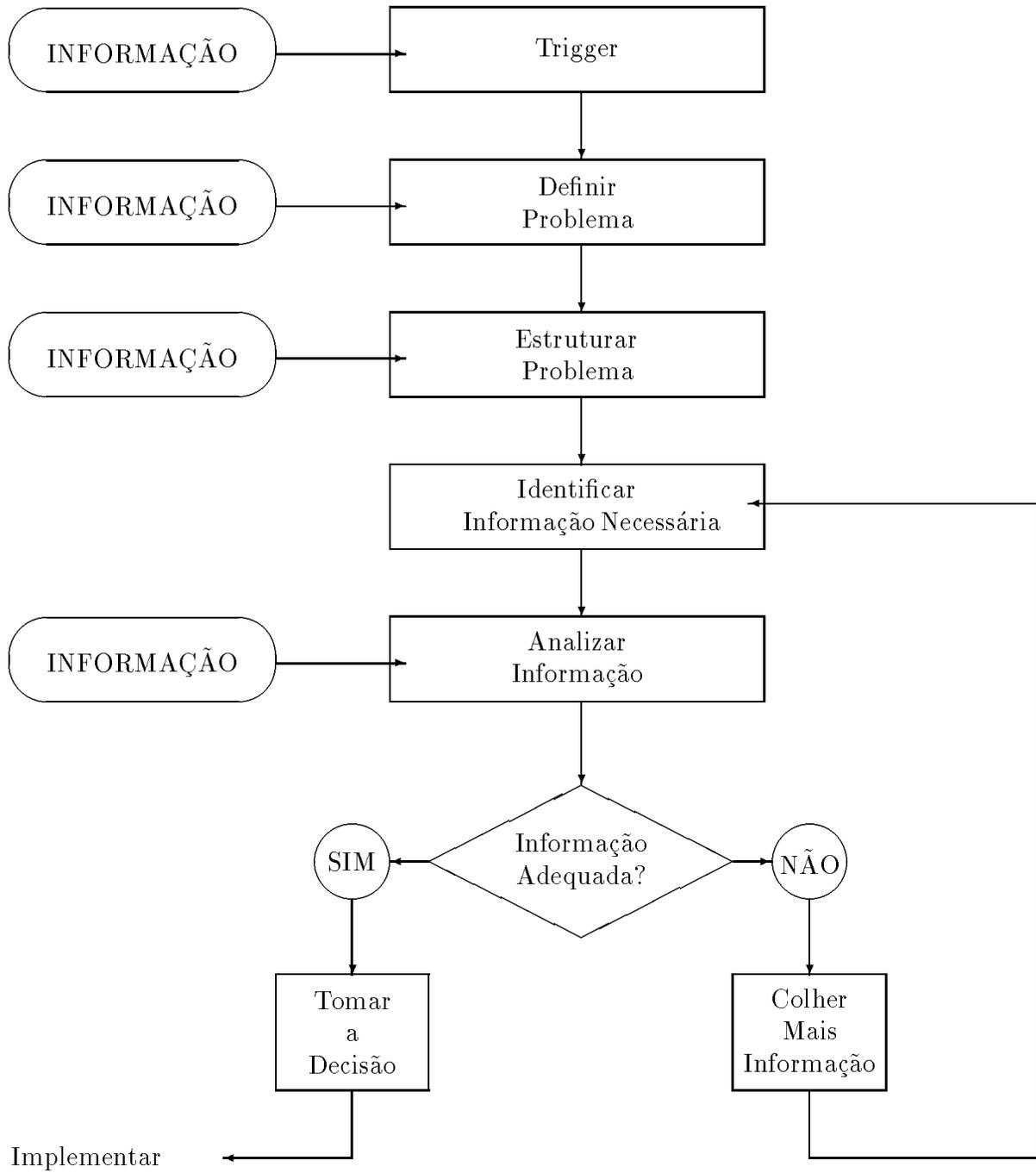


Figura 3.4: A forte dependência de informação no procedimento para tomada de decisões na empresa.

- re-estabelecer as vendas nos níveis anteriores,
- atingir 5% no crescimento das vendas até ao fim do ano;

porém, só a última é objectiva. As três formulações acima não são apenas diferentes. Elas apontam na mesma direcção mas a última é a menos vaga. É importante ser-se concreto para evitar ficar-se pelas boas intenções.

Para serem concretos, os objectivos devem receber qualificações (atributos) que especifiquem, por exemplo, que os 5% no crescimento das vendas devem ser atingidos sem tocar na margem de lucro por unidade, ou sem sair do actual orçamento para marketing. É evidente que os objectivos e seus atributos já determinam, por alto, não apenas as soluções a implementar, como até os critérios pelos quais as soluções propostas deverão ser aferidas. Mais importante ainda, estes objectivos já apontam para o tipo de informação que é preciso obter com vistas à sua implementação.

53. A estruturação do problema. O passo seguinte consiste em estruturar ou modelar o problema. Assim como um estado actual ou desejável carece de objectivação, também um problema (uma forma de transpôr um *gap*) carece de estruturação. Estruturar é representar o funcionamento de um dado mecanismo.

Repare-se que estruturar é o mesmo que diagnosticar; e a estrutura mais básica que podemos obter é ser-se capaz de distinguir as *causas* dos *efeitos*. O gestor está geralmente muito alerta para os efeitos, mas as causas profundas, às vezes, escapam-lhe. Uma redução nos resultados provenientes das vendas pode ter a sua causa num grande número de factores, desde mudanças no tamanho do mercado ou nas necessidades dos consumidores, concorrência, aumento nos custos fixos, aumento no preço das matérias-primas e portanto nos custos variáveis, desagrado por parte dos clientes, etc.

É normal que as causas sejam várias, não apenas uma, e a regra é que as más notícias nunca surgem isoladamente. Além disso, as causas que actuaram impunes, no sentido negativo, durante muito tempo, são difíceis de identificar e combater, pois tiveram tempo de danificar várias actividades. Nestas circunstâncias, o gestor irá precisar, não apenas de informação inicial sobre quais os atributos causais, mas também de informação actualizada sobre as mutações que o problema vai sofrendo e as novas, muitas vezes inesperadas, formas sob as quais se manifesta.

Uma vez isoladas as causas, procede-se à construção de uma estrutura do problema. Quem é capaz de fazer um modelo, já possui poder sobre aquilo que modelou. E esse poder, note-se, é a informação. Supondo que o problema anterior (quebra nos resultados) era causado pela concorrência apenas, ir-se-ia considerar cada uma das empresas concorrentes, de onde lhe vêm as margens mais baixas ou a maior aceitação, onde compram e a que preço. Uma vez compreendida a razão da sua vantagem, é fácil neutraliza-la.

54. Modelos. Um *modelo* é uma representação simplificada da realidade. A eficácia do uso de modelos vem do facto de serem representações simplificadas, onde portanto o que não interessa

para o problema é excluído.

Alguns modelos mais específicos são,

Modelo Físico. Uma representação visível do problema. Por exemplo, um gráfico que mostre os resultados dos concorrentes em função dos seus custos fixos, comparados com os mesmos valores na empresa.

Modelo Simbólico. Uma representação matemática e lógica do problema. São estes os modelos mais usados. Por exemplo, uma regressão, um programa de computador, uma folha de cálculo.

Modelo Conceptual. Uma representação objectivável mas que não se deixa explicar com fórmulas e com lógica. Nem tudo pode ser explicado com gráficos, equações ou instruções do tipo *if then else* porque nem tudo se deixa medir. Há problemas que podem ser modelados apenas conceptualmente.

No desenvolvimento de modelos, o primeiro passo costuma ser o de estruturação. Ele consiste na definição dos

- objectos (ou entidades) que interessa considerar e das
- relações que ligam entre si essas entidades.

Depois de estruturados, os modelos ficam semelhantes a modelos conceptuais; e se fôr possível ir mais longe, então passa-se à fase analítica, onde as relações se transformam em funções e em lógica.

55. As necessidades em informação. O sub-produto mais interessante da função anterior, a estruturação do problema, é a identificação, pelo menos inicial, da informação necessária para avaliar cada uma das alternativas em estudo. Continuando com o exemplo das vendas, o gestor iria agora identificar a informação que lhe falta para decidir-se por uma das vias possíveis. Assim, chegaria a uma lista deste tipo

- Falta conhecer o histórico das vendas durante os dois últimos anos; e
- também a quota de mercado da empresa e de cada concorrente; e
- os níveis de preços durante o mesmo período; falta também conhecer
- a estrutura de custos do produto e as margens resultantes, na empresa e concorrentes.

O factor-chave neste processo é a identificação do tipo e qualidade da informação que será necessária para dar o devido suporte ao gestor. Em certos casos serão precisos elementos muito detalhados sobre a estrutura de custos de um produto. Noutros, bastarão dados aproximados.

56. A análise da informação. O passo seguinte à obtenção da informação é a sua análise. Ela pode ou não envolver métodos quantitativos tais como análises estatísticas (previsões, regressões, etc.) Noutros casos, a abordagem mais adequada é a puramente qualitativa. Os métodos, utensílios e abordagens para análise da informação recolhida variam largamente com o tipo de problema.

57. A adequação da informação. Deve estar sempre presente a preocupação de verificar se a informação colhida é adequada e se é suficiente para levar a uma tomada de decisão. No caso de se verificar que a informação é insuficiente ou inadequada, o gestor regressa ao processo de identificação da informação, percorrendo o *loop* descrito na figura 3.4 (página 59). Os pedidos de nova informação podem ser o resultado de situações como estas

- Faltam dados para modelar um problema. Isto pode dever-se a erro nas especificações iniciais, a falta de qualidade dos dados colhidos, ou simplesmente à descoberta posterior de novas dimensões do problema.
- A necessidade de confirmar uma hipótese, acareando-a com novos dados.
- O atraso deliberado da decisão até que se produzam determinados factos. Neste caso, o gestor exerce a sua opção de tomar esta ou aquela decisão, mas só no momento que lhe parece mais favorável.

É frequente que o primeiro efeito de um acréscimo em informação seja o de permitir ao gestor descobrir que afinal é precisa mais informação. Chegar à fase de se saber o que se não sabe já é um grande passo. Daí, torna-se fácil passar à fase seguinte, a de saber tudo aquilo que é preciso.

A avaliação da informação deverá ser feita também na base da relação custo-benefício. É preciso ter em conta o custo de obter informação mais exacta ou mais completa, comparando-o com os benefícios daí resultantes. Nos problemas que envolvem previsões a longo prazo, um acréscimo em informação pode sair caro, e nem por isso se ganha muito com ela. Nestes casos, diz-se que os custos *marginais* (quer dizer, acrescentados) não compensam os ganhos.

58. A tomada da decisão. Por fim, só resta ao gestor tomar a decisão. Note-se que, como já foi referido, a possibilidade de atrasar a decisão é uma opção que tem sempre valor, uma vez que novos dados poderão surgir entretanto. Porém, é frequente que não seja possível atrasar mais a tomada de uma decisão, pelo mesmo motivo que leva os viajantes a correrem para apanharem um comboio: ele não espera.

Hoje, a decisão prematura é mais frequente do que a atrasada. Nos meios empresariais, é considerado não-económico ou sinal de indecisão, o atrasar decisões. Porém, não se deve esquecer que o protelar, quando possível, aumenta as probabilidades de vir a tomar a decisão melhor.

3.4 Planificação, execução, controlo e medição do desempenho

Uma vez tomada uma decisão, o passo seguinte consistirá em implementá-la. Isto requer, em primeiro lugar, a *planificação*, a qual se compõe de quatro passos:

1. Determinar sequências de acções.
2. Determinar as suas dependências e prioridades.
3. Estabelecer datas para o seu início e fim (calendarizar ou *scheduling*).
4. Estimar os recursos necessários.
5. Juntar os dados acima num *plano*.

Embora o planear e implementar digam respeito ao acto de levar à prática uma decisão, este processo irá gerar a necessidade de tomar novas decisões secundárias. Não vale a pena abordar este assunto em detalhe aqui, pois ele costuma ser estudado em *Gestão de Projectos*.

59. Execução e controlo. O passo final no processo de tomada de uma decisão é o acompanhamento do desenrolar da sua implementação e a medição do desempenho e rendimento obtidos. A medição de indicadores e a sua comparação com o planeado ou orçamentado, é um acto rotineiro nas organizações. Exemplos típicos são as datas de entrega, evolução das encomendas, horas-homem que já usaram uma nova tecnologia em fase de implementação. O gestor, depois da decisão tomada, acompanha de perto a sua implementação e corrige eventuais desvios. Em muitas organizações, a monitorização faz mesmo parte, como uma rotina mais, das actividades primárias e as suas medições são integradas no sistema transaccional. Não esquecer que um pré-requisito para qualquer monitorização é o estabelecimento de objectivos, quer sob a forma de mínimos e máximos, quer como metas desejáveis.

A informação recebida através do controlo servirá para

1. Corrigir desvios em relação ao planeado.
2. Modificar planos futuros para que reflectam mudanças em circunstâncias ou novos níveis de rendimento.
3. Lançar novos processos de tomada de decisão baseados nos conhecimentos adquiridos.

60. Visão sistémica do controlo. Como vimos, a ideia básica na teoria dos sistemas é a separação entre *inputs*, processos e *outputs*. Para se obterem determinados *outputs*, portanto, basta introduzirem-se os *inputs* apropriados, pois o processo não dá surpresas e as mesmas causas produzem os mesmos efeitos. Na prática, porém, os sistemas desviam-se do previsto e isso pode ter duas causas:

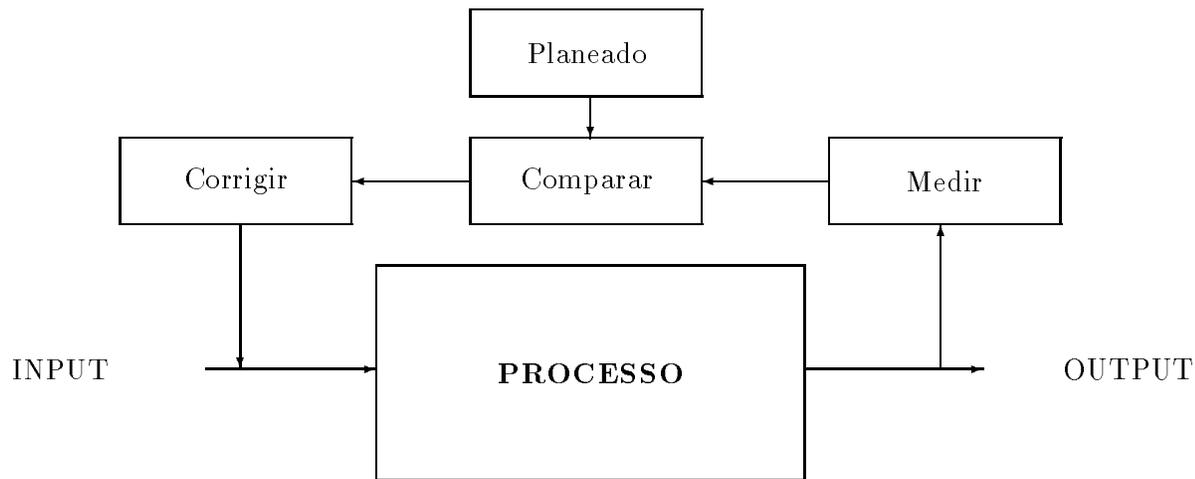


Figura 3.5: Um loop de controlo.

- a estabilidade do processo não se verifica. A forma como ele modifica os *inputs* sofre flutuações aleatórias, ou (o que é pior) um dos atributos vai-se afastando do valor previsto, sempre na mesma direcção.
- não é possível fornecer os *inputs* necessários à obtenção dos *outputs* desejados.

No que respeita à correcção de desvios que surjam no desempenho do processo, existem duas formas possíveis de actuar.

- Quando os desvios esperados são esporádicos e pequenos, o processo é apenas *aferido* desde fora, com a regularidade necessária, e eventualmente corrigido.
- Se, porém, o processo está exposto a desvios frequentes e significativos, torna-se necessário que seja o próprio sistema a auto-controlar-se. Isto consegue-se introduzindo nele *loops* de controlo tais como o descrito na figura 3.5.

Note-se que o *loop* de controlo da figura 3.5 não resolve os problemas surgidos no processo. Limita-se a modificar os *inputs* de modo a conseguir que os *outputs* não sofram distorções, apesar das verificadas no processo. Existem porém sistemas onde, até certa medida, os desvios observados no processo se podem auto-corrigir desde dentro. Estes sistemas já incorporam a auto-aferição ou *loops* de controlo como parte do seu próprio processo, tendo atributos de desempenho que não são fixos mas adaptáveis.

Quando os desvios se devem a variações não-desejáveis dos *inputs*, os loops de controlo também podem ser capazes, em alguns casos e até certa medida, de corrigir o desempenho do sistema. O conceito agora enunciado tem sido objecto de estudo desde longa data e aplica-se a uma grande variedade de disciplinas, sendo a base de ciências como a automação, o controlo adaptativo, as redes neuronais, etc.

3.5 Os sistemas de apoio à decisão (SAD)

Vamos agora considerar um tipo de sistemas de informação usado na empresa para apoiar a tomada de decisões dos gestores intermédios e de topo. Esses sistemas são conhecidos como SAD ou DSS (*decision support systems*) e, para além da sua enorme variedade e complexidade, têm pouco em comum uns com os outros e com os sistemas transaccionais. Eles constituem, por si sós, um mundo de variadíssimas ferramentas, protocolos e paradigmas.

Em geral, tratando-se de tarefas pouco estruturadas, os sistemas de informação ligados à tomada de decisões estratégicas ou de gestão apenas *apoiam* essas tarefas. Isto é, eles não substituem o trabalho do decisor, apenas o ajudam nesse trabalho, funcionando como *ferramentas*.

Marakas (1999) [27] refere as seguintes características como sendo específicas dos SAD:

1. são usados apenas em contextos semi- e não-estruturados;
2. pretendem apoiar, não substituir, o decisor;
3. este apoio é dado em todas as fases do processo de tomada de decisões, não apenas numa etapa específica;
4. apontam para a eficácia do processo (atingir os objectivos) e não tanto para a sua eficiência;
5. estão sob o controlo do utilizador;
6. usam dados e modelos existentes na empresa;
7. facilitam a aprendizagem por parte do decisor;
8. são inter-activos e fáceis de usar (*user friendly*);
9. são desenvolvidos usando um processo evolucionário e inter-activo;
10. fornecem apoio a todos os níveis de decisão, desde o topo da hierarquia até aos gestores intermédios;
11. podem apoiar decisões múltiplas, quer independentes quer inter-dependentes;
12. apoia as decisões, quer sejam individuais, em grupo ou em equipa.

Poucos são os SAD que respondem a todos estes requisitos. E é por isso que o decisor, em geral, tem que sucorrer-se de um leque variado de ferramentas de apoio às suas tarefas.

61. Principais tipos de SAD Faremos agora uma descrição sumária dos sistemas de informação usados na empresa para apoiar a tomada de decisões, a sua implementação e controlo.

Existem tradicionalmente dois grandes tipos de SAD:

- SAD orientados por dados, como as ferramentas para exploração de bases de dados;
- SAD orientados por modelos, como as ferramentas de modelação estatística.

Historicamente, os primeiros só começaram a assumir um papel relevante a partir dos anos 90 do século passado. Até então, os SAD eram apenas ferramentas para a criação de modelos como:

- SAD para optimização;
- SAD para cálculo estatístico;
- SAD para modelação financeira.

Já mais recentemente, foram aparecendo os modelos orientados por dados, os quais podem:

- facilitar o acesso aos dados, a criação e manipulação de ficheiros, pesquisas simples e relatórios simples;
- explorar *armazéns de dados* existentes na empresa, permitindo a sumarização, cálculos simples como totais, médias, e a pesquisa (*query*) segundo condições pedidas pelo decisor.

É importante ainda referir outros tipos de SAD que não são orientados por dados nem por modelos:

- SAD para facilitar as decisões ou as rotinas de grupo, como os sistemas de *workflow management*;
- SAD para facilitar a comunicação entre membros de um grupo fisicamente distantes uns dos outros;
- SAD para pesquisa de conhecimento ou motores de busca, muito potenciados pelo crescimento e popularidade da *world wide web*.

São estes os grandes tipos de SAD existentes.

Parte II

Critérios de decisão, com e sem informação *a priori*

Introdução

De entre as ferramentas que ajudam os gestores a tomar decisões, destacam-se aquelas que permitem fazer face a situações de incerteza. O volume de vendas, os custos, qualquer resultado de uma acção que se empreenda, raramente pode ser previsto com detalhe. O futuro é sempre incerto, embora alguns resultados possam comhecer-se com mais certeza do que outros. Nos casos em que a incerteza é elevada, a ponto de pesar nas decisões, os modelos que ajudam os gestores a tomar decisões devem ser capazes de incluir esta componente. De entre as técnicas que permitem entrar em linha de conta com a incerteza em modelos de suporte à decisão, ocupar-nos-emos nesta primeira parte das mais básicas e simples, as chamadas árvores de decisão.

62. Temas a serem abordados: O estudo das árvores de decisão requer a introdução prévia de alguns temas complementares. Assim, abordar-se-ão os seguintes tópicos:

1. Probabilidades e Valores Esperados.
2. A Função Utilidade.
3. Árvores de Decisão.
4. O valor da Informação Perfeita.
5. O valor da Informação Imperfeita.

Estes assuntos serão organizados em dois corpos, o primeiro orientado para questões gerais e o seguinte para as mais específicas.

63. Importância actual das árvores de decisão: As árvores de decisão têm sido um importante meio de suporte a decisões nos mais variados campos, mas especialmente em projectos de investimento e em planeamento financeiro ou de vendas. Porém, nem por isso se podem considerar muito populares entre os gestores. Várias razões estão na base desta desconfiança.

Em primeiro lugar, a ideia do óptimo como critério de decisão foi muito contestada no início da década de oitenta em prestigiosas revistas de gestão. A razão para tal contestação residia no facto de, em planeamento estratégico, o ganho de certas posições e opções a longo prazo ser algo de capital mas que escapava a estes instrumentos. Nessa altura citou-se como exemplo o caso da

indústria japonesa, contrapondo-o ao modo de planear ocidental. Acusou-se a simples procura do óptimo de ser um factor gerador de estreiteza de vistas já que, afirmou-se, o lucro imediato não deixava os gestores ver mais longe. A este propósito consultar, por exemplo,

- Hayes, R. and Abernathy, W. *Managing Our Way to Economic Decline*. Harvard Business Review, Jul-Aug. 1980, pp. 67-77;
- Hayes, R. and Garvin, D. *Managing As If Tomorrow Mattered*. Harvard Business Review, May-Jun. 1982, pp. 71-79;
- Hodder, J. and Iggs, E. *Pitfalls in Evaluating Risky Projects*. Harvard Business Review, Jan-Feb. 1985, pp. 128-135.

Estas críticas vinham geralmente associadas com a rejeição de um NPV positivo (o facto de o valor actual líquido dos meios libertos pelo projecto ser positivo) como único critério de aceitação de um empreendimento.

Mas as razões aduzidas pelo planeamento estratégico não são as únicas a afastarem os gestores do uso de árvores de decisão. Outro factor de desconfiança é o facto de esta técnica exigir, para uma aplicação correcta, que o gestor perceba bem qual o papel da função utilidade quando os acontecimentos a planear se apresentam como únicos. Quando um gestor não percebe a finalidade objectiva dessa função, pode ficar facilmente convencido de que os valores óptimos previstos pelo modelo são artificiais e não têm grande aplicação prática em projectos únicos. Por sua vez, é frequente que os analistas, ao porem demasiado ênfase na subjectividade da função utilidade, transmitam uma imagem distorcida desta.

Hoje, existem condições para que as árvores de decisão ganhem de novo a importância que merecem, especialmente em projectos de investimento. Isto fica a dever-se ao refinamento de estudos em planeamento estratégico, por exemplo os respeitantes ao preço do abandono de um projecto e à quantificação das opções e posições, por meio da analogia com o modo como as opções são cotadas nos mercados de capitais (modelo de Black-Scholes)¹.

Além disso, o estudo de meios efectivos de pós-processamento de árvores de decisão com vistas a uma interpretação mais fácil e informativa do modelo, tem sido bastante descuidado como tema de investigação. Existem hoje algoritmos capazes de tornar muito mais sugestiva e útil qualquer árvore de decisão. Trata-se apenas de aplicá-los.

Por isto tudo é de esperar que as árvores de decisão ganhem de novo um lugar em tarefas de planeamento. Elas são a forma natural de descrever a decisão sequencial com incerteza e, pelo menos como base para elaboração posterior, não há nada que as possa substituir.

1

Kester, K. *Today's Options for Tomorrow Growth*. Harvard Business Review, Mar-Apr 1984, pp. 153-184.

64. Conhecimentos requeridos: Para além de noções de finanças da empresa, esta lição supõe o conhecimento e familiaridade com a noção de probabilidade e com os teoremas básicos a ela ligados, incluindo a regra de Bayes e a noção de probabilidade condicional, *a-priori* e *a-posteriori*.

65. Bibliografia: Os livros citados a seguir encontram-se na biblioteca do ISCTE e podem servir para aprofundar conceitos. O primeiro deles tem um cariz prático e aborda numa forma amena muitos problemas da teoria das decisões. Além disso, utiliza exemplos em IFPS, a linguagem de modelação financeira instalada nos laboratórios do ISCTE. O segundo é mais sistemático e mais profundo. Pode ser usado como livro de texto.

S. Bodily. *Modern Decision Making*. McGraw Hill, New York, 1985.

H. Raiffa. *Decision Analysis*. Random House, New York, 1968.

66. É também recomendável a consulta de um excelente trabalho divulgador das árvores de decisão publicado na revista de gestão cuja citação se segue. Esta revista é assinada pela biblioteca do ISCTE.

J. Magee. “Decision Trees for Decision Making”. *Harvard Business Review*, July-August 1964, pages 126–138, and “How to Use Decision Trees in Capital Investment”, September 1964, pages 79–96.

67. Por último, para um maior aprofundamento podem também interessar os textos que a seguir se indicam. O primeiro é uma colectânea de artigos versando os principais temas de investigação em torno das árvores de decisão, da função utilidade e métodos afins. O segundo é um texto orientado para os problemas financeiros, com uma boa discussão da função utilidade. O terceiro contém a descrição de um novo método para interpretação de árvores de decisão em projectos de investimento. E o último explica como as árvores de decisão, quando conjugadas com a noção de opção, podem ajudar a quantificar a flexibilidade dos projectos.

G. Kaufman. *Modern Decision analysis*. Pinguin Books, UK, 1977.

C. Haley and L. Schall. *The Theory of Financial Decisions*. McGraw Hill, New York, 1979.

D. Trigueiros. *Robustez Como Critério de Decisão em Modelos Financeiros Sequenciais*. Dissertação, ISCTE, Lisboa, 1991.

L. Trigeorgis and P. Mason *Valuing Managerial Flexibility*. *Midland Corporate Finance Journal*, vol 5, (1), Spring 1987, pp. 14-21.

Capítulo 4

Valores Esperados e Utilidade

Neste capítulo vai-se aprender a calcular o lucro esperado quando o resultado de uma decisão por parte de um gestor é um *desenlace incerto* de entre vários possíveis. Também se abordará o problema das decisões não repetitivas. Por fim, introduzir-se-á muito sumariamente a noção de utilidade e descrever-se-á a forma de determiná-la em cada caso concreto. Estes conceitos servirão depois, na segunda parte desta lição, para explorar as técnicas conhecidas pelo nome de árvores de decisão.

4.1 Decisão e Desenlaces

Um gestor está a pensar fabricar e vender um novo produto. Ele sabe que esse negócio pode originar um desenlace de entre três possíveis: se a procura do produto for baixa, os prejuízos são de 4.000 milhares (uma dada unidade monetária). Se a procura for média, o lucro é de 3.000; por último, se a procura for alta, o lucro será de 6.000. A verosimilhança de cada desenlace é também conhecida.

68. O gestor tem de resolver se sim ou não irá fazer o negócio. Este acto é um exemplo daquilo a que se chama uma *decisão*. As decisões que os gestores enfrentam são semelhantes ao lançamento de dados ou ao jogo da roleta: antes de jogar, o jogador pode resolver não jogar. Mas uma vez lançados os dados só lhe resta esperar pelo desenlace.

69. Para tomar uma decisão à qual se seguem desenlaces incertos, o gestor tem ao seu dispor os seguintes dados:

O número de desenlaces. O lançamento de dados tem seis possíveis desenlaces. Um deles terá forçosamente que acontecer. Mas o jogo da “moeda ao ar” tem dois. O número total de desenlaces possíveis é usado, juntamente com a verosimilhança de cada desenlace, para calcular a incerteza da decisão.

A verosimilhança de cada desenlace. Certos desenlaces são muito prováveis e outros pouco.

Quando os desenlaces associados a uma decisão são incertos, a verosimilhança de cada um deles pode geralmente ser conhecida. Existem muitas maneiras de expressar verosimilhança. A mais popular é o uso de probabilidades. As probabilidades obtêm-se através da análise da experiência passada.

O valor de cada desenlace. O lucro ou prejuízo que cada possível desenlace origina pode também ser muito variado. Desenlaces há que trazem lucros elevados ao passo que outros originam prejuízos. Não é o mesmo arriscar um milhão ou arriscar mil.

Conhecendo estes três dados o gestor sabe tudo o que é possível saber-se acerca da decisão que tem que tomar. A dificuldade está em interpretar tais dados de forma que eles lhe mostrem qual a decisão aconselhável.

4.2 Cálculo do Valor Esperado

Quando é possível conhecerem-se as probabilidades associadas a cada desenlace, pode calcular-se o *Valor Esperado* de uma decisão. O valor esperado é o valor a que em média essa decisão conduz. Suponha-se que uma dada decisão pode ter dois possíveis desenlaces, A ou B. O desenlace A significaria um lucro de 5.000 e o desenlace B um lucro de 6.000. Mas a probabilidade de que A aconteça é de 8/10 (e portanto a probabilidade de B acontecer é $1 - 8/10 = 2/10$). Qual será o valor esperado dessa decisão?

Uma vez que a probabilidade de 8/10 associada a um desenlace significa que é esperável que 8 ocorrências em cada 10 originem esse desenlace, e semelhantemente para a probabilidade de 2/10, não há dúvida de que, em média, o valor monetário da decisão de correr este risco será:

$$\begin{aligned} \text{VALOR ESPERADO} &= 5.000 \times \frac{8}{10} + 6.000 \times \frac{2}{10} \\ &= 4.000 + 1.200 \\ &= 5.200 \end{aligned}$$

O valor esperado é portanto a média, ponderada pelas probabilidades, dos lucros ou prejuízos de cada desenlace. Quando um gestor tiver que decidir entre diversas alternativas, cada uma delas com o seu conjunto de desenlaces possíveis, ele deve escolher aquela que lhe ofereça o maior valor esperado. Se assim fizer, terá a garantia de que, em média, os seus lucros serão também os maiores possíveis.

70. Suponhamos que existem duas alternativas, o “Projecto X” e o “Projecto Y”, e o gestor deve escolher uma delas. Os desenlaces associados a cada alternativa são:

PROJECTO X		PROJECTO Y	
Probabilidade	Lucro	Probabilidade	Lucro
8/10	5.000	1/10	(2.000)
2/10	6.000	2/10	5.000
		6/10	7.000
		1/10	8.000

Para que possa tomar uma decisão correcta, o gestor deve calcular os valores esperados de cada um dos projectos e optar depois por aquele que lhe oferece um maior valor esperado. Vejamos qual deles seria neste caso o escolhido.

Proj. X:				Proj. Y:			
Prob.	Lucro	V. Esp.		Prob.	Lucro	V. Esp.	
8/10	× 5.000	=	4.000	1/10	× (2.000)	=	(200)
2/10	× 6.000	=	1.200	2/10	× 5.000	=	1.000
				6/10	× 7.000	=	4.200
				1/10	× 8.000	=	800
			<hr/>				<hr/>
			Total = 5.200				Total = 5.800

Portanto, a alternativa a privilegiar seria o “Projecto Y” já que o seu valor esperado é superior ao do “Projecto X”.

71. Resumo. O valor esperado $E(x)$ decorrente de uma decisão envolvendo N possíveis desenlaces será calculado pela fórmula

$$E(x) = \sum_{i=1}^N x_i \times p_i$$

onde x_i e p_i são, respectivamente, o valor e a probabilidade associados com o desenlace i . $E(x)$ é portanto o valor que se obteria em média quando a mesma decisão fosse tomada muitas vezes.

Perante a necessidade de escolher entre as alternativas $1, \dots, j, \dots, M$, o critério é:

$$\text{Escolher a alternativa } j \text{ tal que } E_j(x) = \max$$

Ver-se-á a seguir que o critério do valor esperado, também conhecido pelo nome de critério Bayesiano, não pode ser aplicado com toda a generalidade.

4.3 O Critério do Valor Esperado e as Decisões Repetitivas

No exemplo dado anteriormente, a preferência do projecto Y sobre X, ditada como está pelo critério do valor esperado, não deixaria convencido todo e qualquer gestor. De facto, o desenlace pior possível no caso de X é um lucro de 5.000 ao passo que quem escolhe o projecto Y pode incorrer em

perdas de 2.000. Alguns gestores prefeririam um lucro certo, embora modesto, ao risco de terem prejuízos.

Por outro lado, no caso de Y, existem 70% de hipóteses de que o lucro seja de 7.000 ou mais. Este valor é bastante tentador. Nenhum desenlace do projecto X se aproxima de tal lucro. Alguns gestores quereriam certamente arriscar, tanto mais que uma probabilidade de 70% parece tornar tal lucro verosímil.

72. O que transparece nas observações acima é o facto de, perante decisões únicas, o critério do valor esperado deixar de ser convincente. De facto, uma vez que a decisão sobre a escolha do projecto X ou Y tem que ser feita uma só vez e o desenlace que se seguir, qualquer que ele seja, também acontecerá uma só vez, não parece que um valor esperado — que é o lucro obtido em média se a decisão fosse repetida muitas vezes — possa satisfazer como critério de decisão.

73. Claro que nos problemas em que os desenlaces não são únicos — acontecem mais do que uma vez — o critério do valor esperado é o adequado. Por exemplo, suponhamos que um director de vendas está a tentar decidir se irá ou não organizar um grupo de vendas pelo telefone composto de dez pessoas. Os custos fixos de tal grupo seriam de 80.000 e os custos variáveis seriam 5% das vendas. Os custos variáveis de produção são 65% das vendas. O aumento esperado no volume de vendas anual por cada um destes dez vendedores seria incerto. A verosimilhança de cada possível hipótese de aumento é:

Probabilidade	Incr. Volume de Vendas
4/10	20.000
35/100	30.000
25/100	45.000

O volume de vendas atingido por um qualquer membro do grupo é independente do volume de vendas alcançado pelos outros nove.

Uma vez que existem dez vendedores, o volume de vendas pode ser previsto por meio do critério do valor esperado. E da mesma forma, o facto de este conjunto de desenlaces possíveis se repetir todos os anos, também fará com que o volume de vendas seja aquele que, em média, é atingido.

O valor esperado das vendas por vendedor será:

Probabilidade	Vendas	Valor Esperado
4/10	× 20.000	= 8.000
35/100	× 30.000	= 10.500
25/100	× 45.000	= 11.250
	Total	= <u>29.750</u>

Portanto, cada vendedor irá aumentar as vendas de 29.750 em média.

Uma vez que os encargos variáveis são $65\% + 5\% = 70\%$ das vendas, restam 30% para cobrir os custos fixos. 30% de 29.750 são 8.925 por vendedor. Dez vendedores conseguirão, em média, um lucro de 89.250. Isto cobre os 80.000 de custos fixos. Portanto, existe um lucro incremental de 9.250 e a decisão é de tomar.

74. Se todos os dez vendedores conseguissem apenas vender 20.000 extra, o projecto iria perder 20.000 ao fim de um ano. Porém, a verosimilhança de tal eventualidade é mínima. De facto, como é sabido, a verosimilhança de mais de um desenlace independente pode calcular-se multiplicando as verosimilhanças individuais de cada um deles.

$$\text{Havendo dez vendedores, como } P(1, 20.000) = \frac{4}{10} \text{ ela seria: } P(10, 20.000) = \left(\frac{4}{10}\right)^{10}$$

o que dá menos de um centésimo por cento. Como se vê, onde quer que existam desenlaces repetidos, a tendência para que os valores obtidos sejam, em média, próximos dos esperados é muito forte.

75. Resumo. O critério do valor esperado deve usar-se sempre que as decisões que conduzem a desenlaces incertos são repetitivas. Isto acontece, quer quando o número de sujeitos envolvidos é mais do que um, quer quando o desenlace é obtido para mais de um período.

Desvios em relação ao valor esperado serão tanto menos prováveis quanto maior for a repetição.

4.4 A Função Utilidade

Consideremos a seguinte tabela de incerteza para um dado projecto:

Resultado	Probabilidade	Meios Libertos
Sucesso	8/10	100.000
Insucesso	2/10	(200.000)

O valor esperado é

$$100.000 \times \frac{8}{10} + (-200.000) \times \frac{2}{10} = 40.000$$

Embora o valor esperado seja positivo, há duas hipóteses em dez de que o negócio leve a perdas de 200.000. Um desenlace deste tipo teria consequências sérias para a viabilidade de muitas empresas. Se as perdas de 200.000 forem inaceitáveis, ter-se-á que desistir do negócio. Por outras palavras, o critério do valor esperado deixou de fazer sentido.

Comparemos agora o projecto acima com um outro onde os meios libertos fossem exactamente iguais à quarta parte dos anteriores:

Resultado	Probabilidade	Meios Libertos
Sucesso	8/10	25.000
Insucesso	2/10	(50.000)

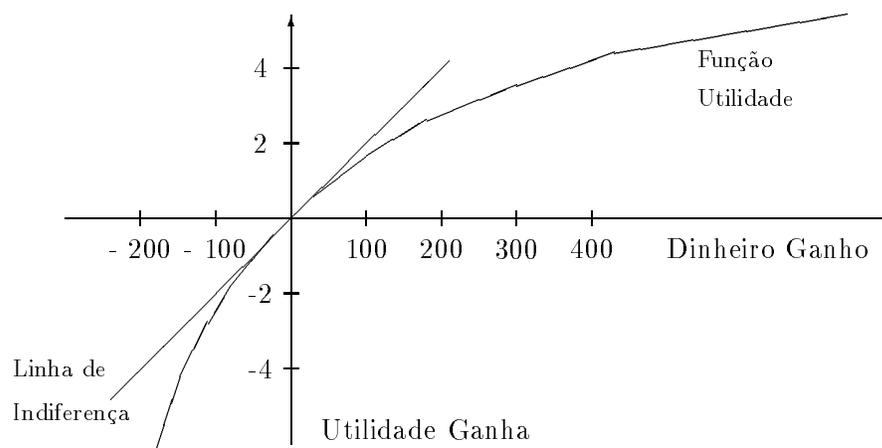


Figura 4.1: A função Utilidade permite medir o efeito real de um ganho ou de uma perda.

O valor esperado é agora 10.000. O mesmo gestor que rejeitou o primeiro projecto poderia agora decidir aceitar este. Um prejuízo de 50.000, embora sério, pode não ser desastroso para algumas empresas. Para este gestor, uma perda de 200.000 é muito mais de quatro vezes pior do que a perda de 50.000. A primeira levaria á liquidação da empresa ao passo que a segunda não inviabilizaria uma recuperação.

76. Existe uma forma tradicional de incorporar o problema acima nos critérios para a tomada de decisões. Consiste em calcular os valores esperados, não em termos de dinheiro mas de *utilidade*. A utilidade é uma variável nova que mede o efeito real de um ganho ou de uma perda na economia de uma empresa.

Consideremos o gráfico da figura 4.1. Este gráfico pode ser usado para converter dinheiro esperado (em abcissas) em utilidade para uma dada empresa. A linha recta a 45° indica a *linha de indiferença*. Se tal linha fosse a função utilidade de uma empresa, seria indiferente usar dinheiro esperado ou utilidade como critério de decisão. Nesse caso era forçoso concluir que, para tal empresa, o montante dos meios libertos incertos não afectava as decisões.

77. Porém, em regra, a função utilidade não é uma linha recta. A figura 4.1 mostra um caso bastante típico de forma da função utilidade. Por ela pode ver-se que as perdas em utilidade são maiores do que as perdas em dinheiro correspondentes; e os ganhos em utilidade são menores do que os ganhos em dinheiro. Perdas de 40.000 têm uma utilidade de -1, o que é um nível de aceitabilidade moderado, ao passo que as perdas da ordem dos 200.000 têm uma utilidade negativa, muito severa, de -5.

Pode a princípio julgar-se estranho que, no caso dos ganhos, a utilidade seja também menor do que o dinheiro esperado. Isto está relacionado com o tamanho da empresa e com a verosimilhança de ganhos ou perdas elevados para a dimensão de cada projecto.

78. Vamos agora ver o que aconteceria ao projecto discutido acima quando o critério da utilidade esperada fosse usado em vez do anterior critério do lucro esperado:

Prob.	Meios Libertos	Utilidade	Utilidade Esperada
8/10	100.000	1	8/10
2/10	(200.000)	-5	-1
			Total: - 2/10

Uma vez que o projecto tem uma utilidade negativa, ele seria rejeitado. Portanto, o uso da função utilidade pode corrigir, em certa medida, a incapacidade do critério do valor esperado para apoiar decisões não repetitivas.

79. Note-se que, sempre que as decisões forem repetitivas, o critério da utilidade esperada deverá degenerar no do valor esperado. Só faz sentido usar utilidade em vez de dinheiro quando as decisões são únicas.

80. Qual é a base para estabelecer uma relação entre dinheiro esperado e utilidade? Esta base só pode ser o interesse da empresa, a sua dimensão e política, vistos pelos olhos do gestor. Portanto, a descoberta da função utilidade apropriada a um problema de decisão exige a objectivação, por parte do gestor, de algo que geralmente as pessoas não estão habituadas a objectivar: aquilo que, no seu ponto de vista, é o risco aceitável para um lucro esperado.

81. O método geralmente empregue para determinar a função utilidade consiste em usar *Jogos de referência*, os quais são comparados com o lucro e o risco de cada desenlace. Os jogos de referência têm apenas dois desenlaces. O analista começa por determinar o pior e o melhor dos desenlaces possíveis no projecto em estudo. Ao pior, ele atribui uma utilidade de zero. Ao melhor, uma utilidade de 1 (pode usar-se qualquer outra escala, por exemplo 0 a 100 ou -5 a +5, como no caso descrito acima). Depois, o analista põe o gestor perante a seguinte questão: se tivesse que escolher entre um lucro *certo* e um jogo de “moeda oa ar” em que, se saísse “caras”, ganhava o valor correspondente ao melhor desenlace do seu projecto mas se saísse “coroas” perdia o equivalente ao pior dos desenlaces, qual seria o valor desse tal lucro certo que o faria desistir do jogo?

Ao responder a esta pergunta o gestor é obrigado a determinar qual o valor que dá ao jogo. Esse valor é conhecido pelo nome de *valor certo equivalente* a desenlaces incertos. A incerteza, neste caso, vem dada pelas probabilidades de sair caras ou coroas: 1/2. Portanto, o valor certo equivalente tem uma utilidade de 1/2. O analista iria marcar na curva de utilidade o valor 1/2 como correspondendo ao lucro certo equivalente (numa escala de 0 a 100 usar-se-ia 50; numa escala de -5 a +5 usar-se-ia o valor zero).

Agora o analista já tem três pontos da curva de utilidade. Para achar outros, basta repetir a pergunta usando a metade superior e a inferior e depois, se for preciso, os quatro quartos. Vejamos um exemplo.

Valor	Util.								
(10)	0	(5)	1/4	5	2/4	18	3/4	40	4/4

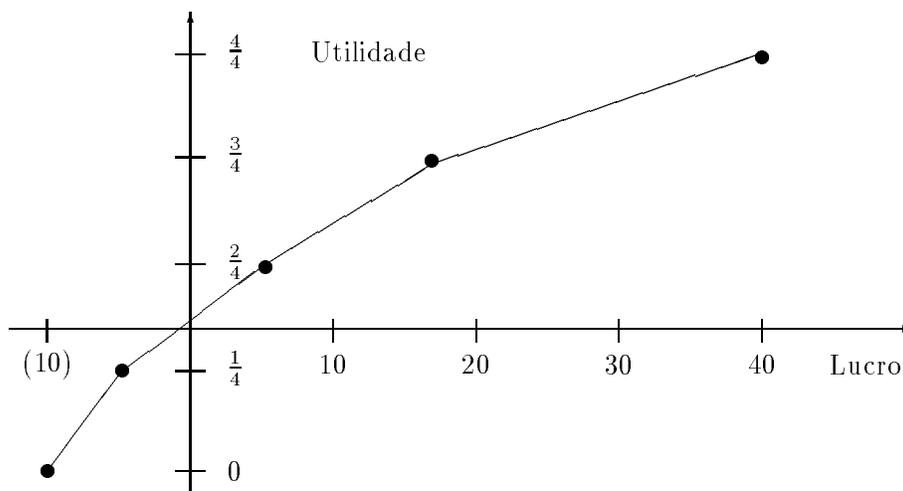


Figura 4.2: Determinação da relação utilidade-lucro para um projecto.

82. Num projecto cujo melhor e pior desenlaces são 40.000 e (10.000) respectivamente, o analista começaria por determinar qual o lucro certo que levaria a firma a desistir de um jogo de moeda ao ar em que, se saísse caras ganharia 40.000 mas se saísse coroas perderia 10.000. Se este lucro fosse 5.000, uma utilidade de $1/2$ corresponderia a 5.000. Depois, o analista determinaria o lucro certo equivalente a um jogo de moeda ao ar com 40.000 de prémio e 5.000 de penalização. Se tal lucro certo fosse 18.000, o lucro de 18.000 teria a utilidade de $3/4$. Por último, o analista acharia o lucro certo equivalente a um jogo com um prémio de 5.000 e uma penalização de 10.000. Se a empresa só jogasse tal jogo caso recebesse de antemão 5.000, o valor certo equivalente seria de (5.000) e esse seria também o valor correspondente a uma utilidade de $1/4$: a empresa pagaria para se livrar do jogo.

O analista está agora de posse de cinco pontos que definem a curva de utilidade da empresa para o projecto em estudo. Esses pontos, e a respectiva representação gráfica, encontram-se na figura 4.2. A curva sobreposta aos pontos pode obter-se por simples interpolação.

Deste modo, conseguiu-se estabelecer a relação entre dinheiro e utilidade, baseada no risco equivalente. Note-se que a posição do eixo das abcissas relativamente ao das ordenadas é arbitrária. Isto decorre do facto da escala usada para medir utilidade ser, ela própria, arbitrária. Na figura 4.2 esse facto foi posto em relevo por meio do deslocamento do ponto de utilidade zero em relação ao ponto de lucro zero.

83. Resumo. Nas decisões que não se repetem, o simples critério do valor esperado deve ser substituído pelo critério da utilidade esperada. A função utilidade descreve, idealmente, a relação existente entre risco e dinheiro ganho no caso concreto de uma empresa.

O lucro certo equivalente é o valor mínimo pelo qual uma empresa estaria disposta a vender uma oportunidade de negócio arriscada, traduzível num jogo de moeda ao ar onde estivessem em causa o lucro máximo e a pior perda desse negócio.

4.5 Atitudes Perante o Risco

Uma característica valiosa da função utilidade é a de permitir ao gestor distinguir entre expectativas e preferências. Passa a ser possível discutir separadamente a validade das previsões e a dos critérios a adoptar perante o risco. Uma expectativa acerca do futuro é geralmente expressa por meio de probabilidades; mas tais medidas podem ser objecto de controvérsia ou revisão no seio da empresa. Não existindo a função utilidade, a cada reajuste da verosimilhança dos desenlaces teria que seguir-se uma nova discussão sobre o interesse do projecto.

Uma preferência, critério ou política da empresa em face do risco pode, com a existência da utilidade, ser discutida em termos dessa mesma utilidade, independentemente da validade ou acerto das probabilidades encontradas. A utilidade torna objectivável o critério de uma empresa perante o risco. Vão-se descrever brevemente os principais critérios perante o risco.

84. A diferença entre o valor esperado do jogo e o valor certo equivalente chama-se o *prémio do risco*. Se uma empresa se mostra indiferente entre receber 1.000 ou atirar uma moeda ao ar e arriscar-se a ganhar 10.000 ou a perder 5.000, o prémio do risco para esse ponto da sua função utilidade é

$$\left(\frac{1}{2} \times 10.000 - \frac{1}{2} \times 5.000 \right) - 1.000 = 2.500 - 1.000 = 1.500$$

Para tal empresa, um lucro certo de 1.000 é tão tentador como um lucro esperado mas incerto de 2.500. O prémio do risco é portanto o dinheiro de que uma empresa está disposta a abrir mão para evitar o risco de perder.

85. Quando o prémio do risco de uma empresa é sempre positivo para jogos com qualquer parada, diz-se que a sua política mostra *aversão ao risco*. Neste caso, quanto maior for o prémio do risco exigido para aceitar um jogo, maior é a aversão. Quando, pelo contrário, o valor certo equivalente excede o valor monetário esperado — e portanto o prémio do risco é negativo —, diz-se que a política de uma empresa é *afim ao risco*. Ainda pode dar-se o caso de um gestor ou uma empresa serem *indiferentes ao risco*, quando o valor certo equivalente iguala o valor esperado. Em tal caso, a função utilidade seria desnecessária.

A função utilidade é côncava no caso de aversão ao risco e convexa quando existe afinidade. Havendo indiferença, a utilidade é uma linha recta. A figura 4.3 ilustra estas três possibilidades.

86. Não há razão para que uma empresa não seja avessa ao risco numa região da sua função utilidade e afim em outra. Por exemplo, uma curva em S mostraria aversão ao risco para montantes

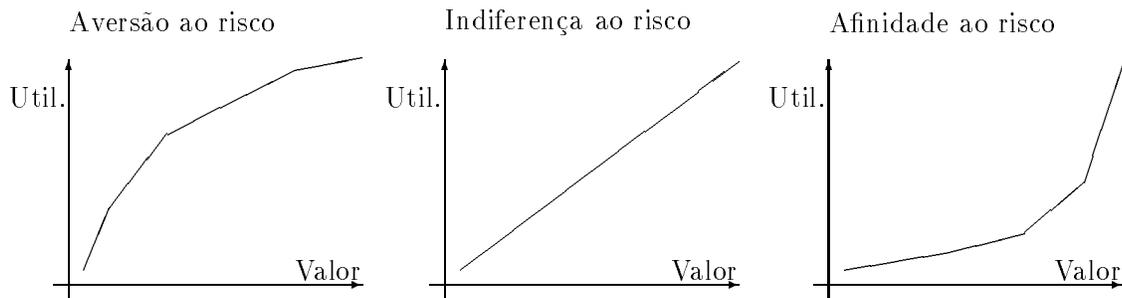


Figura 4.3: A forma da função utilidade em cada uma das três atitudes perante o risco.

elevados e afinidade para montantes pequenos. A maioria das empresas, porém, tendem a ser avessas ao risco perante qualquer montante que esteja em jogo. Há uma boa razão para isso: se uma empresa fosse afim ao risco em todos os seus projectos, perderia dinheiro — em média — já que estaria a pagar, várias vezes seguidas, mais do que o valor esperado desses projectos. A longo prazo, a afinidade ao risco conduz à ruína.

87. Quando numa empresa a aversão ao risco é a mesma, seja qual for o montante em jogo, a função utilidade é logarítmica. Diz-se neste caso que existe uma aversão *constante* ao risco. O caso mais comum é porém a aversão *decrecente*. Dá-se quando o prémio do risco decresce regularmente com jogos que são idênticos excepto no facto de que se vai somando um valor constante ao desenlace. A próxima tabela ilustra este tipo de aversão decrescente.

Desenlace		Valor Esperado	Valor Certo Equivalente	Prémio do Risco
(10.000),	0	(5.000)	(6.339)	1339
0,	10.000	5.000	4.365	635
10.000,	20.000	15.000	14.580	420
20.000,	30.000	25.000	24.686	314

A equação capaz de modelar uma utilidade deste tipo é

$$\text{Utilidade} = \log (\text{valor monetário} + A)$$

em que A estabelece o grau de aversão ao risco. Um A elevado significa menor aversão. Muitos investidores parecem reger-se pelo critério acima. Isto pode ter uma explicação no facto de a riqueza tornar as pessoas menos cautelosas e mais propensas a arriscar mas não a ponto de as transformar em afins ao risco.

88. Resumo. Há três atitudes perante o risco: aversão, afinidade e indiferença. Nas empresas, a mais corrente é a aversão. Uma função utilidade de forma côncava indica aversão ao risco. O tipo mais comum de aversão ao risco é a aversão decrescente logarítmica.

Capítulo 5

Árvores de Decisão

As árvores de decisão são diagramas capazes de enumerar todas as possibilidades lógicas de uma sequência de decisões e ocorrências incertas. Elas mostram esquematicamente todo o conjunto de acções alternativas e acontecimentos possíveis ao longo de um projecto.

5.1 O Elemento Básico de Uma Árvore de Decisão

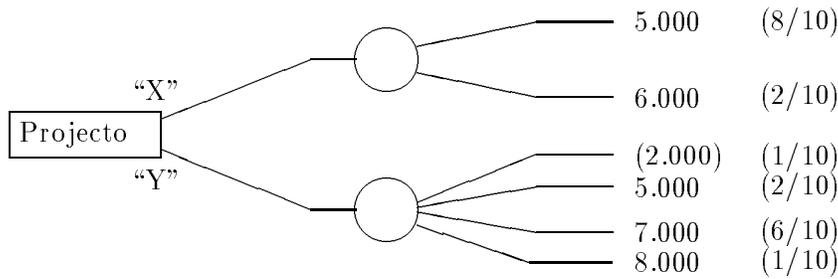
Ao ser introduzido o critério do máximo valor esperado (secção 4.2), fez-se alusão a um problema que já continha o elemento básico de qualquer árvore de decisão. Nessa altura supôs-se que um gestor era chamado a decidir qual das duas alternativas, o “Projecto X” ou o “Projecto Y”, deveria ser escolhida. Os desenlaces incertos associados a cada uma destas alternativas podem ver-se na figura 5.1, na página 84.

A árvore de decisão correspondente a este problema seria a que aparece na mesma figura, em baixo. Cada uma das possíveis decisões que o gestor pode tomar é um “ramo” desta árvore. Estes, por sua vez, dividem-se em “folhas”, cada uma contendo um dos possíveis desenlaces incertos. O conjunto forma portanto uma estrutura hierárquica onde fica esquematicamente representado o universo de decisões e desenlaces que o gestor enfrenta.

89. As árvores de decisão podem ser muito complexas em estrutura mas são sempre feitas a partir de três elementos simples, já presentes no caso que a figura 5.1 documenta. Esses elementos são:

Uma estrutura hierárquica: Chama-se estrutura hierárquica àquela em que existe um só tronco principal do qual saem os ramos. Cada ramo, por sua vez, é uma pequena estrutura hierárquica. Este tipo de estrutura decorre do facto de as árvores de decisão descreverem *sequências* de acontecimentos no tempo. Os primeiros condicionam os seguintes.

Uma colecção de atributos: Nos pontos onde o tronco se divide ou onde os ramos se subdividem, aparecem as variáveis do problema, isto é, os factores conhecidos como capazes de influenciar o desenlace. Estes atributos são de dois tipos:



Projecto X		Projecto Y	
Probabilidade	Lucro	Probabilidade	Lucro
8/10	5.000	1/10	(2.000)
2/10	6.000	2/10	5.000
		6/10	7.000
		1/10	8.000

Figura 5.1: Um elemento básico de qualquer árvore de decisão. A uma decisão de um gestor (“X” ou “Y”) segue-se um desenlace incerto de entre os possíveis. As probabilidades associadas a cada um destes desenlaces aparecem entre parêntesis.

Decisões que o gestor pode vir a tomar numa dada altura. São geralmente representadas por rectângulos. Na árvore da figura 5.1, existe um atributo que é uma decisão: A escolha entre o projecto X ou Y.

Ocorrências, também conhecidas como “jogadas da natureza”, que são acontecimentos incertos (podem ser uma entre várias hipóteses) que o gestor não domina mas acerca dos quais conhece as probabilidades de ocorrência. Costumam representar-se por meio de um círculo. Na figura 5.1, existem dois atributos que são ocorrências ou jogadas da natureza e que se seguem à tomada de uma decisão por parte do gestor.

Uma colecção de desenlaces: Cada desenlace tem um valor associado, o lucro ou perda que o gestor enfrenta se ele se der. Na figura 5.1 existem seis possíveis desenlaces e respectivos valores.

Qualquer problema de decisão sequencial pode caracterizar-se por estes três elementos. O primeiro deles, a estrutura hierárquica, determina a complexidade aparente do problema.

5.2 Cálculo do Valor Esperado em Árvores de Decisão

Uma árvore de decisão permite usar os critérios descritos na primeira parte desta lição, mas com generalidade. O gestor deixa de estar confinado a problemas simples, com poucos atributos. Por mais complicados que pareçam as estruturas de decisão, os princípios são idênticos aos vistos na primeira parte deste estudo. As árvores de decisão servem para facilitar o estudo lógico do

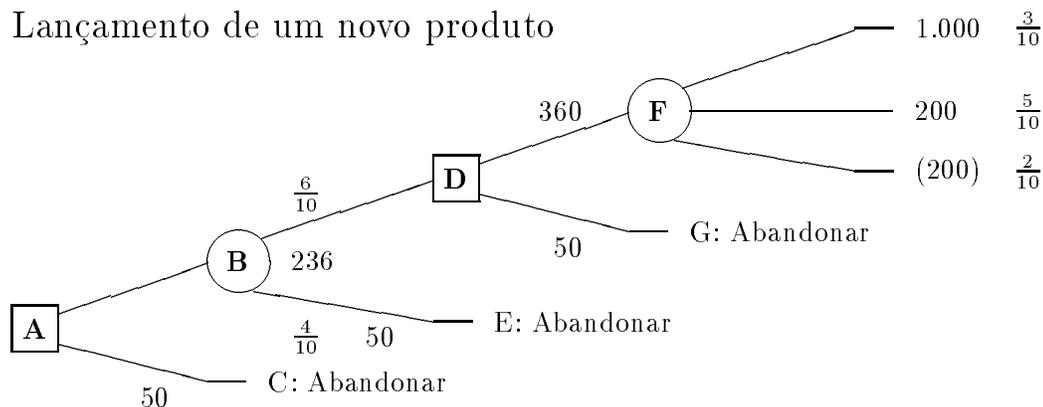


Figura 5.2: Árvore de decisão para o lançamento de um novo produto.

problema e os cálculos, mas não introduzem modificações nos procedimentos e raciocínios próprios destes problemas.

90. Uma empresa tem em estudo um novo produto do qual os gestores esperam grandes coisas. De momento, eles têm duas possíveis acções a seguir: fazerem um teste de venda do produto, ou abandoná-lo. Se resolvem testá-lo, isto custar-lhes-á 100.000 e a resposta do público pode ser positiva ou negativa, com probabilidades de $6/10$ e $4/10$ respectivamente.

Se se der uma resposta positiva, então os gestores terão que decidir se abandonam a produção ou o produzem em grande escala. No caso de decidirem produzir em grande escala, a resposta do público pode ser baixa, média ou alta, com probabilidades $2/10$, $5/10$ e $3/10$ respectivamente. Uma resposta baixa iria cifrar-se em perdas de 200.000. Uma resposta média originaria lucros de 200.000. E uma resposta elevada criaria lucros de 1.000.000.

Se o resultado do teste de mercado é negativo, os gestores já decidiram que abandonariam o produto. Onde quer que os gestores decidam abandonar o produto, há sempre um lucro de 50.000 por venda de material.

Todos os valores apresentados encontram-se já descontados: são valores actuais.

91. A árvore de decisão correspondente à descrição acima encontra-se na figura 5.2 na página 85. Ela vai-nos permitir ilustrar o método de cálculo do valor esperado. Tal método consiste simplesmente em, a partir dos desenlaces, ir calculando os valores esperados intermédios até chegar ao tronco.

Assim, neste caso, o valor esperado para o atributo F será calculado com base nos desenlaces:

Probabilidade	Valor Esperado
$3/10$	$\times 1.000.000 = 300.000$
$5/10$	$\times 200.000 = 100.000$
$2/10$	$\times (200.000) = (40.000)$
	Total G: $= 360.000$

Agora vão-se calcular *para trás* os restantes valores esperados. Uma vez que o valor do abandono é 50.000, o valor esperado em F é maior. Portanto, a decisão a tomar em D é a de avançar com a produção em massa. E sendo assim, o valor esperado em D é o mesmo que em F.

O atributo B é uma jogada da natureza. Os desenlaces intermédios são uma procura fraca do produto que está a ser testado — o que originaria o seu abandono — ou uma procura elevada, o que originaria um valor de 360.000 — o valor esperado da sua produção em massa. Vamos calcular o valor esperado da forma habitual.

Probabilidade	Valor Esperado
6/10	$\times 360.000 = 216.000$
4/10	$\times 50.000 = 20.000$
Total B:	$= \underline{236.000}$

Portanto, a decisão aconselhada pela árvore — quando o critério usado é o do valor monetário esperado — é de avançar com o teste já que o valor esperado do ramo A-B é de 136.000 (236.000, subtraído do custo do teste) ao passo que o valor do ramo A-C é apenas de 50.000. O gestor, nesta fase, tem a liberdade de decidir se sim ou não aceita o resultado desta análise. Depois de decidir testar, poderá sempre abandonar o produto se a procura não for encorajadora. Nesse caso ele iria perder menos 50.000 do que os prejuízos.

92. Recorde-se que o critério do valor esperado é de discutível interesse quando as decisões não são repetitivas. Estudando atentamente o método seguido no caso acima, fica claro que os valores esperados não representam nada de real e não serão atingidos nunca. Só quando os percursos descritos pela árvore de decisão são trilhados várias vezes, irá o gestor obter, em média, os valores semelhantes aos esperados.

93. Como vimos, o uso de utilidade em vez de dinheiro pode, em certa medida, mitigar este problema. As árvores de decisão que usam utilidade calculam-se da mesma forma. Apenas os desenlaces são expressos em utilidade e não em dinheiro. Como consequência, os valores esperados intermédios virão também em utilidade. O exemplo seguinte ilustra o uso da função utilidade em árvores de decisão.

94. Um agricultor tem que decidir se aceita ou rejeita um contrato segundo o qual os seus lucros irão depender da qualidade da colheita em duas zonas, A e B. A sua árvore de decisão encontra-se na figura 5.4 (página 88).

É fácil de ver que a decisão de aceitar o contrato tem um valor esperado de 33.500 ao passo que a decisão de rejeitá-lo tem um valor esperado de 35.100. Portanto, parecia que o agricultor não deveria aceitar o contrato.

Mas o agricultor não está satisfeito. Ele pensa que não faz sentido neste caso tomar decisões com base em valores médios uma vez que as colheitas a que o contrato se refere só vão acontecer nesse

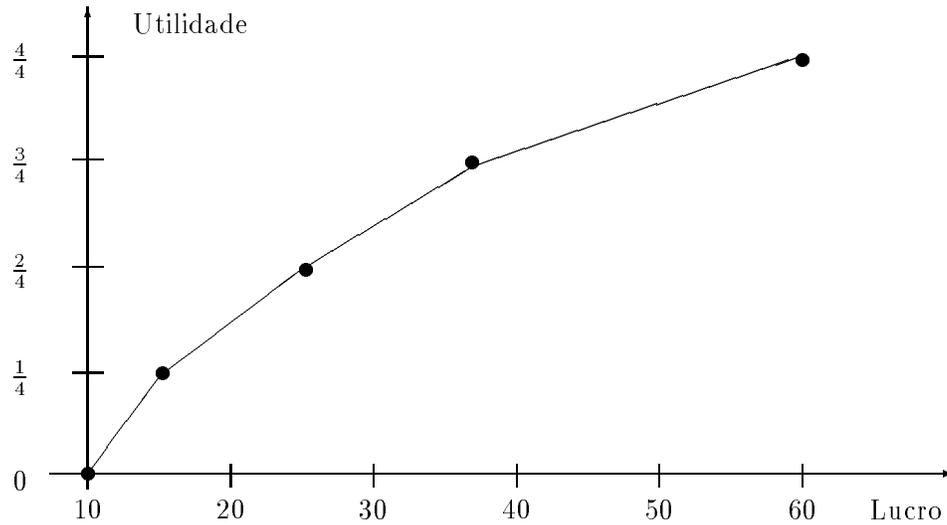


Figura 5.3: Função utilidade que reflecte a relação risco - lucros no caso de um agricultor.

ano. Assim, o analista encarregado do estudo resolve determinar a função utilidade do agricultor para essa situação.

Depois de aplicar a técnica descrita na primeira parte desta lição, o analista fica de posse da função utilidade descrita pela figura 5.3 na página 87.

A árvore de decisão é de novo calculada mas agora, em vez dos desenlaces serem expressos em dinheiro, são-no em utilidade. Como se vê pela figura 5.5 (na página 89) a acção com mais utilidade esperada é agora aceitar o contrato.

O uso da utilidade sugere, neste caso, a decisão oposta à do valor esperado. Isto deve-se à forma avessa ao risco da utilidade do agricultor, o que faz com que a rejeição do contrato, mais arriscada, seja penalizada mais fortemente do que a aceitação. Note-se que, apesar da utilidade parecer muito semelhante, os lucros certos equivalentes para cada alternativa têm um valor monetário bem diferente.

95. Resumo: As árvores de decisão compõem-se de estrutura hierárquica, que pode ser simples ou complexa; atributos, que podem ser decisões ou jogadas da natureza; e desenlaces, que podem ser discretos ou de evolução contínua.

O valor esperado dos lucros ou da utilidade calcula-se resolvendo a árvore no sentido inverso ao desenrolar dos acontecimentos. Este método pode ajudar a decidir qual o movimento do gestor que mais plausivelmente conduz ao resultado desejado.

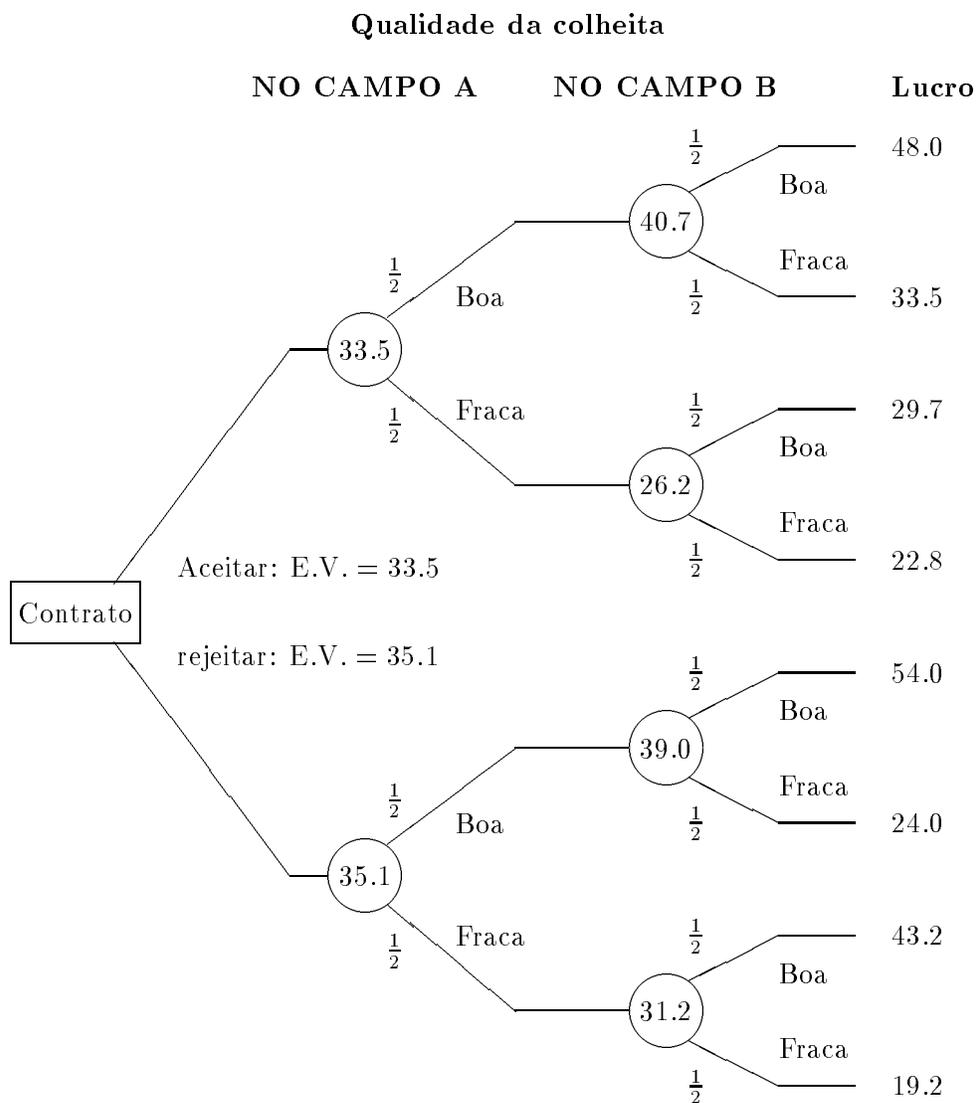


Figura 5.4: Árvore de decisão representando a sequência lógica que se segue ao acto de aceitar ou rejeitar um contrato de venda de colheitas. Primeiro critério: Maximização dos lucros esperados.

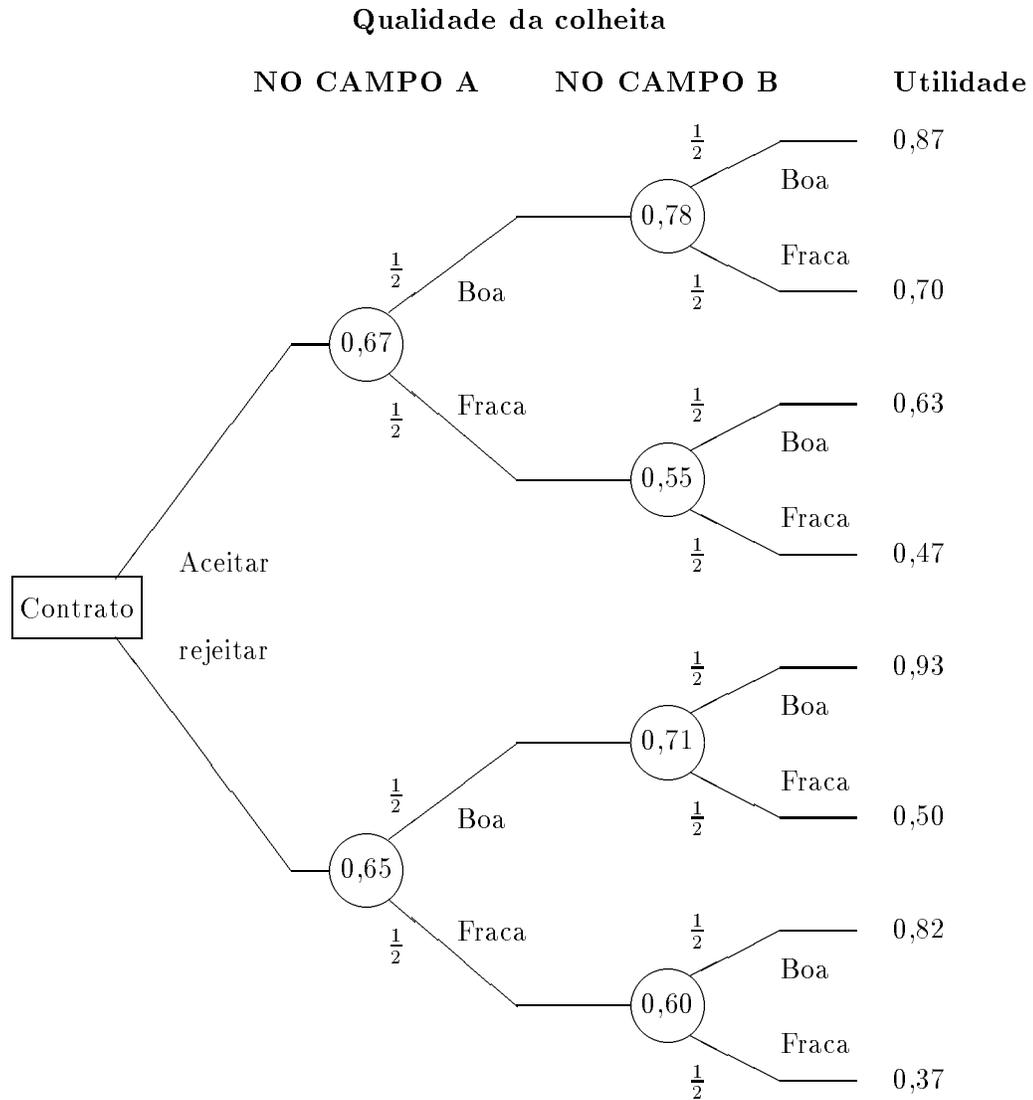


Figura 5.5: Árvore de decisão representando a sequência lógica que se segue ao acto de aceitar ou rejeitar um contrato de venda de colheitas. Segundo critério: Maximização da utilidade esperada.

Capítulo 6

O valor da informação

O conhecimento antecipado do desenlace que se segue a uma decisão, faria com que o gestor pudesse escolher a decisão mais lucrativa com a certeza de acertar. Portanto, qualquer gestor estaria disposto a pagar um dado preço por possuir tal informação.

Vamos ver a forma como o critério do valor esperado avalia o valor da informação em dois casos possíveis: quando o gestor possui informação perfeita sobre o futuro e quando possui apenas informação incompleta (probabilística).

6.1 Informação perfeita

Uma empresa tem três projectos possíveis para investir. Cada um deles daria origem a determinados lucros. Mas os lucros dependem da situação do mercado. O mercado pode vir a ter um dos três estados seguintes: Estado 1, com uma verosimilhança de $5/10$. Estado 2, com $2/10$; e estado 3, com $3/10$. Os desenlaces, em termos de lucro e dos estados possíveis do mercado, seriam:

Projecto	Lucro consoante o mercado		
	estado 1	estado 2	estado 3
A	75	20	5
B	45	80	55
C	60	60	45

Qual dos projectos deveria ser escolhido se o critério do valor esperado fosse considerado aceitável? E qual o valor, para a empresa, da informação perfeita acerca do futuro estado do mercado?

Calculemos o valor esperado de cada projecto em face da incerteza do mercado:

Estado do Mercado	Prob.	Projecto A		Projecto B		Projecto C	
		Lucro	V. Esp.	Lucro	V. Esp.	Lucro	V. Esp.
1	5/10	75	37.5	45	22.5	60	30.0
2	2/10	20	4.0	80	16.0	60	12.0
3	3/10	5	1.5	55	16.5	45	13.5
Total:		43.0		55.0		55.5	

O projecto C deveria pois ser o escolhido já que apresenta o maior valor esperado.

96. Com informação sobre o futuro estado do mercado, esta empresa teria escolhido o projecto mais rentável para esse estado: se o estado 1 fosse o previsto, o projecto A é o que deveria ser escolhido. Nesse caso, o lucro seria de 75. Se o estado 2 fosse o previsto, então o projecto a escolher deveria ser o B e o lucro seria de 80. Por último, se o estado 3 fosse o previsto, também se deveria escolher o projecto B e o lucro seria de 55.

O valor esperado dos lucros, no caso de informação perfeita, seria portanto:

Projecto	lucro	Prob.	V. Esp.
A	75	5/10	37.5
B	80	2/10	16.0
B	55	3/10	16.5
Total:		70.0	

Uma vez que o valor esperado dos lucros sem informação perfeita era de 55.5 (projecto C), o valor da informação perfeita seria o incremento do valor esperado que se obteria por dispôr dessa informação. Neste caso, o incremento é de $70 - 55.5 = 14.5$: um gestor estaria disposto a pagar até um máximo de 14.500 em estudos de mercado que lhe permitissem conhecer com certeza o seu estado no futuro próximo.

97. Pode argumentar-se que, neste caso concreto, o uso do critério do valor esperado não parece convincente: se a informação é perfeita, que lógica há em considerar probabilidades? Uma probabilidade denota informação imperfeita.

As probabilidades, aqui, denotm frequências esperadas. É esperável que o estado 1 aconteça, em media, umas 50 em cada 100 vezes, originando um lucro de 75 com o projecto A, de cada vez que sai. É esse o sentido do uso de probabilidades.

É interessante notar que o projecto C, aquele que o seria escolhido sem informação perfeita, nunca seria escolhido caso o gestor possuísse um completo conhecimento do mercado no futuro. A razão para tal é o facto de C ser o melhor projecto em média — mas ser o pior quando se consideram os desenlaces individuais.

98. Em muitas situações o critério de maximização do valor esperado é válido por si, sem necessidade de recorrer à determinação da função utilidade. Isto dá-se sempre que os fenómenos em estudo são repetitivos. Vejamos um exemplo de cálculo do valor da informação perfeita neste caso.

99. Uma empresa de assistência marítima instalou recentemente nova maquinaria em todos os estaleiros onde tem clientes. Mas ainda não decidiu qual a quantidade a encomendar de certas peças suplentes necessárias para reparar essas novas máquinas. As peças custam 2.000 cada uma mas só estão disponíveis se forem encomendadas agora. Quando uma máquina se avaria e não há peças suplentes disponíveis, o preço do conserto por fora sobe para 15.000. Cada instalação tem uma vida útil de dez anos e a distribuição de probabilidades de avarias durante este tempo, baseada na experiência de outras instalações semelhantes, é próxima da distribuição de Poisson. Pode tomar-se a seguinte tabela como uma aproximação aceitável.

N. de avarias durante dez anos	Probabilidade
0	0,1
1	0,4
2	0,3
3	0,1
4	0,1
5 ou mais	nula

Ignorando os descontos para valores actuais, pretende-se saber: Qual o valor esperado do número de avarias durante o período de dez anos por estaleiro. Qual o número óptimo de peças suplentes que devem ser encomendadas já, por estaleiro. O valor de uma informação perfeita acerca do número de avarias nesses dez anos.

O número esperado de avarias calcula-se como de costume:

Probabilidade		Número de avarias		Número esperado
0,1	×	0	=	0
0,4	×	1	=	0,4
0,3	×	2	=	0,6
0,1	×	3	=	0,3
0,1	×	4	=	0,4
		Total avarias:	=	<u>1,7</u>

São esperadas 1,7 avarias por estaleiro durante o período de dez anos. Vai-se agora construir a tabela que relaciona as quantidades compradas com o número de avarias em termos de custos. Assim, se num estaleiro foram compradas à partida 3 peças e o número de avarias foi de zero nos

dez anos, o custo é de 6.000 — correspondente ao preço das peças suplentes. Mas se só foram compradas duas peças suplentes e o número de avarias é três, então o custo sobe para 19.000: 4.000 do custo de duas peças e mais 15.000 devido a um arranjo fora. Como resultado deste raciocínio, a referida tabela é:

Peças a Comprar	N. de avarias				
	0	1	2	3	4
0	0	15.000	30.000	45.000	60.000
1	2.000	2.000	17.000	32.000	47.000
2	4.000	4.000	4.000	19.000	34.000
3	6.000	6.000	6.000	6.000	21.000
4	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000

E a partir desta tabela, sabendo as probabilidades associadas a cada desenlace, podem calcular-se os valores esperados de todas as possibilidades referidas acima. Esse valor esperado aparece na coluna de totais da próxima tabela.

Peças a Comprar	Probabilidades e n. de avarias					Total
	0,1 0	0,4 1	0,3 2	0,1 3	0,1 4	
0	0	6.000	9000	4.500	6000	25.500
1	200	800	5.100	3.200	4.700	14.000
2	400	1.600	1.200	1.900	3.400	8.500
3	600	2.400	1.800	600	2.100	7.500
4	800	3.200	2.400	800	800	8.000

Conclui-se portanto que a solução mais barata em média — a que conduz ao menor valor esperado — consiste em comprar três peças suplentes agora. Note-se que, embora o valor esperado do menor custo seja 7.500, o custo imediato seria de 6.000. O restante é o dinheiro que, em média, é preciso desembolsar devido ao facto de que podem ser precisas mais de três peças.

100. Com informação perfeita, cada estaleiro compraria um número de peças suplentes igual ao número de avarias que sabia ia ter de enfrentar. Tudo se passaria como se, nas tabelas acima, a coluna “comprar” e a coluna “n. de avarias” fossem a mesma. Os custos, em cada caso, seriam sempre 2.000 a multiplicar pelo número de peças.

O valor esperado dos custos viria portanto dado por:

Probabilidade	Custo	Custo esperado
0,1	× 0 =	0
0,4	× 2.000 =	800
0,3	× 4.000 =	1.200
0,1	× 6.000 =	600
0,1	× 8.000 =	800
	Total: =	<u>3.400</u>

e o valor máximo da informação perfeita seria a diferença entre os custos mínimos esperados sem informação, 7.500, e os custos esperados com informação, que são 3.400. A informação vale pois 4.100.

101. Resumo: Um conhecimento certo acerca do futuro desenlace permite ao gestor escolher a melhor alternativa em vez da melhor alternativa em média. O valor dessa informação dita perfeita será a diferença entre os lucros esperados antes e depois de conhecido o desenlace futuro.

6.2 Informação incompleta

A informação é um bem e tem um custo. A estimativa do custo da informação perfeita a que os problemas anteriores se referem, deveria ajudar o gestor a decidir se sim ou não valeria a pena enfrentar os custos da obtenção de tal informação sobre o desenlace. Na prática, porém, a informação acerca do futuro nunca é perfeita. As análises do mercado ou os testes-piloto podem acertar ou errar. Isto, independentemente da sua qualidade, porque não há meio de conhecer o futuro com certeza.

Daí que a informação sobre o futuro é sempre *imperfeita* e sê-lo-á tanto mais quanto mais longe se tenha pretendido ver.

102. Quando se conhece a medida em que a informação conseguida é imperfeita, isto é, quando é possível quantificar a incerteza que tal informação não removeu, pode também calcular-se o valor — e portanto o máximo preço a pagar — por essa informação imperfeita. Este problema requer considerações Bayesianas para a sua resolução. Deve entrar-se em linha de conta com a noção de probabilidades a-posteriori, contida no teorema de Bayes.

103. Uma empresa quer lançar no mercado um novo produto mas não há a certeza de que será vendível. As hipóteses de sucesso dependem do estado do mercado e conhecem-se as seguintes probabilidades a priori:

Estado do mercado	Probabilidade a-priori	Lucro ou perda
Mau	0,3	(30.000)
Normal	0,5	10.000
Bom	0,2	40.000

O valor esperado dos lucros seria:

Probabilidade	Lucro	Lucro esperado
0,3	× (30.000)	= (9.000)
0,5	× 10.000	= 5.000
0,2	× 40.000	= 8.000
	Total:	= <u>4.000</u>

A administração acha que seria vantajoso dispôr de mais alguma informação sobre o mercado, a fim de tomar uma decisão mais abalizada. Pensa-se que um bom estudo do mercado seria capaz de fornecer informação imperfeita da forma que a seguir se mostra:

Se o estudo indicar	O estado do mercado é:		
	Mau	Normal	Bom
Mau	0,8	0,2	
Normal	0,2	0,6	0,2
Bom		0,3	0,7

Quer dizer, se o estudo aponta para um mercado mau, a probabilidade de que ele seja mesmo mau é de 0,8. Se o estudo diz que o mercado estará normal, a probabilidade de que ele esteja mesmo normal é de 0,6, ao passo que as probabilidades de que ele seja bom ou mau são de 0,2 ambas — e por aí fora.

104. O problema agora consiste em saber quais as probabilidades do mercado ser bom, normal ou mau, *depois* dos resultados do estudo serem conhecidos. São estas as probabilidades ditas *a posteriori*, por englobarem duas fontes de informação: O conhecimento incerto que do mercado têm os gestores antes do estudo (conhecimento dito *a priori*), mais o acréscimo em conhecimento que o estudo trás consigo (dito *condicional*).

As probabilidades *a posteriori* calculam-se (neste caso) multiplicando as probabilidades correspondentes a acontecimentos subsequentes. A tabela seguinte mostra este cálculo e as probabilidades a-posteriori obtidas.

Probabilidade a-priori	Estado do Mercado	O estudo diz:		Probabilidade a-posteriori
		Estado	Probabilidade	
0,3	Mau	Mau	0,8	0,24
		Normal	0,2	0,06
0,5	Normal	Mau	0,2	0,10
		Normal	0,6	0,30
		Bom	0,2	0,10
0,2	Bom	Normal	0,3	0,06
		Bom	0,7	0,14
Total:				1,00

Portanto, a probabilidade de o mercado ser mau quando o estudo diz que ele vai ser mau é de 24 hipóteses em 100. E a probabilidade de ele ser mau quando o estudo aponta para um mercado normal é de apenas seis hipótese em 100.

105. As probabilidades a-posteriori podem agrupar-se por soma. Se o gestor desta empresa desejar saber qual a probabilidade de o mercado ser normal ou bom quando o estudo aponta para um desenlace não-mau (normal ou bom) pode obter tal informação somando todas as probabilidades que obedecem ao seu critério: $0,30 + 0,10 + 0,06 + 0,14 = 0,60$.

106. Assume-se, é claro, que o estudo do mercado irá determinar se sim ou não o produto vai ser lançado. Um resultado do estudo que apontasse para um mercado mau levaria a empresa a cancelar a comercialização do produto. Sendo assim, a decisão de lançar o produto está ligada apenas a duas situações: O estudo indicar um mercado normal, ou indicar um mercado bom. Vamos ver qual é o lucro esperado neste caso.

O estudo Indicava	O mercado mostrou ser	A decisão foi de	Prob.	Lucro	Valor Esperado
Mau	Mau ou Normal	Não lançar		0	0
		" "		0	0
Normal	Mau	Lançar	0,06	(30.000)	(1.800)
	Normal	" "	0,30	10.000	3.000
	Bom	" "	0,06	40.000	2.400
Bom	Normal	" "	0,10	10.000	1.000
	Bom	" "	0,14	40.000	5.600
Total:			1,00		10.200

Uma vez que o valor esperado do lucro com informação imperfeita é de 10.200 e o seu valor esperado sem informação é de 4.000, conclui-se que a informação vale 6.200 e um gestor estará desejoso de pagar até esse limiar para obtê-la.

107. Resumo: Um acréscimo em informação acerca do desenlace traduz-se num novo conjunto de probabilidades ditas a-posteriori. O valor de tal acréscimo em informação será a diferença entre os dois lucros esperados: antes e depois da nova informação.

Capítulo 7

A decisão sem informação *a priori*

Este capítulo estuda os critérios de decisão a aplicar quando não existe informação *a priori* sobre os desenlaces futuros. Nos capítulos anteriores viu-se como, perante desenlaces incertos mas sobre os quais era possível conhecer a verosimelhança de cada um, podíamos calcular lucros esperados ou utilidade esperada. A melhor decisão seria aquela com maiores lucros ou utilidade esperada. Agora estudar-se-á a situação em que nem sequer tais verosimelhanças são conhecidas.

De notar que a ausência de informação sobre o futuro (o caso que agora iremos abordar) é diferente de uma situação de máxima incerteza, quando as probabilidades associadas a desenlaces futuros são conhecidas mas, por serem todas iguais, não veiculam qualquer informação. No segundo caso sabe-se que a incerteza é máxima; no primeiro, pode um dos desenlaces ser altamente provável sem que esse facto seja conhecido.

7.1 Possíveis critérios de decisão

Um gestor está a pensar fabricar e vender um novo produto. Ele terá que decidir entre três alternativas: o “Projecto A”, o “Projecto B” e o “Projecto C”. O gestor deve escolher uma delas, sabendo que a procura do produto, no futuro, poderá ser baixa, mediana ou elevada. Os desenlaces associados a cada alternativa para cada um dos três cenários futuros são:

Projecto	Procura baixa	Procura mediana	Procura elevada
A	(1.000)	5.000	10.000
B	(500)	1.000	5.000
C	(2.000)	4.000	20.000

Assim, para cada escolha do gestor, o negócio pode originar um desenlace de entre três possíveis: se a procura do produto for baixa, os prejuízos podem ir desde 500 a 2.000 milhares (uma dada unidade monetária) segundo a escolha feita. Se a procura for média, o lucro é pode ir de 1.000 a

5.000 segundo a escolha feita; por último, se a procura for alta, o lucro variará entre 5.000 e 20.000 segundo a escolha que o gestor tenha feito.

A verosimilhança de cada desenlace é desconhecida: pode ser que o desenlace A seja altamente provável, mas o gestor ignora esse facto. O gestor terá pois de decidir qual dos três projectos, A, B ou C, deve adotar, mas sem qualquer informação *a priori* sobre o futuro.

Ao contrário da decisão na presença de informação *a priori* sobre a verosimilhança dos desenlaces, no caso de incerteza absoluta nenhum critério para a tomada de decisão é universalmente aceite. Os autores dividem-se, favorecendo um entre quatro possíveis critérios. São eles

MAXIMIN ou critério *pessimista*, proposto por Wald (1950);

MAXIMAX ou critério *optimista*, proposto por Hunwicz (1951);

MINIMAX ou critério do *lamento mínimo*, proposto por Savage (1951);

Razão insuficiente ou critério de Laplace.

Cada um destes critérios poderá conduzir a decisões diferentes, isto é, à escolha de um projecto em vez de outro.

7.2 O critério MAXIMIN ou pessimista

Segundo Wald (1950) o decisor deve optar pelo projecto que, de entre os cenários mais pessimistas, é capaz de oferecer o maior lucro. Assim, no caso do exemplo acima,

Projecto	Procura baixa	Procura mediana	Procura elevada
A	(1.000)	5.000	10.000
B	(500)	1.000	5.000
C	(2.000)	4.000	20.000

o pior cenário é a procura ser baixa; e o melhor lucro para tal cenário é aquele que o projecto B oferece (500 é a menor das três perdas segundo este cenário).

O termo MAXIMIN vem da escolha do melhor de entre os piores.

Este critério apenas leva em consideração o pior cenário e deve adotar-se quando o gestor quer, acima de tudo o resto, um mínimo de riscos. Em geral, o critério MAXIMIN é pouco usado pelas empresas mas pode ser útil em situações extremas.

7.3 O critério MAXIMAX ou optimista

Segundo Hunwicz (1951) o gestor deverá primeiro calcular um índice I_i que será a media ponderada de dois cenários, o mais e o menos favorável:

$$I_i = \beta \times \text{Lucro mínimo para a decisão } i + (1 - \beta) \times \text{Lucro máximo para a decisão } i$$

O factor de ponderação, β , pode variar entre 0 e 1, devendo reflectir a atitude do gestor perante a incerteza futura: Um $\beta = 1$ indicará pessimismo quanto ao futuro enquanto que um $\beta = 0$ expressa optimismo.

Depois de calculados os I_i , o gestor fica com tantos índices quantas as alternativas. Deve então escolher a alternativa cujo índice é o mais elevado. No caso do exemplo acima temos 3 alternativas (A, B e C) e três cenários (procura baixa, mediana e alta) e os respectivos lucros são:

Projecto	Procura baixa	Procura mediana	Procura elevada
A	(1.000)	5.000	10.000
B	(500)	1.000	5.000
C	(2.000)	4.000	20.000

Os três índices, I_A , I_B e I_C , serão pois os seguintes:

$$\begin{aligned} I_A &= -1.000 \times \beta + 10.000 \times (1 - \beta) \\ I_B &= -500 \times \beta + 5.000 \times (1 - \beta) \\ I_C &= -2.000 \times \beta + 20.000 \times (1 - \beta) \end{aligned}$$

A decisão a tomar dependerá do valor que o gestor decidir atribuir a β .

Para $\beta = 1$ o resultado é idêntico ao da adopção do critério pessimista (MAXIMIN):

$$\begin{aligned} I_A &= -1.000 \\ I_B &= -500 \\ I_C &= -2.000 \end{aligned}$$

e o gestor escolheria o projecto B.

Para $\beta = 0$ o resultado reflectirá uma visão simétrica à anterior, a do absoluto optimismo:

$$\begin{aligned} I_A &= 10.000 \\ I_B &= 5.000 \\ I_C &= 20.000 \end{aligned}$$

e neste caso o projecto C seria o escolhido.

Valores de β inferiores à unidade mas superiores a zero irão introduzir um optimismo moderado na decisão. Assim, para $\beta = 0.5$ será:

$$\begin{aligned} I_A &= 4.500 \\ I_B &= 2.250 \\ I_C &= 9.000 \end{aligned}$$

e o gestor optaria pelo projecto C.

O critério MAXIMAX presta-se a uma decisão mais criteriosa do que a do critério pessimista (que é um caso especial deste) já que permite, por exemplo, simular diferentes valores de β , um parâmetro indicador de optimismo. No exemplo dado acima, essa simulação mostraria que o projecto C domina os outros para um largo espectro de valores de β .

7.4 O critério MINIMAX ou do lamento mínimo

Este critério, proposto por Savage (1951), considera que só são comparáveis os lucros dentro de um mesmo cenário. Savage acha incorrecto que se comparem lucros para diferentes cenários já que o risco associado a cada um deles pode ser muito diferente sem que o saibamos.

Este autor sugere que se calculem os *lamentos* (*regret*) de um gestor pelo facto de ter escolhido uma variante, depois de conhecer qual o cenário que acabou por verificar-se. Trata-se portanto de calcular, dentro de cada cenário, a diferença entre o melhor lucro possível e cada um dos outros. Com efeito, se o gestor soubesse qual o cenário que iria sair, ele teria escolhido o melhor lucro dentro desse cenário.

Assim, no exemplo dado acima,

Projecto	Procura baixa	Procura mediana	Procura elevada
A	(1.000)	5.000	10.000
B	(500)	1.000	5.000
C	(2.000)	4.000	20.000

os lamentos seriam os seguintes:

Projecto	Procura baixa	Procura mediana	Procura elevada
A	$-500 - (-1.000) = 500$	$5.000 - 5.000 = 0$	$20.000 - 10.000 = 10.000$
B	$-500 - (-500) = 0$	$5.000 - 1.000 = 4.000$	$20.000 - 5.000 = 15.000$
C	$-500 - (-2.000) = 1.500$	$5.000 - 4.000 = 1.000$	$20.000 - 20.000 = 0$

Vê-se que cada projecto alternativo irá gerar um lamento que é maior do que os outros.

- A eventual decisão de escolher o projecto A faria o gestor lamentar a perda de 10.000 caso a procura viesse a ser elevada. Com efeito, nesse caso ele teria a lamentar não ter antes escolhido o projecto C, o qual lhe teria rendido 20.000 em vez dos 10.000 que ganhou.

- Uma decisão em favor do projecto B levaria o gestor a lamentar-se mais ainda caso a procura fosse também elevada, pois nesse caso ele teria perdido uma oportunidade com o valor de 15.000, escolhendo o projecto C onde teria obtido 20.000 em vez dos 5.000 que ganhou. E finalmente
- a escolha do projecto C levaria o gestor a lamentar a perda de 1.500 caso o cenário fosse o de uma procura baixa; pois nesse cenário ele deveria ter escolhido o projecto B onde perdia apenas 500 em vez dos 2.000 que de facto perdeu.

Em resumo, para cada escolha existe um lamento que é o maior de todos:

Projecto	Lamento máximo
A	10.000 para uma procura elevada
B	15.000 para uma procura elevada
C	1.500 para uma procura baixa

Posto isto, Savage aconselha o gestor a optar pelo projecto onde o máximo lamento é o menor possível. Neste caso, seria o projecto C. A ideia subjacente é obviamente conseguir que o gestor se arrependa o menos possível.

7.5 O critério de Laplace ou da insuficiente razão

Este critério consiste em pressupôr que as verosimelhanças associadas a cada cenário futuro são todas iguais. E assim, aplicar-se-ia o critério da maximização do valor esperado.

No caso do exemplo acima, os três valores esperados, V_A , V_B e V_C seriam estimados supondo que a probabilidade associada a cada cenário ia ser $1/3$, a mesma para os três. Assim,

$$\begin{aligned} V_A &= -1.000 \times 1/3 + 5.000 \times 1/3 + 10.000 \times 1/3 \\ V_B &= -500 \times 1/3 + 1.000 \times 1/3 + 5.000 \times 1/3 \\ V_C &= -2.000 \times 1/3 + 4.000 \times 1/3 + 20.000 \times 1/3 \end{aligned}$$

e a decisão iria no sentido de escolher o projecto com o maior valor esperado.

108. Resumo. Na ausência de qualquer informação sobre a verosimelhança de desenlaces futuros, existem quatro possíveis critérios de decisão: o MAXIMIN, o MAXIMAX, o MINIMAX e o de Laplace. Cada um deles pode conduzir a decisões diferentes.

Capítulo 8

Exercícios

1. Uma pequena empresa tem 5.000 para investir e avaliou o risco de duas alternativas. Os dados são:

Projecto A		Projecto B	
Probabilidade	Lucro	Probabilidade	Lucro
1/10	1.000	4/10	2.000
2/10	3.000	2/10	7.000
2/10	5.000	4/10	10.000
3/10	7.000		
2/10	9.000		

A empresa escolheu o projecto B. Descobrir o tipo de política perante o risco — aversão ou afinidade — desta empresa.

2. Em ambos os casos expostos a seguir, indicar a melhor decisão e explicar os motivos.

(A): O director de marketing está a considerar uma entre duas possibilidades: distribuir um novo produto por todo o país, ou apenas localmente. A seguir mostram-se os dados sobre os quais a decisão se deve basear.

Distribuição nacional			Distribuição local		
Procura	Probabilidade	Lucro	Procura	Probabilidade	Lucro
Alta	5/10	4.000	Alta	5/10	2.500
Média	25/100	2.000	Média	25/100	2.000
Baixa	25/100	500	Baixa	25/100	1.200

(B): A procura do mesmo produto está a crescer e o director de produção precisa de decidir se é melhor resolver o problema com horas-extra ou com a compra de uma nova máquina.

Estudos de mercado sugerem que há $2/3$ de probabilidade de um crescimento de 25% nas vendas dentro de um ano. Mas a outra hipótese é que as vendas caíam 5%. Os desenlaces resultantes de

cada decisão são expressos em meios libertos líquidos. Esta é a tabela que contém os dados sobre os quais a decisão deve ser tomada:

Procura		Meios Libertos	
		Nova máquina	Horas-extra
	Prob.		
Sobe	25%	400.000	360.000
Desce	5%	200.000	300.000

3. O dono de uma loja de vestuário para homem tem a oportunidade de comprar fatos de verão ao preço especial de 12.000 por peça, caso compre agora e em lotes de 20 peças. O preço de compra normal é de 16.000 e o preço de venda é de 24.000. Porém, se a loja chegar ao fim da estação com excedentes, ele vai ter que vendê-los todos a 10.000 por peça. No caso oposto — excesso de procura — o dono pode sempre encomendar mais peças em qualquer altura pelo preço habitual de 16.000.

A melhor estimativa da procura, ao preço de 24.000 é:

Procura (unidades)	Probabilidade
20	0,2
40	0,4
60	0,3
80	0,1

Calcular quantas peças o dono deve encomendar agora e explicar os raciocínios feitos.

4. Uma fábrica de componentes para automóveis e está a enfrentar uma procura elevada para um dado produto. A fábrica está a trabalhar à capacidade máxima e a companhia tem que decidir se irá iniciar um sistema de turnos ou, pelo contrário, irá expandir a fábrica. As estatísticas da empresa prevêem que no próximo ano as vendas podem aumentar 15% com uma probabilidade de 0,6 ou diminuir 5% com uma probabilidade de 0,4. Sendo assim, foi construída a seguinte tabela:

	Meios Libertos	
	15% crescimento das vendas	5% decréscimo das vendas
Turnos	210.000	150.000
Expansão da fábrica	220.000	130.000

Desenhar a árvore de decisão e, através do cálculo do valor monetário esperado, determinar a melhor decisão.

O director de marketing sugere que seria mais prudente planear para um período de dois anos, permitindo assim modificar as decisões mais tarde. Se as vendas diminuírem no primeiro ano, então a capacidade actual da fábrica serviria até ao fim do segundo ano e não seria preciso expandir nem introduzir turnos. Caso as vendas tenham caído no primeiro ano, as vendas durante o segundo

ano podem ser altas, normais e baixas, com probabilidades 0,4, 0,4 e 0,2 respectivamente. Se as vendas cresceram no primeiro ano, as vendas no segundo podem ser altas, normais e baixas com probabilidades 0,3, 0,3 e 0,4 respectivamente.

No caso em que as vendas caem durante o primeiro ano, os meios libertos no fim do segundo ano são:

Decisão tomada para o primeiro ano	Meios Libertos no segundo ano		
	Alta	Normal	Baixa
Turnos	350.000	335.000	325.000
Expandir	345.000	325.000	310.000

Se as vendas aumentam no primeiro ano, a gestão enfrenta uma nova decisão no início do segundo ano. A escolha é entre a expansão da fábrica ou a introdução de turnos. Neste caso, a tabela que relaciona as vendas no segundo ano com os meios libertos é:

Ano 1	Ano 2	Alta	Normal	Baixa
Expandir	Expandir	410.000	395.000	380.000
Expandir	Turnos	425.000	408.000	395.000
Turnos	Expandir	390.000	360.000	345.000
Turnos	Turnos	395.000	370.000	355.000

Desenhar a árvore de decisão para o período de dois anos e, usando o critério do valor monetário esperado, determinar qual deve ser a estratégia desta empresa.

Parte III

Robustez e peso causal de uma decisão

Introdução

Esta segunda parte mostra como a capacidade redutora de complexidade dos algoritmos para indução de regras têm aplicação na interpretação de estruturas sequenciais de decisão onde se pretenda, não apenas a descoberta da decisão óptima, mas também a quantificação da sua robustez.

A indução de regras a partir de observações é uma das técnicas usadas em sistemas capazes de aprender. Porém, em vez de se centrar na aprendizagem, esta parte mostrará que tais ferramentas podem ter outros usos úteis.

O centro de referência é o problema da decisão estruturada hierarquicamente. Far-se-á primeiro uma descrição de anteriores tentativas para abordar o problema da robustez. Em seguida criticar-se-ão os usos não-específicos que se têm feito das técnicas de indução de regras, com o fim de clarificar conceitos importantes para o problema em estudo. Por fim, explicar-se-á como o uso adequado do algoritmo ID3 [33], ou outro semelhante, é capaz de reduzir a redundância e portanto a complexidade em modelos de decisão sequencial, originando medidas objectivas de robustez.

O saldo final será o de mostrar que algoritmos como o ID3 ou o C5 não são adequados para todos os tipos de modelação estatística em finanças e portanto não devem ser usados para esse fim. Porém, estes mesmos algoritmos mostram-se promissores como pós-processadores de árvores de decisão já que são capazes de hierarquizar o peso causal de cada uma das variáveis do problema. Este facto permite ao gestor ajuizar, não apenas da optimalidade de cada possível percurso, mas também do grau de domínio que tem sobre o processo.

Para compreender porquê podem estes resultados ser úteis, vale a pena recordar aquilo que um gestor obtém actualmente de uma árvore de decisão: um percurso óptimo e um valor correspondente. Não obtém informação sobre a robustez dessa particular solução óptima. Nada lhe é dito sobre a flexibilidade de que dispõe para introduzir modificações durante o processo sem comprometer o resultado.

Um óptimo é um ponto estático. Para os gestores, o problema é também dinâmico: Precisam de calcular as consequências de um ajustamento de planos a meio do processo ou de uma mudança nas condições exteriores.

Parece-nos, pelo estudo realizado, que os algoritmos para indução de regras são capazes de revelar algumas características dinâmicas dos problemas sequenciais de decisão financeira. E se mais não fizessem, a simples eliminação de redundância já seria interessante. É sabido com que

facilidade as árvores de decisão se transformam em bosques intrincados.

Terminologia: A expressão “árvore de decisão” é usada em finanças para designar estruturas hierárquicas de decisão sequencial. Estas estruturas estão geralmente associadas a projectos de investimento. Em Inteligência Artificial, esta mesma expressão costuma significar qualquer hierarquia lógica, mesmo quando não tem nada a ver com decisões. No presente estudo, uma “árvore de decisão” conserva o seu sentido original. As estruturas lógicas são aqui chamadas “árvores de regras”.

Em modelação estatística não é frequente o uso do termo “classe” como sinónimo de variável explicada. Aqui, usar-se-á a seguinte terminologia: Uma variável explicadora é um “atributo”. Uma variável explicada é um “desenlace”. O valor previsto por um modelo é um desenlace “esperado” ou um “acontecimento”. Pensa-se que o uso destes termos facilitará a compreensão dos assuntos e não se afasta muito do sentido com que são usados em modelação estatística de variáveis nominais.

O termo “classe”, mantém o significado original, o de uma partição ou domínio entre outros, algumas vezes usado para contagem de frequências.

Capítulo 9

Robustez como Critério de Decisão

Os sistemas de suporte à decisão têm procurado até agora apresentar a solução *ótima* para problemas de Gestão. Por definição, essa solução deveria ser a melhor de entre as possíveis. Porém, tem provado, com demasiada frequência, ser inaceitável por parte dos gestores.

As razões para esta falha são múltiplas. Uma das mais discutidas na literatura é a pobreza de especificação de objectivos e critérios, devida em grande parte à impossibilidade de quantificar metas sentidas como importantes pelos gestores. Em outras palavras, os gestores sentem que o modelo não contempla aspectos importantes.

Os modelos usuais limitam-se a maximizar os lucros esperados ou a minimizar os custos, ou ainda a descobrir valores extremos de uma qualquer função-objectivo que possa ser tratada como sinónimo de lucros ou custos. Este modo de trabalhar reduz situações genuinamente multi-objectivo, mas onde importantes aspectos da decisão não são quantificáveis, a simples problemas de optimização.

Acresce que a decisão de investir tem geralmente profundas implicações estratégicas. Aqui, uma simples maximização de lucros, mesmo quando o modelo é pretensamente muito elaborado e abrangente, não irá obrigatoriamente conduzir à melhor solução: Há objectivos relevantes, como o ganho de certas posições e opções a longo prazo, difíceis de encaixar numa problemática do “ótimo”, e no entanto decisivos.

Existem porém outros tipos de razões para o desencanto com que certos sectores acolhem os modelos baseados no ótimo. Uma delas é a consciência de que tais modelos só são efectivos nos casos onde uma decisão conduz a acções repetitivas, uma vez que os valores ótimos só são ótimos “em média”, isto é, são valores esperados. Ora as mais importantes decisões que os gestores enfrentam costumam ser únicas, não repetitivas.

Abordaremos de novo o problema das decisões únicas no capítulo 10. Não iremos tratar de todos os interessantes problemas levantados pelo “ótimo” em Planeamento estratégico. Aqui, interessamos explorar apenas uma destas questões. Trata-se do problema da robustez como critério. Esse será, juntamente com o algoritmo ID3 e os modelos financeiros sequenciais, o objecto do presente estudo.

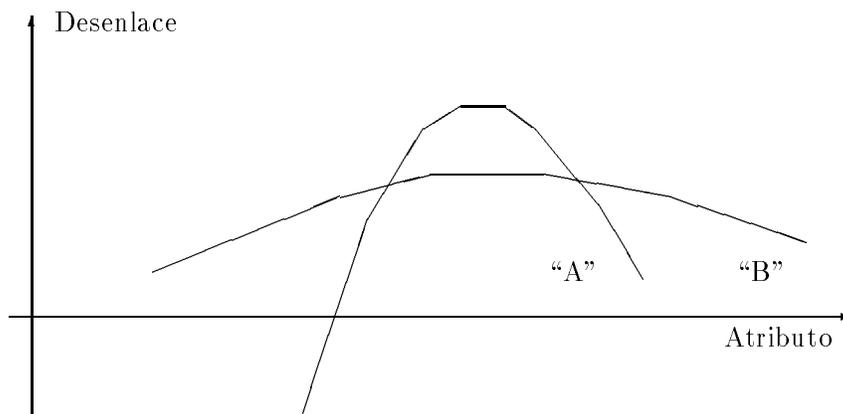


Figura 9.1: Visão simplificada de dois tipos de ótimos exibindo diferente robustez. A relação “B” mostra um valor ótimo robusto. “A” é um ótimo frágil.

Este breve capítulo tem por tema a *robustez* como critério de decisão: Uma vez que se pretende ter obtido uma quantificação da robustez em decisões sequenciais, convirá apresentar o problema antes de resolve-lo.

9.1 Introdução à Noção de Robustez

A ideia intuitiva de robustez de uma decisão está ligada à *largura* da solução ótima. Se um atributo pode originar desenlaces diversos, o gestor estará interessado em conhecer o valor do atributo ao qual corresponde o melhor desenlace, i.e., um máximo ou um mínimo. Porém, o conhecimento deste ótimo não chega. Na vida real é raro que os projectos se consigam cingir a um valor exacto. O acaso, por exemplo, irá impôr um certo grau de incerteza. Sendo assim, podem dar-se desvios em relação ao atributo capaz de gerar um desenlace ótimo.

Um desenlace será robusto quando, perante tais desvios, se mantém a um nível aceitável de optimalidade. E será frágil no caso contrário: Quando um pequeno desvio pode deteriorar seriamente ou mesmo inverter o sentido do desenlace.

A figura 9.1 procura transmitir a ideia intuitiva de robustez. Nela, encontram-se representadas duas relações entre um atributo (em abcissas) e um desenlace (em ordenadas). A relação “B” seria o exemplo de um ótimo robusto. “A”, o de um ótimo frágil. De facto, a relação “B” admite uma certa largura de desvios em redor do valor ótimo sem que este se deteriore. Pelo contrário, mesmo um pequeno desvio em relação ao ótimo pode comprometer seriamente o desenlace no caso da relação “A”.

Claro que, em situações reais, a relação entre atributos e desenlace não é contínua. Isto modifica a forma como o problema da robustez se apresenta. O exemplo acima é artificial e destina-se apenas a transmitir a ideia geral de robustez.

A robustez segundo Rosenhead *et al.*: Rosenhead *et al.* (1972) [39] elaboram a ideia intuitiva de robustez apresentada acima. Depois de frisarem que a noção de robustez só faz sentido uma vez estabelecida a diferença entre plano e decisão — pois a característica básica de um plano é, para eles, a possibilidade de rever decisões — propõem uma definição de robustez próxima da de flexibilidade da estrutura ou operativa:

“Tanto na indústria como nos serviços públicos, o plano é aquilo que dá coesão às decisões táticas. O plano permite que as decisões, uma vez tomadas, sejam compatíveis com, ou se dirijam a, resultados considerados desejáveis. Planeamento foi definido como o desenhar de um futuro desejável e dos procedimentos para torná-lo realidade. Porém, ao ser implementado, novas informações surgirão, as atitudes acerca do que é desejável podem mudar e assim o horizonte daquilo que está a ser planeado ficará ainda mais nas mãos do futuro.

Pouco do que é conhecido sobre o objecto de um planeamento pode sê-lo com certeza. E, do que não é conhecido, pouco pode ser expresso em termos de probabilidades — o comportamento futuro de outras companhias, agências e governos, bem como mudanças nas atitudes do público e nas prioridades. A situação é de incerteza. À medida que estes acontecimentos imprevistos e incontroláveis se desenrolam, mais informação fica disponível acerca do estado futuro desejável e sobre como o atingir. À luz desta informação é natural que se reconsiderem e talvez que se modifiquem os passos do plano ainda não dados. Porém, se a possibilidade de fazer revisões e modificações não foi considerada ao especificar decisões anteriores — as já implementadas —, pode não existir flexibilidade residual que permita fazê-lo mais tarde. Qualquer decisão limita o futuro ao assumir compromissos no presente. Um plano cujas decisões iniciais comprometem o menos possível o futuro terá vantagens num mundo incerto.

Considere-se um problema de planeamento onde uma decisão deve ser escolhida de entre um conjunto $D \equiv \{d_i\}$ de decisões a curto prazo; destas, uma de entre um conjunto S de planos alternativos (ou soluções) será realizado a longo prazo. Qualquer decisão inicial d_i restringirá o conjunto dos planos atingíveis a um subconjunto S_i de S .

Suponha-se que um certo subconjunto, \hat{S} de S é presentemente considerado bom ou aceitável de acordo com alguma combinação de critérios. Um subconjunto \hat{S}_i de \hat{S} será atingível depois de uma decisão inicial d_i . Então, a *robustez* de d_i é definida (ver também [14] e [12]) como

$$r_i = \frac{n(\hat{S}_i)}{n(\hat{S})}$$

onde $n(S)$ é o número de elementos no conjunto S .

A robustez, uma medida da flexibilidade operativa contida numa decisão, tem características que a tornam um critério apropriado para a tomada de decisão sequencial sob condições de incerteza. Ela maneja a incerteza do ambiente, não através da imposição

de uma estrutura probabilística, mas antes sublinhando a importância da flexibilidade. Ela torna explícita a distinção entre decisões já tomadas e soluções planeadas. Ela reflecte a natureza sequencial da tomada de decisões ao colocar menos ênfase no Plano e mais no processo contínuo de planejar.

Depois, os autores definem outro critério, a *estabilidade*, complemento da robustez:

(...) por razões tanto externas como internas à organização que planeia, a sequência de decisões pode ser truncada depois da implementação das decisões iniciais, de tal modo que as etapas seguintes do plano não são atingidas. Dizemos que a decisão inicial é estável se o sistema, depois de modificado por essa decisão, tem um desempenho a longo prazo que é satisfatório com respeito às alternativas, quando as etapas seguintes da sequência de decisões não são implementadas.

Finalmente, os autores sublinham o facto de que tanto a robustez como a estabilidade devem ser vistas como um critério para a escolha de decisões iniciais de entre as que o conjunto D oferece e não para a escolha da solução final de entre as existentes no conjunto S .

A linha de raciocínio expressa acima foi posteriormente divulgada por um dos autores, Rosenhead, em diversos escritos (ver, por exemplo, [38]). Devido a essa divulgação, o tema da robustez é hoje geralmente associado com Rosenhead. Mas não é assunto que tenha merecido muita atenção: Em alguns meios académicos, a robustez das decisões sequenciais gerou um interesse que se mantém. Na prática dos sistemas de suporte à decisão o impacto desta proposta foi pequeno ou nulo.

9.2 Discussão

O presente trabalho tem propostas a fazer quanto à ideia de robustez de uma decisão. Essas propostas serão delineadas na secção 9.3 e depois concretizadas no capítulo 11. Aqui, interessa discutir a definição de Rosenhead *et al.*, expondo algumas objecções e limitações ao seu uso. O objectivo é preparar e justificar a nova definição de robustez que este estudo irá sugerir.

O primeiro aspecto característico da definição de robustez dada acima é a explícita negação do uso de probabilidades. Vão-se primeiro discutir dois problemas que decorrem desta negação.

Incerteza e Risco: Usa-se em certos meios o termo “incerteza” como contraponto do termo “risco” (ver por exemplo Wipperfurth (1966) [43]). A “incerteza” designa uma situação de total ausência de informação acerca de acontecimentos futuros. O termo “risco” é reservado para quando se conhecem as probabilidades associadas a cada desenlace. Rosenhead *et al.*, no trabalho citado acima, põem ênfase nesta definição de incerteza. Note-se que no capítulo 11 o termo “incerteza” é também usado, mas com o sentido tradicional de simples não-certeza ou falta de informação completa.

Perante acontecimentos incertos — no sentido de Rosenhead *et al.* — a informação disponível não é nula. É, ela própria, inexistente. Pode ser que um dado desenlace seja altamente provável mas o gestor não tem possibilidade de aceder a esse facto. Portanto Rosenhead *et al.* colocam-se num mundo muito especial, onde é preciso planear às cegas: Prescindindo de qualquer conhecimento sobre a verosimilhança de acontecimentos futuros.

A primeira objecção ou limitação ao uso deste critério deriva do facto de ele apenas contemplar situações de incerteza. Acontece que, ao contrário daquilo que os autores deixam supôr, as situações de total incerteza são raras em projectos de investimento. Elas coexistem com outras, a maioria, de simples risco. Ao ignorar toda a informação a-priori existente, o critério proposto deita fora dados que geralmente são muito importantes. Com isto, torna-se pouco realista e propenso a medir pela mesma bitola situações completamente dispares.

O peso causal das decisões: Outra consequência da renúncia a qualquer informação a-priori é a necessidade de tratar todas as decisões como se tivessem o mesmo peso com vistas à obtenção dos resultados. Para o critério descrito, interessa apenas o número de decisões de cada conjunto. O peso causal de cada uma delas é ignorado. Na prática isto é equivalente a aceitar que todas têm igual peso.

Ver-se-á no capítulo 11 que o peso causal das decisões pode ser muito variado. As decisões não contribuem no mesmo grau para o desenlace. Há decisões que contribuem muito para o desenlace e outras pouco. Projectos há em que certas decisões não contribuem em nada para o desenlace, apesar de aparentarem uma certa importância.

O facto de que existe um nexos causal, forte ou fraco, entre decisões e desenlace, deveria estar na base da ideia de robustez. Se de veras se pretende aceder à robustez das decisões, torna-se necessário começar por quantificar o seu peso causal.

Peso causal e comprometimento do futuro: Expõe-se agora o reparo mais sério ao critério proposto por Rosenhead *et al.* Este reparo tem a ver com as objecções já enunciadas mas vai mais longe.

Para que a definição de robustez dada acima fosse aceitável, seria preciso que o grau em que cada decisão compromete o futuro fosse inversamente proporcional — ou pelo menos independente — do grau em que cada decisão causa o desenlace desejado. Ora não há razão nenhuma para supôr que assim tenha de ser.

Foi citada acima a afirmação

Uma decisão limita o futuro ao assumir compromissos no presente. O plano cujas decisões iniciais comprometem *o menos possível* o futuro terá vantagens num mundo incerto.

que é a síntese do método de Rosenhead *et al.* A segunda sentença deste parágrafo não parece muito realista. Vai contra a experiência comum dos gestores. Um plano, pensado para que as suas

primeiras decisões comprometam o menos possível o futuro, não terá por isso especiais vantagens, mesmo num mundo incerto.

A ideia de caminhar para o desenlace desejado através de decisões que comprometam o futuro o menos possível não parece aceitável por parte de um gestor experiente. É talvez mais uma ideia ligada a problemas negociais — em que os objectivos são, eles próprios, flexíveis — e pouco tem a ver com a gestão de projectos de investimento.

Os bons gestores, se sabem alguma coisa é isto: Não existem — ou são raras — as decisões ao mesmo tempo eficazes e não-comprometedoras.

O grau em que uma decisão compromete o futuro não é geralmente independente do seu peso causal, i. e., da sua capacidade para causar o desenlace pretendido. Uma decisão que compromete pouco o futuro também será pouco eficaz com vistas à meta a atingir e vice versa. São precisamente as decisões que mais comprometem o futuro aquelas que permitem geralmente alcançar o desenlace desejado e não outro.

Caminhar através de decisões cuidadosamente escolhidas para não comprometerem o futuro é habitualmente a melhor forma de conseguir não chegar a parte nenhuma.

Sendo assim, a definição de robustez proposta por Rosenhead *et al.*, baseada como está na independência entre o grau de comprometimento do futuro e o poder de alcançar objectivos, terá que considerar-se com reservas.

Robustez e estrutura: Por último, a flexibilidade a que Rosenhead *et al.* aludem depende da estrutura do modelo sequencial em questão. Ela é conseguida à base de uma crescente sofisticação. Só depois de prever cuidadosamente todas as eventualidades se podem pôr de parte as decisões que não se mostram flexíveis.

Assim, o problema da robustez fica ligado ao problema referido no início como o da sofisticação do modelo. Quanto mais completo o modelo, melhor se pode medir a robustez das decisões. Modelos que sejam uma simplificação não permitem tal medida.

Acontece que a simplicidade nem sempre é um defeito. Em muitos casos ela é procurada como uma meta importante: Os analistas introduzem deliberadamente simplificações com o fim de manter a complexidade em níveis aceitáveis ou para conseguir modelos mais robustos.

De facto, a robustez pode mesmo opôr-se à complexidade. Quanto maior o número de atributos, mais possível é um erro ou uma avaliação enganosa. Por tudo isto, seria desejável que a noção de robustez não estivesse ligada à de complexidade e grau de sofisticação da estrutura.

9.3 Uma Nova Ideia de Robustez

Este estudo irá basear a sua proposta de definição de robustez na ideia de peso causal: As decisões robustas serão aquelas que, num dado projecto, tiverem um maior peso causal do que os atributos que o gestor não controla.

Peso causal significa capacidade de intervenção efectiva. Durante o desenrolar de um plano, as alternativas são o ser-se um joguete nas mãos de acontecimentos impossíveis de controlar ou, pelo contrário, permanecer no comando. Uma decisão robusta é aquela em que o gestor pode introduzir modificações ao plano, com a garantia de que tais modificações influem no curso dos acontecimentos.

Assim definida, a robustez surge como independente da estrutura ou grau de sofisticação do modelo. A mesma estrutura pode originar diagnósticos muito dispares quanto à robustez de decisões. É também uma medida que contabiliza toda a informação existente acerca dos acontecimentos futuros. Como referido acima, isto não parece ser um ponto fraco, tanto mais que já existem formas de introduzir nos modelos a ignorância do futuro a par da falta de informação completa.

No capítulo 11 ver-se-á, no caso concreto das decisões sequenciais em projectos de investimento, como o algoritmo ID3 para a extracção de regras é capaz de medir o peso causal relativo das decisões quando comparadas com o peso causal dos atributos que o gestor não controla. O próximo capítulo introduz este algoritmo.

9.4 Sumário

A robustez de uma decisão está intuitivamente ligada à ideia de largura do óptimo. Rosenhead *et al.* propuseram uma medida de robustez baseada na flexibilidade estrutural. Este estudo contrapõe a tal sugestão a ideia de que a robustez deveria basear-se em critérios não ligados à estrutura. Por um lado, a flexibilidade estrutural não aproveita muita da informação existente acerca do futuro. Por outro, o peso causal das decisões não pode ser visto como independente do comprometimento do futuro. Além disso, uma ideia de robustez baseada na estrutura não é aplicável com generalidade. Sendo assim, sugere-se uma nova noção de robustez baseada no peso causal relativo de cada decisão.

Capítulo 10

O Algoritmo ID3 para Indução de Regras

Este capítulo introduz o algoritmo ID3 para indução de regras e discute o seu uso em dois tipos diferentes de problemas: Modelação estatística e redução de complexidade.

Originalmente, os algoritmo para indução de regras tinham como finalidade a extracção de conhecimentos a partir de dados determinísticos. Porém, pouco depois de terem sido divulgados, algoritmos como o ID3 começaram a ser usados para modelação estatística. Este estudo mostra que tal uso — quando indiscriminado — levanta problemas. O objectivo, sempre presente, é o de clarificar qual o campo de aplicação destes algoritmos e assim preparar a aplicação do ID3 como pós-processador de árvores de decisão.

Conteúdo: Em primeiro lugar introduzir-se-á o algoritmo ID3 para indução. Em seguida apontar-se-á a diferença entre modelar e ordenar, central neste estudo. Por fim discutir-se-á, em duas secções separadas, o uso do ID3 em modelação. Na primeira delas reunir-se-ão as objecções gerais. Na seguinte, apenas as que mais directamente limitam o seu uso em modelação financeira.

10.1 Quantidade de Informação e Ganho

A ideia de medir a quantidade de informação vem da engenharia de telecomunicações. Para efeitos de comunicação, a informação é aditiva: não importa o significado ou interesse do que é transmitido mas apenas a *quantidade*. Ao tomar uma decisão em que os desenlaces são incertos, o gestor pode usar este conceito para saber qual a quantidade de informação que lhe falta para conhecer o desenlace com certeza.

O número de dígitos necessários para distinguir um acontecimento de entre todos os possíveis é proporcional ao logaritmo do número N de acontecimentos possíveis. Por exemplo, perante 99 acontecimentos possíveis, a mensagem indicadora de que um deles acabou por dar-se requer dois

dígitos decimais. Se forem 999 os acontecimentos possíveis, a mensagem requeriria três. Diz-se que $\log N$ mede a *variedade* de uma colecção de acontecimentos possíveis, para efeitos de comunicação. Esta variedade é a *quantidade de informação* que falta para que um desenlace, entre vários possíveis, passe a ser conhecido.

Quando existem regularidades na colecção de acontecimentos, a quantidade de informação que falta para se poder distingui-los deixa de ser $\log N$. Dá-se um *ganho* em informação ao saber-se que, por exemplo, k dos N acontecimentos estão agrupados numa classe, isto é, todos eles partilham uma característica comum. O conhecimento de tal atributo traz consigo uma certa quantidade de informação *a priori* sobre o desenlace. Este ganho por classificação deve pois ser subtraído à variedade total sempre que se pretenda saber a quantidade de informação que falta. Perante uma classificação múltipla, i.e., quando existem M atributos comuns a grupos de acontecimentos com $k_1, \dots, k_i, \dots, k_M$ casos cada, a quantidade de informação que ainda falta conhecer para identificar correctamente o desenlace será a diferença, H , entre a informação que faltava antes da classificação e a quantidade de informação média, G , que tal classificação trouxe consigo. Como

$$G = \sum_{i=1}^M \frac{k_i}{N} \log k_i, \quad (10.1)$$

a quantidade de informação que falta para prever o desenlace será

$$H = \log N - G = \log N - \sum_{i=1}^M \frac{k_i}{N} \log k_i. \quad (10.2)$$

H é conhecida pelo nome de “entropia”. É a diferença entre a variedade e o ganho em informação obtido com o conhecimento *a priori*.

A Entropia é uma medida da incerteza de desenlaces futuros. Quando $H = 0$, não existe nenhuma falta de informação sobre o desenlace. O significado de $\log N = G$ é que cada um dos desenlaces pode ser completamente descrito pelos seus atributos. Trata-se pois de um desenlace *certo*. No pólo oposto, $H = \log N$, não existe nenhuma informação *a priori* sobre o desenlace. A incerteza é máxima e iguala a própria variedade.

5. Qual a quantidade de informação que falta e qual a já existente *a priori* sobre a cor de uma bola que se vai extrair de uma urna, quando se sabe que existem apenas duas cores e que das 10 bolas que a urna contém, duas são de uma cor e as oito restantes são de outra?

Neste caso, $N = 10$ e a variedade será $\log 10 = 1$. Mas sabe-se que existem apenas duas classes de bolas, 1 e 2, com um número de casos $k_1 = 8$ e $k_2 = 2$. Logo, o ganho em informação *a priori* será

$$\begin{aligned} G &= \frac{k_1}{N} \log k_1 + \frac{k_2}{N} \log k_2 \\ &= \frac{8}{10} \log 8 + \frac{2}{10} \log 2 \end{aligned}$$

e a informação que falta será, em vez de $\log 10$,

$$H = \log 10 - \left(\frac{8}{10} \log 8 + \frac{2}{10} \log 2 \right) = 0,217$$

No caso de existirem 12 bolas também de duas cores, sendo $k_1 = 9$ e $k_2 = 3$,

$$\begin{aligned} H &= \log 12 - \left(\frac{9}{12} \log 9 + \frac{3}{12} \log 3 \right) \\ &= 1,079 - (0,75 \times 0,954 + 0,25 \times 0,477) = 0,244. \end{aligned}$$

Conclui-se que a falta de informação quanto ao desenlace é maior neste segundo caso. Em jogos simples como os enunciados acima qualquer gestor chega instintivamente à mesma conclusão. Porém, quando se pretende comparar a incerteza associada a decisões que desencadeiam respostas complicadas da natureza, como acontece nas árvores de decisão, pode não ser evidente qual das alternativas acarreta menor incerteza.

6. Nas árvores de decisão é costume usarem-se probabilidades, p_i , para quantificar a verosimilhança de cada desenlace, i . Mas a forma como as probabilidades medem expectativas não é sugestiva. Seria desejável medir, com uma só observação, a expectativa associada a jogos sequenciais complicados como os que se encontram em árvores de decisão. Isto facilitaria a tomada de decisões. É fácil de ver que H , tal como foi definida em (10.2), pode ser escrita em termos da colecção de probabilidades, $p_1, \dots, p_i, \dots, p_M$ que caracteriza um jogo:

$$H = \log N - \sum_{i=1}^M \frac{k_i}{N} \log k_i \quad \text{tendo presente que} \quad \frac{k_i}{N} = p_i \quad \text{virá} \quad H = - \sum_{i=1}^M p_i \log p_i \quad (10.3)$$

Para entender o interesse de H , basta pensar que uma probabilidade de $1/2$ associada ao desenlace i mede algo muito diferente consoante se trate de um jogo com dois ou com seis desenlaces. No primeiro caso, expressa expectativas nulas ou ausência de informação *a priori*. No segundo, expressa uma expectativa forte a favor da ocorrência de i .

7. Resumo. Dados N desenlaces possíveis, chama-se “variedade” a $\log N$. A quantidade de informação que falta para prever um desenlace, ou “entropia”, é

$$H = \log N - \sum_{i=1}^M \frac{k_i}{N} \log k_i$$

onde M é o número de atributos comuns a grupos de acontecimentos e $k_1, \dots, k_i, \dots, k_M$ é o número de casos de cada. A entropia é a diferença entre a variedade e o ganho em informação obtido com um conhecimento *a priori* de regularidades na colecção de acontecimentos. H mede a incerteza de desenlaces futuros e pode ser expressa em função das probabilidades associadas aos desenlaces,

$$H = - \sum_{i=1}^M p_i \log p_i,$$

e a sua utilidade consiste em transmitir ao gestor uma noção mais correcta da incerteza que enfrenta, além de tornar comparáveis as incertezas.

10.2 O Algoritmo ID3

O ganho em informação

$$G = \sum_i \frac{k_i}{N} \log k_i \quad (10.4)$$

é a estatística que o algoritmo ID3 maximiza. O ID3 começa por determinar qual o atributo que mais explica o desenlace quando G é usado como critério. Depois, a amostra é dividida em tantas sub-amostras quantas as classes do atributo encontrado e o processo repete-se com cada uma destas sub-amostras. O resultado é uma estrutura com atributos embricados uns nos outros começando pelos mais informativos e acabando nos menos informativos. Esta estrutura costuma ser interpretada em termos de regras. O resultado é uma “árvore de regras”. A secção 10.4.2 contém um exemplo de como aplicar o ID3.

O algoritmo ID3 (“Iterative Dichotomizer 3”) foi proposto em 1979 por Quinlan [33] com base em trabalhos de Hunt, Martin e Stone [17]. A finalidade desta ferramenta era a obtenção de regras a partir de experiência acumulada. Para testá-la, Quinlan usou sequências de decisões no tempo. Mais especificamente, colecções de finais de Xadrez. Pouco depois, Breiman *et al.* [7] propuseram um algoritmo semelhante mas orientado para problemas de classificação em modelos estatísticos.

Recentemente, diversos autores publicaram estudos onde se apresenta o ID3 como um instrumento de modelação estatística de uso geral. Além dos já citados Breiman *et al.*, que no seu livro “Árvores de Decisão e de Regressão” tentam enaltecer as virtualidades da estrutura hierárquica nestes domínios, também Quinlan (1986 e 1987) [34] [35], Niblett [32], Cestnik *et al.* [9], Kordratoff e Manago [21], se dedicaram a este tipo de experiências. Race e Thomas [36] sugeriram a introdução desta técnica como modelador de “cash-flows” simulados por meio de “análise do risco” [15]. Mingers [30] comparou o ID3 com regressões lineares e pronunciou-se pela superioridade do primeiro. Braun [6] usou-o na previsão do preço de acções cotadas na Bolsa.

Toda esta literatura põe a obtenção de regras acima de qualquer outra consideração. Casos há em que tanto a variável que se pretende explicar como os atributos usados para explicá-la são claramente de evolução contínua — e é preciso proceder a uma discretização mais do que forçada antes de usar o algoritmo.

Claramente, aquilo que notamos ao ler esta literatura é uma ausência de reflexão sobre o que é a modelação de relações estatísticas e quais os requisitos necessários à obtenção de uma boa generalização. Nas próximas secções ver-se-á porquê.

10.2.1 Outros Algoritmos

A possibilidade de modelar variáveis nominais e obter regras baseadas na maximização do ganho não é nova.

O emprego em estatística da entropia e outras medidas usadas em comunicações começou em 1954 quando McGill [28] generalizou estes conceitos para mais de duas variáveis. Kullback, poucos

anos depois, desenvolveu testes de significância para estas estatísticas e estendeu a sua base teórica [23]. Ele mostrou, entre outras coisas, que o popular *Qui-Quadrado* pode ser visto como uma medida aproximada do ganho em informação. Expandindo o logaritmo em potências da frequência esperada, o termo linear desaparece e o seguinte, o quadrático, é o *Qui-Quadrado*. Os testes de significância para o ganho desenvolvidos por Kullback são importantes para o ID3. O continuador de Kullback foi Good (1963) [13], que estendeu os testes de hipóteses em outras direcções.

Uma contribuição importante para o uso prático de estatísticas baseadas em quantidade de informação ficou a dever-se a Ashby (1964) [2] [3] que desenvolveu uma base para modelação estrutural de dados nominais. Muitos outros estudos refinaram este processo, aplicando-o especialmente a problemas em Ciências Sociais e Biologia (ver, por exemplo, Conant (1979) [10], [11], Cavallo (1979) [8], Klir (1976) [20] e Krippendorff (1981) [22]). É deste último autor um estudo de que nos serviremos mais adiante.

A entropia ou o ganho têm muitos pontos em comum com a log-verosimilhança. Como medidas da bondade de um ajuste, são ambas aditivas em todos os modelos onde não existam “loops” ou zeros estruturais. Este facto torna as estimativas do grau de ajuste aos dados sob sucessivas simplificações uma tarefa simples. Os resultados da aplicação destas ferramentas costumam ser similares aos obtidos ao usar modelos Log-Lineares [5].

Hoje, existe um corpo de conhecimentos bem estabelecido e reconhecido como útil, que aplica medidas baseadas na teoria das comunicações à modelação estatística. Isto, especialmente quando os dados são de tipo nominal. Ao estudar as potencialidades do algoritmo ID3 em finanças, tal corpo de conhecimentos é importante para comparação pois usa o mesmo critério que o ID3.

Além disso, a existência e a qualidade destas ferramentas não pode ser ignorada. Tarefas que elas possam desempenhar melhor do que o algoritmo de Quinlan ou semelhantes, não deveriam ser abordadas como se todo este conjunto de técnicas não existissem. Por outras palavras, não é objectivo dizer-se que o algoritmo ID3 vem preencher uma lacuna no campo dos instrumentos de modelação estatística.

10.3 A Diferença Entre Modelar e Ordenar

O problema da extracção das regras subjacentes a observações faz parte do problema mais geral da aquisição de conhecimentos a partir de casos particulares por indução. Pretende-se, de um conjunto de exemplos ou amostra, generalizar para a população. É isto o que se chama aprendizagem por indução.

O que é específico de algoritmos como o ID3 é a possibilidade de se obterem estruturas lógicas como o resultado final da aprendizagem. Mas a ideia de aprender a partir de exemplos é mais abrangente do que a extracção de regras.

Durante mais de vinte anos, entre a década dos sessenta e a dos oitenta, as ferramentas fornecidas pela computação simbólica foram consideradas como as únicas interessantes para abordar problemas

que requeressem inteligência artificial. Daí a importância que adquiriu a extracção de estruturas hierárquicas de regras.

Note-se porém que qualquer instrumento de modelação capaz de quantificar ou classificar é também apto para este fim embora exija um pouco mais de sofisticação.

Generalização e ordenação: Um aumento em conhecimento por indução pode obter-se por muitas vias. Aqui estamos interessados em comparar duas dessas vias: A generalização, que se aplica a desenlaces não completamente determinados pelos seus atributos, e a ordenação ou o re-arranjo, que se aplica a desenlaces que são completamente determinados pelos seus atributos, mas complexos. Um desenlace é determinado ou determinístico quando pode ser previsto por observação das suas qualidades ou atributos.

Dados não-determinados: No caso de desenlaces não completamente determinados, desde que se descubra alguma regularidade na relação atributos-desenlace, pode ser legítimo extrapolar essa regularidade para toda a população da qual os dados são uma amostra. Tais *modelos* são valiosos para efeitos de aprendizagem por indução na medida em que sejam representações gerais. Por isso a sua construção deve ignorar os detalhes e sublinhar as características comuns. Neste processo deixam de interessar os valores concretos que cada caso assume. Passam a interessar os valores esperados. Supõe-se que procedendo assim se conseguirá uma descrição aplicável, não apenas a um dado conjunto de casos, mas a todos os pertencentes à mesma população.

Re-arranjo ou ordenação: A segunda via referida para extracção de conhecimentos é a que se aplica a observações determinísticas mas complexas: Ordenação, classificação, re-arranjo, como meio para eliminar redundância em conteúdo informativo e descobrir alguma qualidade simples escondida pela aparente complexidade. Trata-se portanto de um processo redutor de complexidade.

Um re-arranjo, uma ordenação, são apenas transformações que se aplicam aos dados. Não se dá com elas nenhuma perda de informação; só se “perde” redundância. Pelo contrário, na modelação estatística, dá-se um processo redutor de informação: O que é particular é desprezado com o fim de obter uma descrição geral.

Comparação das duas tarefas: Este estudo insiste na distinção entre complexidade determinística e indeterminação, no que respeita à tarefa de aprendizagem por indução.

As técnicas de indução de regras foram inventadas para dar resposta a um problema de complexidade determinística e não de indeterminação. Pretendia-se converter experiência — expressa de uma forma complexa — em estruturas lógicas. Esta tarefa requer uma capacidade redutora de complexidade mas não uma capacidade para generalizar, própria da modelação estatística. O final de um jogo de Xadrez, com todas as possíveis hipóteses, é sem dúvida um problema complexo; mas

os desenlaces são completamente determinados pelos atributos — que neste caso são as jogadas e posições iniciais dos jogadores.

Pelo contrário, nos problemas em que o desconhecimento do futuro, os erros de medição ou outra fonte de indeterminação estão presentes, a indução deixa de ser possível através da simples ordenação e classificação. Surge a necessidade de se dispôr de uma nova capacidade, a de generalização. A natureza indeterminada dos dados exige, não um processo redutor de complexidade apenas, mas um processo redutor de informação considerada particular.

O algoritmo ID3 é originalmente uma ferramenta para a extracção de regras a partir de dados determinísticos complexos. Nisto, tem-se mostrado superior já que não lhe é pedida a capacidade de generalizar mas a de ordenar.

As medidas baseadas na quantidade de informação são adequadas a ambas as tarefas referidas. A pesquisa em árvore, própria do ID3, parece eficaz em tarefas que exijam redução da complexidade determinística já que, ao ordenar os atributos por poder explicativo do desenlace, vai eliminando uma boa parte ou mesmo toda a redundância associada com cada um deles. Porém, ver-se-á a seguir que esta estrutura não é a mais adequada à tarefa de generalizar excepto em casos particulares.

10.4 Crítica ao Uso da Indução de Regras em Estatística

Esta secção mostra as objecções que podem fazer-se ao uso do ID3 em problemas de modelação estatística. Começar-se-á por introduzir um tipo de considerações que, não sendo elas próprias muito ponderosas, servem de introdução aos problemas apresentados a seguir.

10.4.1 Generalização

Frequentemente é difícil descobrir, a partir de uma colecção de observações, um modelo com boas qualidades de generalização. Boas descrições de uma amostra podem ser apenas válidas para essa amostra, mas não para outras extraídas da mesma população. Não seria legítimo considerar as regularidades encontradas como características comuns a todos os casos possíveis.

Generalização e suposição a-priori: A capacidade de um modelo para generalizar adequadamente está muitas vezes condicionada ao prévio conhecimento e uso de uma propriedade inerente às observações. Só depois de descoberta e assumida essa propriedade pode o modelo tentar ser uma representação geral. É esta talvez a razão pela qual as técnicas de modelação estatística são, em tantos casos, uma suposição a-priori sobre as mais importantes características da população. Assim, a Regressão Linear é usada sempre que a hipótese de co-variâncias lineares parece plausível. E a Análise de Variância supõe a existência de efeitos centrais.

A experiência mostrou que estas opiniões prévias acerca de qualidades gerais são de grande importância prática: Para que um modelo consiga generalizar aceitavelmente é preciso que tenha havido um acerto entre este pressuposto inicial e uma característica da população. Por isso, os

utensílios de modelação estatística que se têm mostrado capazes de uma boa generalização procuram captar, não uma descrição razoável das observações, mas uma qualidade geral: Uma característica, um mecanismo, uma estrutura.

Explicar um máximo de variabilidade não é modelar: Existem porém outros instrumentos que não partem de nenhum pressuposto acerca da população. Procuram apenas descrever um máximo de variabilidade e usam para isso técnicas muito gerais.

Uma Regressão Linear é naturalmente limitada na sua capacidade para explicar a variabilidade de uma amostra pela hipótese de linearidade. Tal hipótese será também a fonte da sua capacidade para generalizar, caso a linearidade seja uma característica da população. Pelo contrário, quando se usam polinómios de grau arbitrário, um simples atributo pode descrever toda a variabilidade de uma amostra — mas sem utilidade. Enquanto que a primeira se encontra limitada na sua capacidade para descrever a variabilidade observada, os segundos, por não partirem de nenhuma hipótese prévia, são ilimitados na capacidade de modelar, podendo descrever a amostra com cada vez mais detalhe, até ao ponto de produzirem descrições exactas dos dados a que foram expostos.

Quando um instrumento de modelação é ilimitado na sua capacidade de aproximar observações, existe o problema de descobrir quando se deve parar de acrescentar detalhes ao modelo. A Indução de Regras sofre de esta falta de moderação ao aproximar dados. Ao usá-la, é fácil obter modelos detalhados e inúteis. E é difícil ver as autênticas características da população, escondidas debaixo de descrições exaustivas.

Autores tem havido que comparam o ID3 com outras técnicas e demonstram que o primeiro explica mais variabilidade. Se as técnicas de indução de regras têm que ser comparadas com instrumentos de modelação estatística como a Regressão Linear, deveriam sê-lo com base na sua capacidade para generalizar, não na variabilidade explicada.

Não faz sentido falar de rendimento de modelos estatísticos em termos da variabilidade que eles conseguem explicar. Seria mais interessante mostrar a possível capacidade das técnicas de indução de regras para encontrarem representações gerais. É o que se fará agora, usando a linearidade como paradigma.

O ID3 não pode modelar relações lineares: A indução de regras, quando usada como ferramenta de modelação, produz uma estrutura lógica hierárquica. Será que uma relação linear pode ser modelada por tal tipo de estrutura? Este parece ser um problema interessante posto que muitos processos estatísticos são lineares.

No caso das observações puramente nominais, linearidade significa pura aditividade ou ausência de interacções entre atributos. O desenlace é explicado apenas através de efeitos de primeira ordem. Quer isto dizer que a capacidade de um dado atributo para explicar o desenlace não é afectada pela presença dos outros atributos. E portanto, a variabilidade explicada será a mesma, quer se construa um único modelo com todos os atributos presentes, quer se construam tantos modelos

quantos os atributos e tendo cada um o seu.

Se o algoritmo ID3 tiver que descrever uma relação linear, começará por descobrir o atributo com maior poder para explicar o desenlace. A seguir, suposta já explicada essa porção da variabilidade, procurará de novo, de entre os atributos restantes, aquele com maior poder explicativo; e por aí fora. Porém, a maneira como o modelo foi crescendo corresponde a uma estrutura muito particular: Os atributos aparecem sempre embricados dentro de atributos, como se se pretendesse explicar atributos com atributos. Os efeitos estão presentes neste modelo sempre condicionados ao atributo previamente entrado: Se o atributo A foi o primeiro a ser aceite, então B , o seguinte a entrar, há-de modelar um efeito “ B embricado em A ”. Nunca se dará o cruzamento livre ou a adição de efeitos. Daqui que o algoritmo ID3 não seja capaz de modelar relações lineares enquanto tais.

Estruturas hierárquicas não conseguem descrever aditividade. Aquilo que há de mais comum escapa a estes algoritmos.

Graus de liberdade e indução: No caso em estudo, a variabilidade explicada por todos os atributos menos o primeiro será apenas devida ao acrescentar de mais e mais graus de liberdade ao modelo da mesma forma que um polinómio de grau arbitrário explica uma relação, qualquer que ela seja. A potência do ID3 é obtida à custa do uso de muitos graus de liberdade e não porque tenha acertado com uma característica da população. Como resultado, a sua capacidade para generalizar será pobre. E uma vez que a generalização é, para dados estatísticos, a base da indução, não havendo a primeira, não se pode falar da existência da segunda. O ID3 produz regras mas induz pobremente.

10.4.2 Indução de Regras e Estrutura

Esta secção contém o mais forte e mais básico argumento contra o uso do ID3 como ferramenta de modelação estatística: A indução de regras não deve ser um instrumento de modelação estatística de uso geral pois é capaz de induzir regras erróneas. Para mostrá-lo descrever-se-á um caso em que isto acontece.

Um caso: Krippendorff [22] cita uma tabela aparecida no New York Times Magazine (11 de Março de 1979) contendo a frequência com que a pena de morte foi aplicada no estado da Florida (Estados Unidos) entre 1973 e 1979, por raça do assassino e da vítima. Reproduzimos tais dados na tabela 10.1. O problema de construir um modelo estatístico para explicar o desenlace, morte ou outra pena, em termos das raças do assassino e da vítima tornou-se uma espécie de padrão em modelação estatística com variáveis nominais. Parece existir um modelo estrutural muito simples mas capaz de explicar quase a totalidade da variabilidade encontrada nestes dados [22].

Que nos poderia dizer um algoritmo para indução de regras quando tentando modelar as observações descritas pela tabela 10.1? Em primeiro lugar, o atributo que melhor descreve o desenlace é Vítima, como se vê pelas tabelas de contingência abaixo.

RAÇA:		PENA APLICADA:	
DO ASSASSINO	DA VITIMA	MORTE	OUTRAS PENAS
Negro	Branco	48	239
Negro	Negro	11	2209
Branco	Branco	72	2074
Branco	Negro	0	111

Tabela 10.1: A frequência de penas de morte na Florida, entre 1973 e 1979, por raça do assassino e da vítima.

ASSASSINO	DESENLACE		VÍTIMA	DESENLACE	
	MORTE	OUTRO		MORTE	OUTRO
Branco	72	2185	Branco	120	2313
Negro	59	2448	Negro	11	2320
Qui-Quadrado: 3.2			Qui-Quadrado: 88.6		

O atributo Vítima produz um Qui-Quadrado de 88.6 ao cruzar-se com o desenlace enquanto que o atributo Assassino produz um Qui-Quadrado de 3.2. Lembramos que o Qui-Quadrado é uma aproximação do ganho. Portanto, as tabelas de contingência acima mostram que aquilo que se ganha em informação acerca do desenlace quando se conhece a raça da vítima é muito superior ao que se ganha ao conhecer a raça do assassino.

O passo seguinte consiste em construir duas novas tabelas cruzadas, uma para as vítimas brancas (à esquerda) e outra para as vítimas negras (à direita):

ASSASSINO	DESENLACE		ASSASSINO	DESENLACE	
	MORTE	OUTRO		MORTE	OUTRO
Branco	72	2074	Branmco	0	111
Negro	48	239	Negro	11	2209
Qui-Quadrado: 96.5			Qui-Quadrado: Não Sig.		

As regras induzidas pelo ID3 são pois as seguintes:

Se Vítima é branca então:

se Assassino é branco, sentença é
outra que não a morte;
se Assassino é negro, sentença é
de morte.

Se Vítima é negro então:

sentença é
outra que não morte.

As observações não foram todas classificadas correctamente, mas já não há mais atributos disponíveis.

Discussão do resultado: O algoritmo, devido à sua própria forma de trabalhar, não pode construir uma solução que contenha duas relações binárias entre o desenlace e atributos diferentes. Um conjunto de regras não-exclusivas como estas:

Se	Vítima é branca então	a sentença é
		de morte.
Se	Assassino é negro então	a sentença é
		de morte.

nunca podem ser atingidas por um algoritmo que impõe aos dados uma estrutura em árvore, onde tudo passa pela raiz, e portanto onde as relações só podem ser cada vez de maior ordem. No nosso exemplo o algoritmo criou uma relação ternária, muito sedutora, mas que, por não existir nos dados, é errónea.

E é errónea, não apenas porque produziu regras erradas. É-o, muito basicamente, por duas razões:

- Quaisquer que fossem os dados, uma relação ternária (Pena — Assassino — Vítima ou Pena — Vítima — Assassino) teria sempre que surgir. O estado da Florida estava à partida condenado pelo ID3 a um veredicto em que as penas eram explicadas em termos das raças dos assassinos e das vítimas.
- Seria impossível, também à partida, obter uma estrutura onde a raça da vítima e a do assassino explicassem a pena de morte de uma forma aditiva.

A título de informação complementar, convirá saber-se que uma modelação cuidadosa mostrou que os únicos efeitos significativos são dois, e são binários: A pena de morte é mais provável quando a vítima é branca, qualquer que seja a raça do assassino. Os assassinos são mais provavelmente sentenciados à morte quando negros, qualquer que seja a raça da vítima. A ideia de que assassinos negros de vítimas brancas são mais prováveis candidatos à pena capital não encontra confirmação nos dados. Tal relação ternária está muito longe de acrescentar uma quantidade significativa de variabilidade explicada ao modelo.

O exemplo apresentado mostra pois que a mensagem transmitida pelos dados pode ficar completamente distorcida pelo facto do algoritmo ID3 impôr uma estrutura lógica.

Isto dar-se-á especialmente em problemas onde a verbosidade se opõe à precisão. A indução de regras não se mostra adequada à modelação de problemas simples. Havendo grande variedade de atributos, o algoritmo parece conseguir bons progressos no sentido da simplificação, especialmente ao princípio. Mas diante de problemas com poucos atributos e onde a estrutura interna é importante, a indução de regras é de evitar.

Conclusão: Num final de Xadrez o desenlace é determinado pelos atributos. Mas não é simples. Aí, a tarefa de um sistema que aprende seria a de reduzir a complexidade eliminando redundâncias,

ordenando e classificando. Procura-se como meta a simplicidade. Neste caso, a indução de regras parece convincente.

A distribuição de penas de morte na Florida é simples. Mas o desenlace não é determinado pelos atributos. Aqui, a tarefa de um sistema capaz de aprender é a de modelar, isto é, reduzir a informação não-significativa e revelar apenas o que é geral. Neste caso, a indução de regras mostra-se pouco convincente. além disso, a estrutura imposta pelo algoritmo pode conduzir a inferências errôneas.

Sistemas periciais: Os sistemas periciais comuns fogem de soluções em termos de efeitos porque estas, ao contrário das árvores de regras, não conduzem a um veredicto lógico. Porém, esta razão de conveniência não justifica o uso do algoritmo ID3 em problemas onde ele falsearia as conclusões.

Acresce que a descrição em termos de efeitos estatísticos que os modelos proporcionam, também se presta à inferência. O facto da computação simbólica não se dar bem com esta forma de inferir mostra apenas que todos os utensílios têm a sua especificidade.

10.4.3 Como Podar Árvores de Regras?

A objeção seguinte decorre da anterior. Não existindo correspondência entre a estrutura desenhada pelo modelo e qualquer característica interna da população, o problema de determinar até que ponto se devem considerar como significativos os desenvolvimentos de regras descobertas pelo modelo (isto é, como “podar” a árvore) torna-se um exercício cego.

Faz sentido medir a relativa importância de, por exemplo, um efeito isolado em Análise de Variância. Faz sentido discutir a significância de uma pendente em Regressão Linear. Relações causais podem ser testadas para avaliar o seu peso relativo, e isso faz sentido. Mas não parece tão claro como se há-de discutir a significância de pedaços isolados de representações embricadas obtidas a partir de observações não-embricadas. Não havendo correspondência entre o efeito e qualquer característica da população, um teste de significância passa a centrar-se no próprio modelo; deixa de ser um teste da importância de um efeito quando acareado com a variabilidade total.

Mesmo assim, sugere-se uma modificação no procedimento sugerido por alguns autores (ver por exemplo [29]). A aproximação correcta, caso um algoritmo de indução de regras faça sentido, é a de calcular G ou outra estatística para a árvore toda, i.e., sem podar. Depois de cada poda “para trás”, calcula-se G sobre o que resta da árvore original.

Pode obter-se a significância da diferença entre ambas as medidas, a qual se distribui segundo um Qui-Quadrado com tantos graus de liberdade quantos os que se perderam ao podar. Assim, ter-se-ia uma ideia de quando parar. É difícil de dizer se este método iria dar resultados muito diferentes dos obtidos pelos métodos habituais; mas parece mais adequado do que medir a significância de folhas soltas que por sua vez não representam nada de real.

10.5 Indução de Regras e Modelos Usuais em Finanças

Têm-se vindo a estudar as principais objecções ao uso dos algoritmos para indução de regras como ferramentas estatísticas. Vamos agora ver outros problemas não tão gerais, mais próprios dos modelos que se usam em finanças. A este respeito salientar-se-ão duas limitações: Os problemas decorrentes da discretização de observações e a avaliação de pro-babilidades a-priori.

10.5.1 Problemas de Medição

Em modelação estatística a informação disponível pode apresentar-se em diferentes escalas de medição. É costume seguir Stevens [42] e considerar quatro escalas, segundo o poder ou riqueza de informação. Lembra-se brevemente as suas características.

Medidas Nominais, simples conjuntos de categorias ou etiquetas. Classificam conjuntos disjuntos como o mesmo ou diferente, mas não qualificam as diferenças.

Medidas Ordinais, capazes de comparar ordenações relativas sem contudo quantificarem o tamanho dos intervalos que separam um caso do seguinte.

Escalas Intervalares, que introduzem uma métrica de intervalos iguais mas com origem arbitrária.

Escalas Racionais, a forma mais poderosa de medir, que possui um zero e iguais intervalos. As suas propriedades correspondem às dos números reais.

É sempre possível extrair ordens ou etiquetas de medidas mais ricas. Em tal caso, perde-se informação. Mas não é possível extrair medidas de maior conteúdo informativo a partir de escalas pobres: As etiquetas contêm menos informação do que as ordens; e estas, menos do que as escalas.

Deve ainda notar-se, com Stevens, que as operações permitidas nos dados são específicas do tipo de medição a que pertencem, ou de maior ordem com perda de informação. Um instrumento de modelação estatística apropriado para um dado tipo de medição será geralmente inválido com tipos menos ricos pois requer operações não suportadas por esse nível. Inversamente, uma técnica estatística apropriada para níveis pobres será pouco eficaz no uso que faz da informação disponível quando em níveis mais ricos.

A indução de regras lida com o mais pobre de entre os tipos de medição: Só pode manejar simples categorias não-ordenadas. Quando aplicamos estes algoritmos a observações racionais, como costumam ser as encontradas em modelos financeiros, é preciso perceber-se qual a informação que se está a perder e como esta perda irá influir nos resultados.

Assim, o uso de dados racionais como simples etiquetas compreende três sucessivas reduções que danificam o conteúdo informativo das observações da seguinte forma:

1. Ignorar a existência de um zero real é o mesmo que considerar o zero como uma posição arbitrária. Em modelação financeira, a diferença entre ganhos e perdas esvai-se.

2. Ignorar a métrica intervalar é o mesmo que limitar a informação sobre um conjunto de empresas a uma simples ordenação (primeiro, segundo, terceiro, ...) mesmo quando se tratar de empresas tão diferentes em tamanho como a General Motors, a IBM e a mercearia local.
3. Finalmente, ignorar mesmo a ordenação, como os algoritmos de indução de regras fazem quando aplicados a escalas racionais, é o mesmo que limitar a informação acerca das empresas referidas acima à afirmação de que são diferentes, como de facto são, e mais nada.

Claramente, a perda de informação é severa. Isto pode reflectir-se no comportamento final do modelo. Só uma razão muito especial pode conduzir a aceitar tal simplificação.

O dano causado no conteúdo informativo das observações pelo uso de técnicas de mo-delação redutoras é às vezes difícil de reconhecer intuitivamente. Uma possível razão está no facto de que as etiquetas possuem geralmente informação elas próprias, embora não acessível directamente. Uma etiqueta a que se deu o nome de “segundo” ou “negativo”, quando aposta sobre dados nominais, pode dar a impressão de que esses dados contêm em si mesmos informação sobre ordem ou escala. E de facto, pode recuperar-se alguma da informação perdida guardando-a nas etiquetas e criando uma tabela de correspondências ou mapa para interpretar resultados. Porém, em modelos onde se pretenda uma aprendizagem automática, este domínio sobre a informação perdida pode tornar-se difícil.

As técnicas de indução de regras, quando usadas sobre dados financeiros discretizados da maneira descrita acima, não produzirá regras erradas. Mas os resultados podem ser enganadores devido a esta falta de controlo sobre o conteúdo informativo que a discretização fez perder. Duas situações muito semelhantes podem gerar regras que estabelecem alternativas diferentes; e duas posições realmente diferentes podem facilmente ser alisadas numa simples, grosseira, regra que as descreve a ambas.

10.5.2 Probabilidades e Correlações A-Priori

Os modeladores baseados na indução de regras, pelo facto de usarem apenas variáveis no-minais, sofrem ainda de outro contratempo: Passa a ser preciso ter em conta, explicitamente, pressupostos Bayesianos quanto a probabilidades a-priori. De outra forma não é possível interpretar correctamente os resultados (ver por exemplo [4] [18]).

Os mecanismos usados para indução de regras têm como base a comparação de diferentes frequências. Assim, torna-se obrigatório um ajustamento bayesiano segundo as probabilidades a-priori existentes, como acontece com outros classificadores (Análise Discriminante ou Regressão Logística por exemplo).

Quando Mingers [30] aplica o algoritmo ID3 ou outro dos algoritmos para indução de regras à previsão de resultados de futebol, usa 164 jogos. Na sua amostra, a proporção de cada possível resultado é de 79/164 (vitória), 40/164 (empate) e 45/164 (derrota). Será que estas proporções

concordam com qualquer pressuposto acerca das proporções observadas na população? Podem ser usadas, como o são, como probabilidades a-priori implícitas?

A inferência bayesiana caracteriza-se pelo subjectivismo. As discussões em torno dos valores adequados para as probabilidades a-priori raramente são conclusivas. Assim, quando é possível usar instrumentos mais ricos em capacidade de modelar a informação existente, o facto de com eles se evitar subjectivismos já parece razão suficiente para os preferir.

10.6 Sumário

A pesquisa em árvore, própria do ID3 parece eficaz em tarefas que exijam redução da complexidade determinística já que, ao ordenarem os atributos por poder explicativo do desenlace, vão eliminando uma boa parte ou mesmo toda a redundância associada com cada um deles.

Perante dados não determinados a tarefa de um sistema capaz de aprender é a de reduzir a informação não-significativa e revelar apenas o que é geral. Neste caso a indução de regras mostra-se pouco convincente. além disso a estrutura embricada imposta pelo algoritmo pode conduzir a inferências erróneas.

Capítulo 11

Indução de Regras e Robustez

O último capítulo deste estudo mostra que o ID3 tem uma promissora aplicação em modelos sequenciais de decisão financeira. Este algoritmo é capaz de dar ao gestor, entre outras interessantes medidas, uma quantificação da robustez, tal como foi introduzida na secção 9.3.

11.1 O ID3 em Modelos Sequenciais

Em face do exposto no capítulo anterior, qual é o futuro das técnicas de indução de regras em modelação financeira? Em primeiro lugar, mostrar-se-á que existem modelos que criam estruturas semelhantes à que o ID3 supõe nos dados. Na secção 11.1.2 discutir-se-á a adequação das medidas baseadas em quantidade de informação a problemas de decisão.

11.1.1 Estruturas Concordantes

No capítulo 10 foram apontados alguns inconvenientes do uso de algoritmos para indução de regras como utensílios de modelação estatística. Catalogando as técnicas usuais em finanças, estes reparos aplicam-se especialmente aos modelos baseados em sistemas de equações, à simulação e aos classificadores estatísticos. Mas existe um âmbito de utilização ao qual eles não se aplicam. Trata-se dos modelos sequenciais de decisão, conhecidos como árvores de decisão. Com efeito, as observações (atributos e desenlace) são, em projectos de investimento, de natureza nominal ou ordinal; e a estrutura interna é embricada, hierárquica, coincidindo portanto com a estrutura que o ID3 supõe existir nos dados.

Árvores de decisão: Para um dado projecto de investimento, procura-se com a respectiva árvore de decisão representar todos os desenlaces possíveis em função das decisões e das circunstâncias exteriores que a eles conduzem. As árvores de decisão contêm dois tipos diferentes de atributos: Aqueles que dependem dos gestores — as decisões — e aqueles que não dependem — as “jogadas da natureza” ou respostas do azar —. Estes últimos são o elemento probabilístico. As árvores

de decisão usam-se para descobrir as decisões que conduzem ao desenlace óptimo esperado, para depois analisar a sensibilidade deste desenlace a diferentes cenários, ou para simulação [16].

Uma vez que as referidas decisões e respostas do azar formam uma sequência no tempo, as árvores de decisão são modelos hierárquicos onde os efeitos se encontram embricados dentro dos referentes ao período anterior. São estruturalmente semelhantes a finais de Xadrez onde um elemento indeterminado estivesse presente.

Decisões sequenciais originam sempre este tipo de desenhos embricados. Como vimos, muitos dos primeiros ensaios de algoritmos para extracção de regras foram conduzidos sobre problemas de decisão sequenciais. O trabalho de Quinlan — extrair regras de finais de Xadrez — é um exemplo típico de estrutura sequencial embricada: O primeiro movimento condiciona todos os restantes, o segundo os seguintes e por aí fora. Como acontece com as decisões num investimento.

Sendo assim, a mais ponderosa objecção ao uso do ID3 — a possibilidade de induzir regras erróneas quando a estrutura embricada se impõe a dados que não o são — deixa de estar de pé. Por outro lado, a incapacidade do ID3 para generalizar também não é importante no caso de árvores de decisão. Não se espera de uma árvore de decisão — construída para retratar um dado projecto de investimento — que possa ser usada em todos os restantes projectos do mesmo género.

Ver-se-á agora que a estatística usada pelo ID3 como critério é especialmente adequada à quantificação da causalidade dos atributos e, no caso concreto de desenlaces discretos, é também capaz de reduzir a redundância porventura existente.

11.1.2 Quantificação da Causalidade

No capítulo 10 foram introduzidas duas medidas baseadas na quantidade de informação: O ganho e a entropia. Aplicar-se-ão estas medidas à comparação de jogos de azar. O objectivo é determinar o real peso, em projectos de investimento, do conteúdo probabilístico das diversas hipóteses que o gestor enfrenta. Mais especificamente, os próximos parágrafos procuram determinar qual a quantidade de informação que falta aos gestores para tomar uma decisão à qual se seguem jogadas da natureza.

Informação, incerteza e probabilidades: Nas árvores de decisão é costume usarem-se probabilidades, p_i , para quantificar a verosimilhança de cada desenlace, i , associado a atributos indeterminados.

As probabilidades são apenas uma entre várias possíveis maneiras de expressar expectativas ou tendências acerca de acontecimentos incertos. Existem expectativas quando há alguma informação disponível sobre o desenlace mas esta é incompleta. A probabilidade de 9/10 associada à extracção de uma bola branca de uma urna dá ideia de uma forte expectativa ou a existência de informação quase completa sobre tal desenlace.

Porém, a forma como as probabilidades medem expectativas não é a mais sugestiva no caso de árvores de decisão. Para que um gestor fique de posse de todos os dados necessários a uma decisão,

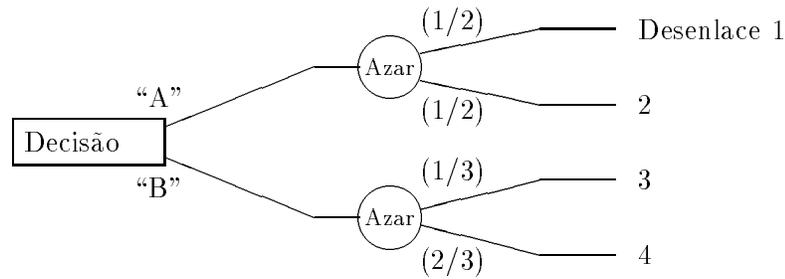


Figura 11.1: Um elemento básico de qualquer árvore de decisão. A uma decisão de um gestor (“A” ou “B”) segue-se a “resposta da natureza”. As probabilidades associadas a cada desenlace estão entre parêntesis.

precisará de saber, além das probabilidades associadas a acontecimentos incertos, o número desses acontecimentos e a sua estrutura.

Por exemplo, uma probabilidade de $1/2$ associada ao desenlace i mede algo muito diferente consoante se trate de um jogo com dois ou seis possíveis desenlaces. No primeiro caso, expressa expectativas nulas ou ausência de qualquer informação. No segundo, esta mesma probabilidade expressa uma tendência ou expectativa forte a favor da ocorrência de i ou uma apreciável quantidade de informação acerca do desenlace. Em termos mais gerais, se N é o número de possíveis desenlaces, uma probabilidade de $1/N$ de que um deles se dê significa ausência de expectativas ou um máximo de incerteza.

Seria desejável medir, com uma só observação, a expectativa associada a jogos sequenciais. Isto tornaria a interpretação de árvores de decisão muito mais fácil. Ver-se-á nos parágrafos seguintes que o algoritmo ID3 é capaz de fornecer uma tal medida.

A incerteza de um jogo de azar: É costume usar-se a entropia para medir a incerteza associada a um atributo não determinado. É fácil de ver que H , tal como foi definida em (10.2) (página 122) pode ser escrita como a média ou valor esperado da informação que falta para conhecer completamente um desenlace:

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i \quad (11.1)$$

onde p_i é a probabilidade de ocorrência de cada um dos N possíveis desenlaces que esse atributo — um jogo de azar — contempla. De novo, $H = 0$ denotaria completa informação sobre o desenlace. Nesse caso o atributo seria determinístico. No outro extremo, $H = \log N$ significaria uma total ignorância sobre o desenlace ou uma completa ausência de expectativas. O atributo seria maximamente indeterminado.

Entre os dois casos extremos, uma expectativa ou uma tendência moderada fica completamente descrita por H . Considerar a entropia em vez de uma coleção de probabilidades e sua estrutura pode simplificar e fazer mais realista a tomada de decisões.

PROBABILIDADES	ENTROPIA	PROBABILIDADES	ENTROPIA
1/2 e 1/2	0.30	1/5 e 4/5	0.22
1/3 e 2/3	0.28	1/10 e 9/10	0.14
1/4 e 3/4	0.24	1/20 e 19/20	0.09

Tabela 11.1: Relação entre Entropia e Probabilidade num jogo com dois desenlaces.

Para entender porquê, considerar-se-á uma decisão à qual se seguem, para cada possível movimento do gestor, uma jogada da natureza. Esta simples árvore de decisão, esquematicamente representada na figura 11.1, pode considerar-se como o elemento básico de qualquer decisão. Neste caso, o uso da entropia dá ao gestor a possibilidade de comparar, com mais realismo do que se usasse colecções de probabilidades, cada um dos possíveis jogos da natureza associados às opções que enfrenta.

A figura 11.1 mostra uma decisão à qual se segue um entre dois jogos envolvendo dois possíveis desenlaces com probabilidades de ocorrência de p_1 e $p_2 = 1 - p_1$. Ao contrário do que seria intuitivo, a diferença entre uma incerteza dada por

$$p_1 = \frac{1}{2}, p_2 = \frac{1}{2} \text{ e a incerteza gerada por } p_1 = \frac{1}{3}, p_2 = \frac{2}{3}$$

é negligível e não merece ser tida em consideração excepto quando o jogo associado a cada decisão tem que repetir-se muitas vezes. Tal facto é claramente visível quando se usa a entropia de cada um deles como uma estimacção da incerteza. A tabela 11.1 mostra o valor de H para pares de probabilidades associados a um jogo com dois possíveis desenlaces.

Não há diferença significativa na entropia associada a um jogo onde as probabilidades são $\{1/2, 1/2\}$ e outro onde elas são $\{1/3, 2/3\}$. As diferenças só começam a ser importantes a partir de $1/3$. Na figura 11.1, apesar das probabilidades parecerem indicar uma quebra na incerteza quando a decisão é “B”, esta é na realidade mínima.

A relação entre probabilidades e incerteza — a informação que falta conhecer sobre um desenlace — não é linear. Em redor de valores de $p = 1/N$, grandes variações de p conduzem a pequenas variações da incerteza. E nos extremos, quando p se aproxima de zero, qualquer pequena variação de p produz uma grande variação em incerteza.

Quantificação da causalidade: Quando, em vez do exemplo simples descrito acima, se está perante uma árvore de decisão mais complexa, o efeito enganador das probabilidades ou dos valores esperados — que são combinações lineares de probabilidades — pode fazer com que percursos semelhantes pareçam diferentes ou ao invés.

O algoritmo ID3, ao juntar probabilidades, número de possíveis acontecimentos e estrutura numa única medida de informação, vem ao encontro deste problema. Em primeiro lugar, estruturas sequenciais de probabilidades são transformadas num desenho ou representação da importância relativa de cada atributo para o desenlace. E em segundo lugar, este algoritmo reduz a redundância

ou complexidade aparente de tal modo que certas características dinâmicas da decisão, antes escondidas, ficam visíveis.

O algoritmo ID3 clarifica a relativa importância das causas de cada possível desenlace em problemas de decisão com atributos probabilísticos baseando-se em medidas da quantidade de informação. Citando Ashby [3],

A teoria da comunicação é basicamente uma contagem. (...) Tal contagem foi estendida para dar respostas a problemas que teriam desafiado os métodos do contabilista tradicional: Casos onde as causas são contínuas, ou onde se encontram causas relevantes misturadas com outras que o não são. Quando estudamos a forma como a quantidade de informação se distribui e evolui dentro de um sistema, o que estamos realmente a medir são as *quantidades de causa e efeito* que trabalham dentro desse sistema.

O facto de algoritmos como o ID3 serem capazes de quantificar causas é central para este estudo e está directamente ligada à noção de robustez que se pretende explorar.

11.1.3 Como Aplicar o ID3 a Árvores de Decisão

Vai-se agora mostrar como o algoritmo ID3 pode extrair regras a partir de árvores de decisão representando projectos de investimento. Usar-se-á um exemplo elementar, com o fim de introduzir a metodologia. Mais tarde descrever-se-á um caso próximo da vida real. Nessa altura explicar-se-á como o ID3 quantifica a robustez de cada decisão.

Numa árvore de decisão, a verosimilhança de cada possível desenlace calcula-se multiplicando as probabilidades associadas a todos os atributos ao longo do percurso que conduz a esse desenlace. Esta verosimilhança tem uma interpretação intuitiva: Ela é a frequência esperada (relativa) de esse desenlace quando, hipoteticamente, o projecto se repete muitas vezes nas mesmas condições.

O conjunto de desenlaces e respectivas frequências esperadas e atributos é aquilo que o algoritmo ID3 vai transformar. Como resultado, obtém-se uma árvore de regras. Para este estudo é importante que se continue a observar o resultado sob a forma de árvore (estrutura hierárquica) e não apenas como uma colecção de regras.

O exemplo simples de árvore de decisão com o qual se ilustrará esta metodologia está representado esquematicamente na figura 11.2. O atributo “Programa” é uma decisão. O gestor pode escolher entre os programas “A” ou “B”. O atributo “Procura” é um acontecimento incerto que não depende do gestor (uma “jogada da Natureza”). No alto da árvore podem ver-se os desenlaces possíveis com a forma de um Valor Actual Líquido (NPV). Como é prática corrente, só interessa saber se os NPV são positivos ou negativos.

Vamos descrever o uso do ID3 por etapas. Elas são:

Transformar os desenlaces para que sejam nominais: O Valor Actual Líquido (NPV) de cada desenlace é considerado como podendo ser apenas “positivo” ou “negativo”. É esta a in-

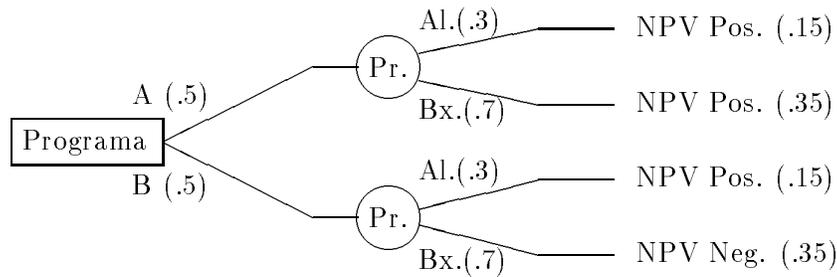


Figura 11.2: Uma árvore de decisão muito simples. *Pr.* é o atributo Procura. Entre parêntesis, a verosimilhança de cada classe.

VALOR ACTUAL LIQUIDO:	PROCURA	PROGRAMA	FREQUÊNCIA
Positivo (+)	Alta	A	15
Positivo (+)	Baixa	A	35
Positivo (+)	Alta	B	15
Negativo (-)	Baixa	B	35

Tabela 11.2: O conjunto de desenlaces, seus atributos e frequências esperadas.

formação que importa quantificar em projectos de investimento. Recorda-se que só é recomendável o uso do ID3 quando desenlaces nominais fazem sentido.

Considerar a informação a-priori associada com os atributos: Caso não exista nenhuma informação deste tipo, os atributos que representam decisões são igualmente verosímeis a-priori. Portanto, iguais probabilidades devem ser atribuídas a cada um deles. Neste caso, estas probabilidades são $1/2$ pois há duas decisões possíveis.

Construir o conjunto de observações: A tabela 11.2 mostra este conjunto. Cada desenlace aparece associado com os seus atributos e com a respectiva verosimilhança, escrita como se fosse uma frequência. A verosimilhança foi calculada multiplicando as probabilidades associadas ao atributo “programa” pelas associadas ao atributo “Procura”. Multiplicando depois esta verosimilhança por um factor arbitrário, o mesmo para todos os desenlaces, obteve-se uma “frequência”. Portanto, tudo se passa como se existisse um conjunto de observações com tantos casos quantos os desenlaces, depois de multiplicados por um factor proporcional à sua verosimilhança. Na tabela 11.2, a coluna “frequência” foi obtida multiplicando por 100 a verosimilhança de cada desenlace.

Aplicar o algoritmo ID3 a este conjunto de observações: Neste caso muito simples, a primeira etapa de execução do ID3 consistiria em gerar duas tabelas de contingência: Desenlace por Programa e Desenlace por Procura. Depois, ir-se-ia calcular o ganho em informação cruzada de cada uma destas tabelas. E por fim usar-se-ia como raiz da árvore de regras em criação o atributo que aportasse um maior ganho em informação — uma maior causalidade — à previsão do

desenlace. Tanto as referidas tabelas como uma medida aproximada do ganho, o Qui-Quadrado, são mostradas a seguir.

PROCURA	DESENLACE		PROGRAMA	DESENLACE	
	$NPV > 0$	$NPV < 0$		$NPV > 0$	$NPV < 0$
Alta	30	0	A	50	0
Baixa	35	35	B	15	35
Qui-Quadrado: 23.1			Qui-Quadrado: 53.8		

Portanto o atributo Programa explica o desenlace melhor do que o atributo Procura. Sendo assim, o programa figurará como raiz da árvore de regras. Depois, considerar-se-iam separadamente os dois casos do programa ser A ou B e repetir-se-ia o processo para cada um deles. O resultado é esta estrutura lógica:

Se Programa é A então o desenlace é NPV Positivo.

Se Programa é B então:

Se Procura é Alta então o desenlace é NPV Positivo.

Se Procura é Baixa então o desenlace é NPV Negativo.

O ID3 transformou uma árvore de decisão numa árvore de regras. O atributo mais próximo da raiz é o de maior peso causal. Ver-se-á na próxima secção qual o interesse desta transformação.

11.2 Quantificando a Robustez

Nesta secção explorar-se-ão as potencialidades do ID3 como pós-processador de árvores de decisão. Dar-se-á relevo à quantificação da robustez. Para este fim citar-se-á um caso concreto descrito na literatura.

11.2.1 A Árvore de Decisão para “Prism Paints Inc.”

O interesse da indução de regras como pós-processador ou interpretador de árvores de decisão em projectos de investimento será testado com uma versão do problema descrito por Magee [26], que é típico. Citam-se alguns períodos da sua introdução.

“Prism Paints vai precisar de decidir o destino a dar a uma das suas fábricas, muito pequena e incapaz de suprir a qualidade requerida pelo mercado. Existe uma considerável controvérsia entre os gestores sobre a melhor acção — modernizar a operação

construindo boas instalações no local, fechar a fábrica e começar tudo de novo noutro local. (...)”

“Existem 3 cenários operativos que parecem promissores:

Programa A: Modernizar a fábrica e também expandir noutros locais. Este é o menos dispendioso dos três programas supondo uma procura anual baixa (inferior a uma margem cujo valor é conhecido).

Programa B: Fechar a fábrica em questão e expandir noutro sítio. Este programa é o menos dispendioso quando a procura anual é média e se situa entre dois valores conhecidos.

Programa C: Modernizar e também aumentar a fábrica em questão: Este programa é o menos dispendioso quando a procura é alta a ponto de subir acima de uma cota cujo valor é conhecido.”

“As alternativas enunciadas envolvem investimentos significativamente diferentes e parecem conduzir a posições marcadamente distintas em economia operativa também. Subjacente à controvérsia sobre o que fazer, está a incerteza quanto à procura futura do produto. (...)”

“A evidência anterior e as previsões permitem estimar quão verosímil é cada nível de procura: Sabe-se qual a probabilidade de que a procura venha a situar-se no nível baixo, médio ou alto, para cada uma das três etapas do projecto de expansão. Estas previsões aparecem condicionadas à procura na etapa precedente, isto é, a procura em cada etapa depende da procura em etapas anteriores.” (ver a tabela 11.3 na página 145 onde se mostram estas probabilidades).

“Os Meios Libertos são calculados a partir dos tipos de marketing, operações, engenharia e análise financeira mencionados em outros documentos. No caso de Prism Paints, um estudo da distribuição mostra que o lucro operativo relativo de cada um dos três possíveis projectos pode ser expresso em Meios Libertos Líquidos anuais em termos dos três níveis da procura. (...)”

“A administração de Prism Paints estabeleceu uma taxa de rendibilidade desejável, ou um custo de capital que ronda os 14% anuais. Esta é a taxa a ser usada para obter os Valores Actuais dos meios libertos previsionais, sempre que se pretender compará-los.”

Conhecido o investimento que cada alternativa supõe, e estabelecida a taxa de rendibilidade, podem expressar-se todos os desenlaces sob a forma de um Valor Actual Líquido (NPV).

Discretização do NPV: Discussão. Sob condições normais, é raro que um projecto ofereça apenas perspectivas de NPV positivos. Tal situação conduziria ao aparecimento de uma dura concorrência a muito curto prazo. Os lucros excessivamente fáceis são raros e nunca duram muito. Por isso, em modelos de decisão sequenciais que contemplem vários anos, as alternativas reais são

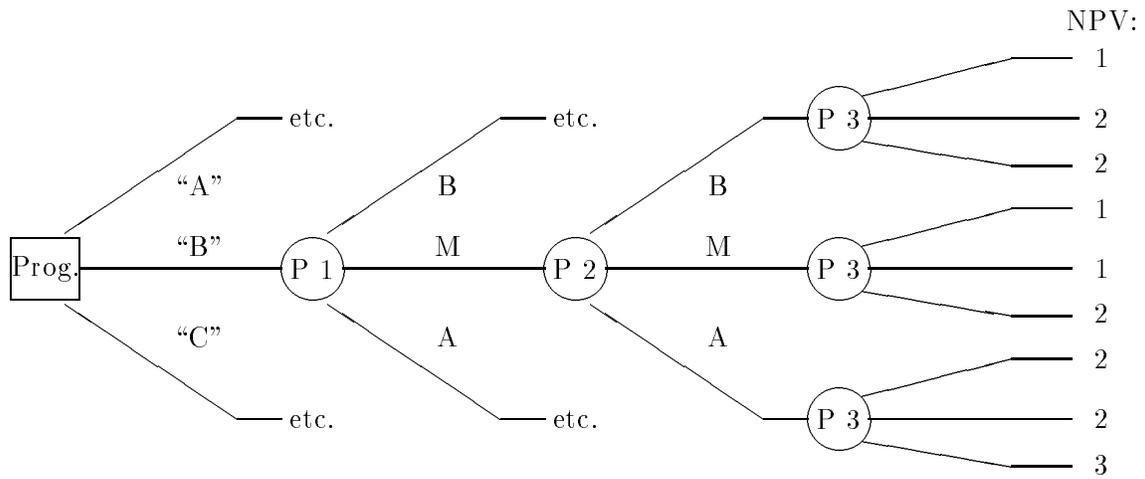


Figura 11.3: A parte central da árvore de decisão para Prism Paints Inc.

PRISM PAINTS INC.		Ano 2			Ano 3		
		Se a procura no ano 1 for:			Se a procura no ano 2 for:		
Nível da Procura	Ano 1	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
Baixa	.50	.35	.15	0	.20	.05	0
Média	.43	.50	.45	.40	.60	.35	.20
Alta	.07	.15	.40	.60	.20	.60	.80

Tabela 11.3: Probabilidades associadas às procuras Baixa, Média, e Alta no projecto para Prism Paints Inc.

o escolher entre cenários que conduzem a NPV ligeiramente positivos e aqueles que levam a NPV negativos. Esta característica é específica da análise de projectos de investimento. Não se aplica a outros tipos de modelação sequencial.

Assim, o NPV parece ser uma variável muito apropriada para algoritmos como os de indução de regras, requerendo desenlaces de tipo nominal. Em projectos de investimento apenas dois desenlaces são importantes, e podem definir-se claramente.

Nas presentes simulações, o NPV foi autorizado a ter três valores: “Negativo”, “Po-sitivo”, e “Lucros Extra”. Isto torna o modelo mais complexo, o que parece desejável ao rastrear a robustez de cada cenário.

Diferenças em relação ao projecto original: No nosso caso, os NPV não foram copiados do texto original: construiu-se um modelo contendo todos os parâmetros deste problema e introduziu-se nele um grau regulável de aleatoriedade. Obtiveram-se assim várias colecções de NPV simulados, e respectivos atributos, cada uma constituindo um diferente cenário. O modelo tem provisões para evitar dominância absoluta e outras situações em que a decisão seria por demais óbvia.

Outro ponto em que o modelo é diferente do original é o facto de os três programas em questão, A, B, e C, permanecerem sem modificação ao longo do tempo: Não se considera a possibilidade de saltos de um programa para outro a meio do projecto. A razão para esta simplificação é o desejo de evitar, neste estudo, situações de difícil interpretação no que respeita à robustez de cada possível cenário.

A procura é modelada como no original (Baixa, Media e Alta) e a cada caso corresponde uma verosimilhança expressa em probabilidades. Assim, a árvore de decisão resultante tem $3^4 = 81$ possíveis caminhos ou “folhas terminais”, com desenlaces (NPV) de três possíveis tipos. A figura 11.3 (página 145) documenta o aspecto desta árvore de decisão.

Não foram consideradas tendências a-priori: Os três programas objecto de escolha apresentam-se, à partida, como igualmente verosimilhanças — na ausência de outra informação. A verosimilhança de cada desenlace determina a frequência de cada caso, como se viu atrás.

11.2.2 Discussão dos Resultados

Limitaremos esta discussão à análise das árvores de regras obtidas a partir de dois dos cenários simulados. Estas árvores encontram-se na figura 11.4, na página 147 e na figura 11.5, na página 150. A tabela 11.4 mostra os 81 NPV e seus atributos correspondentes ao primeiro dos cenários gerados pelo simulador (os que originaram a árvore de regras da figura 11.4). Estes valores são semelhantes aos do artigo original.

O segundo dos cenários distingue-se do primeiro pela maior aleatoriedade que foi autorizada a entrar no modelo e pelo realce do peso do atributo Programa para o desenlace. Trata-se também de um cenário menos pessimista.

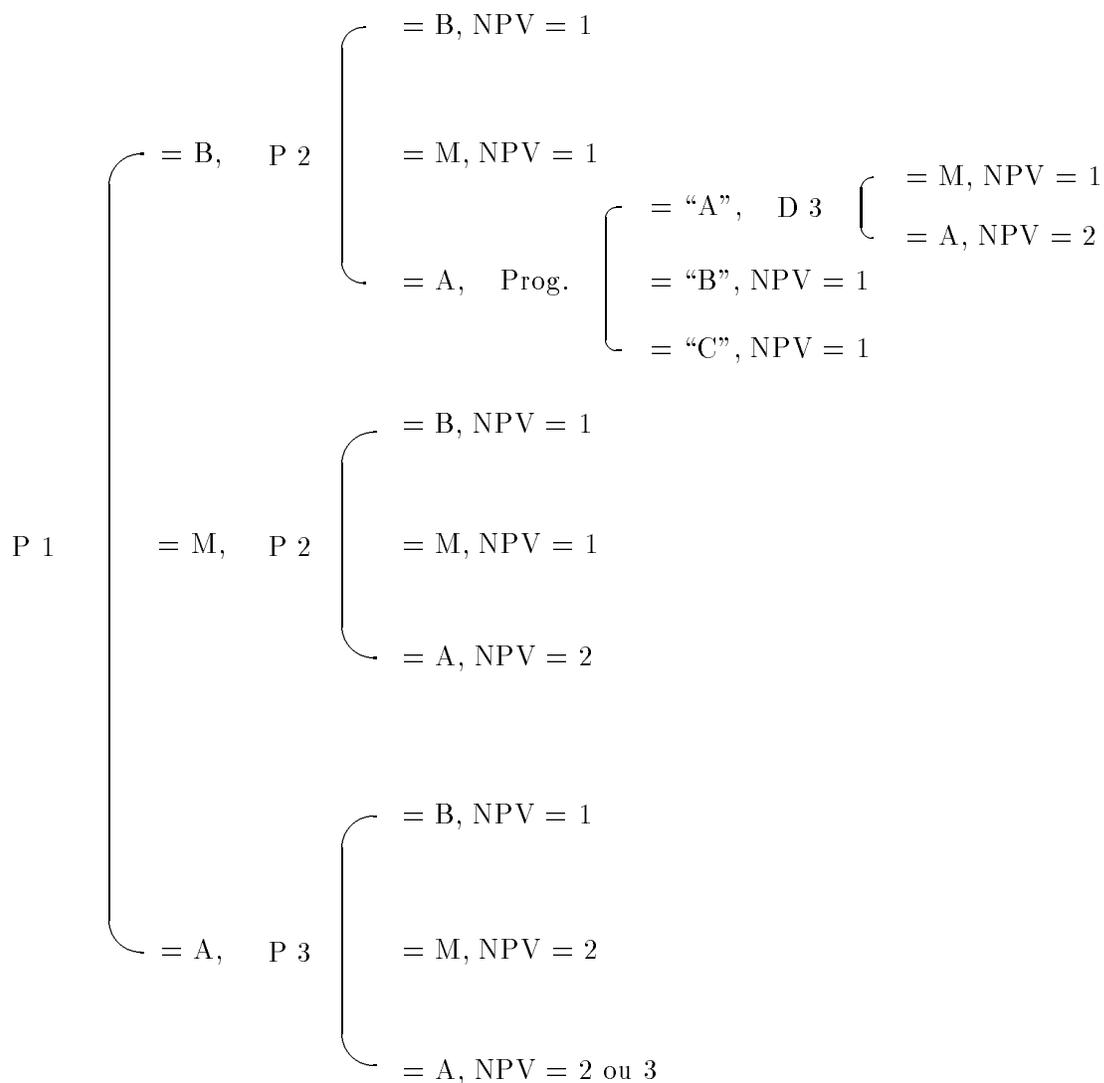


Figura 11.4: Prism Paints Inc.: A árvore de regras obtida pelo algoritmo ID3 a partir do primeiro cenário simulado. NPV= 1 é o negativo; NPV= 2 é o positivo; NPV= 3 é o de “lucros extra”. P 1, P 2 e P 3 são a procura nos anos 1, 2 e 3.

PROCURA			VALOR ACTUAL LÍQUIDO		
Ano 1	Ano 2	Ano 3	Programa 1	Programa 2	Programa 3
Alta	Alta	Alta	Positivo	Lucros extra	Lucros extra
Alta	Alta	Média	Positivo	Positivo	Positivo
Alta	Alta	Baixa	Positivo	Negativo	Negativo
Alta	Média	Alta	Positivo	Positivo	Positivo
Alta	Média	Média	Positivo	Positivo	Positivo
Alta	Média	Baixa	Negativo	Negativo	Negativo
Alta	Baixa	Alta	Positivo	Negativo	Negativo
Alta	Baixa	Média	Negativo	Negativo	Negativo
Alta	Baixa	Baixa	Negativo	Negativo	Negativo
Média	Alta	Alta	Positivo	Positivo	Positivo
Média	Alta	Média	Positivo	Positivo	Positivo
Média	Alta	Baixa	Negativo	Negativo	Negativo
Média	Média	Alta	Positivo	Positivo	Positivo
Média	Média	Média	Positivo	Negativo	Negativo
Média	Média	Baixa	Negativo	Negativo	Negativo
Média	Baixa	Alta	Negativo	Negativo	Negativo
Média	Baixa	Média	Negativo	Negativo	Negativo
Média	Baixa	Baixa	Negativo	Negativo	Negativo
Baixa	Alta	Alta	Positivo	Negativo	Negativo
Baixa	Alta	Média	Negativo	Negativo	Negativo
Baixa	Alta	Baixa	Negativo	Negativo	Negativo
Baixa	Média	Alta	Negativo	Negativo	Negativo
Baixa	Média	Média	Negativo	Negativo	Negativo
Baixa	Média	Baixa	Negativo	Negativo	Negativo
Baixa	Baixa	Alta	Negativo	Negativo	Negativo
Baixa	Baixa	Média	Negativo	Negativo	Negativo
Baixa	Baixa	Baixa	Negativo	Negativo	Negativo

Tabela 11.4: Prism Paints Inc: Valores originais do NPV para cada programa em função da procura nos três anos que dura o projecto.

Como poderão os gestores beneficiar com este pós-processamento de árvores de decisão? Claramente, de duas formas: A indução de regras, ao eliminar redundâncias, produz redução da complexidade. Como consequência, dá-se também uma quantificação da robustez de cada alternativa. A redução da complexidade é capaz de revelar algumas características dinâmicas dos problemas sequenciais de decisão financeira.

Vejamos estes pontos com maior detalhe.

1. Redução da complexidade: Os 81 possíveis percursos, tal como se encontram nas árvores de decisão, originaram um número menor de regras depois de aplicado o algoritmo ID3. A árvore de regras é mais simples do que a árvore de decisão. E é de mais fácil interpretação também. Muita da redundância foi removida. A aplicação do ID3 à primeira das simulações (ver página 147) apenas gerou 12 percursos (uma redução de 85%) e a segunda (ver página 150) gerou 40 percursos (50% menos). A redução da complexidade obtida pelo ID3 é inversamente proporcional à aleatoriedade presente na relação atributos-desenlaces.

É esperável que uma interpretação mais fácil de árvores de decisão por parte dos gestores seja agora possível. Ela ficar-se-á a dever apenas a esta redução de complexidade. Como é sabido, o aspecto intrincado das árvores de decisão é uma das barreiras à sua utilização.

2. Quantificação da Robustez: Como foi visto, numa árvore de decisão existem *atributos de decisão*, que correspondem a escolhas que os gestores podem fazer; e existem também *atributos da natureza* correspondendo a acontecimentos incertos que os gestores não do-minam. O algoritmo ID3 mostra-se capaz de hierarquizar os atributos de acordo com a sua importância para o desenlace. A posição relativa que ocupa cada um destes tipos de atributos na nova árvore de regras irá mostrar o grau de controlo que o gestor tem sobre o processo sequencial que se desenrola.

Na secção 11.1.2 viu-se como as expectativas, quantificadas sob a forma de probabilidades, podem ser traduzidas de modo a reflectir importância causal. O ID3, ao escalar atributos, está a indicar qual a relevância relativa de cada um deles para o desenlace. Os atributos mais relevantes serão os mais próximos da raiz na árvore de regras.

Quando, entre os atributos relevantes, se encontra um atributo de decisão, o gestor tem o poder de determinar o desenlace. Pelo contrário, quando os atributos relevantes são jogadas da natureza, o gestor tem pouco poder sobre o projecto.

Uma decisão que se mostra pouco relevante para o desenlace final indica também um percurso pouco robusto: O gestor, faça o que fizer, enfrenta um desenlace pré-determinado. O seu poder de intervenção é pequeno. Se fôr preciso, no decorrer do projecto, introduzir alterações, é de esperar que tais alterações tenham pouca eficácia na determinação do desenlace. No extremo oposto, quando um atributo de decisão ocupa um lugar perto da raiz da árvore de regras produzida pelo ID3, tal decisão mostra-se como robusta: O desenlace vem determinado por factores que estão na mão do gestor durante o processo, e que ele pode alterar — produzindo modificações eficazes.

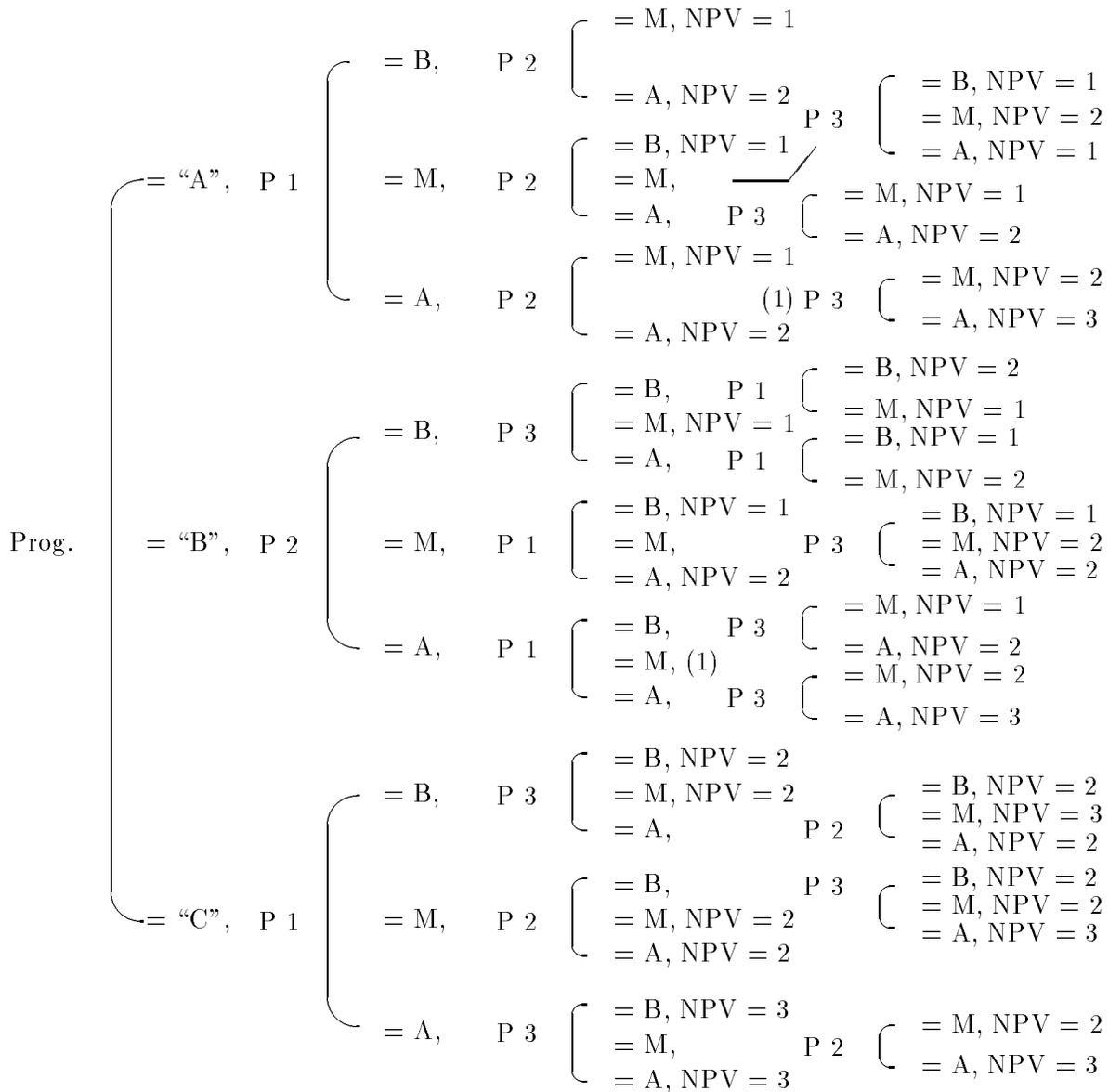


Figura 11.5: Prism Paints Inc.: A árvore de regras obtida pelo algoritmo ID3 a partir do segundo cenário simulado. NPV= 1 é o negativo; NPV= 2 é o positivo; NPV= 3 é o de “lucros extra”. P 1, P 2 e P 3 são a procura nos anos 1, 2 e 3.

Na primeira simulação, a escolha do programa — o atributo de decisão — encontra-se geralmente longe da raiz (ver página 147). Uma vez que a questão é decidir qual dos programas, A, B ou C, deve ser escolhido, pode dizer-se que o ID3, através da árvore de regras, mostra aos gestores que a decisão é irrelevante para o resultado. O gestor tem muito pouco controlo sobre o projecto.

Eventualmente, depois de analisar a árvore de regras da página 147, o gestor poderia preferir um percurso menos óptimo mas mais robusto. Um percurso onde visse que o seu poder de intervenção seria maior. E também estaria interessado no facto do atributo mais causal ser a procura no ano um. Perceberia que, para Prism Paints Inc., o ano crítico seria o primeiro. Também neste caso, uma baixa procura no primeiro ano torna o programa importante. Caso contrário ele não importa nada. Ao reparar que a escolha do programa só parece pesar quando a procura é baixa, um gestor concluiria que as alternativas postas ao investimento não estão proporcionadas à procura. O ID3 conseguiu pôr à mostra uma possível incoerência formal do projecto.

Quanto ao cenário que originou a segunda árvore de regras (página 150), a escolha do programa é o atributo com mais peso para o desenlace. Está-se perante uma decisão robusta. O gestor sabe que as suas decisões têm peso no processo.

3. Quantificação da Complexidade da Incerteza: Nas árvores de regras obtidas, alguns ramos conduzem a zonas “boscosas”, com muitos galhos, enquanto que outras conduzem rapidamente a um conjunto simples de desenlaces. Os primeiros, desdobram-se em atributos até atingirem um NPV final. Os últimos, pelo contrário, levam a um NPV dependente de poucos atributos.

Até agora, pouca atenção tem sido dada na literatura ao problema da *complexidade da incerteza* em problemas de decisão. O ID3, devido à sua capacidade eliminadora de redundância, parece capaz de assinalar esta qualidade.

Os percursos simples são atractivos para os gestores. A incerteza em percursos simples é causada por poucos atributos. É uma incerteza de pequena *dimensão*. Existem menos graus de liberdade a considerar. Na primeira das simulações apresentadas, uma procura elevada ou média no primeiro ano conduz o projecto para uma zona complexa. Os NPV positivos só se alcançam através de percursos complicados enquanto que os NPV negativos são simples de alcançar. Isto é um aviso útil para os gestores.

8. Como poderão os gestores beneficiar com este processamento? Em primeiro lugar, os 81 percursos, tal como se encontram nas árvores de decisão, originaram um número menor de regras depois de aplicado o algoritmo ID3. A árvore de regras é mais simples do que a árvore de decisão. E é de mais fácil interpretação também. Foi removida a redundância criada pelo facto de todos os desenlaces pertencerem a três classes apenas. A redução da complexidade obtida pelo ID3 é inversamente proporcional à aleatoriedade presente na relação atributos-desenlace.

É esperável que uma interpretação mais fácil de árvores de decisão por parte dos gestores seja agora possível. Ela ficar-se-á a dever apenas a esta eliminação da redundância. Como é sabido, o

aspecto intrincado das árvores de decisão é uma das barreiras à sua maior utilização. Além disso, note-se como, nas árvores de regras obtidas, alguns ramos conduzem a zonas “boscosas”, com muitos galhos, enquanto que outras conduzem rapidamente a um conjunto simples de desenlaces. Os primeiros, desdobram-se em atributos até atingirem um NPV final. Os últimos, pelo contrário, levam a um NPV dependente de poucos atributos. Até agora, pouca atenção tem sido dada na literatura ao problema da *complexidade da incerteza* em problemas de decisão. O ID3, devido à sua capacidade eliminadora de redundância, parece capaz de assinalar esta qualidade.

Os percursos simples são atractivos para os gestores. A incerteza em percursos simples tem pequena *dimensão*. Existem menos graus de liberdade a considerar. Na primeira das simulações apresentadas, uma procura elevada ou média no primeiro ano conduz o projecto para uma zona complexa. Os NPV positivos só se alcançam através de percursos complicados enquanto que os NPV negativos são simples de alcançar. Isto é um aviso útil para os gestores.

9. Como foi visto, existem *atributos de decisão*, e *atributos da natureza*. O algoritmo ID3 hierarquiza-os a todos de acordo com o seu poder para causar o desenlace. Os atributos mais relevantes serão os mais próximos da raiz na árvore de regras. Quando, entre os atributos relevantes, se encontra um atributo de decisão, o gestor tem o poder de determinar o desenlace. Caso contrário, o gestor tem pouco poder sobre o projecto.

Na primeira simulação, a escolha do programa — o atributo de decisão — encontra-se geralmente longe da raiz (ver página 147). A árvore de regras mostra aos gestores que a decisão é irrelevante para o resultado. O gestor tem muito pouco controlo sobre o projecto. O atributo mais causal é a procura no ano um. Para Prism Paints Inc., o ano decisivo será o primeiro. Note-se ainda como só uma baixa procura no primeiro ano torna o programa importante. Ao reparar que a escolha do programa só parece pesar quando a procura é baixa, um gestor concluiria que as alternativas postas ao investimento não estão proporcionadas à procura.

Quanto ao cenário que originou a segunda árvore de regras, a escolha do programa é o atributo com mais peso para o desenlace. Está-se perante uma decisão robusta. O gestor sabe que as suas decisões têm peso no processo.

11.3 Sumário

A experiência apresentada neste capítulo mostra que a indução de regras pode ser útil como um pós-processador para modelos sequenciais de decisão. A capacidade de redução de complexidade inerente a algoritmos como o ID3 é bem-vinda e é correcta quando usada em tais modelos. A forma como o ID3 consegue ordenar os atributos segundo o peso da sua capacidade para determinar o desenlace dá aos gestores uma ferramenta interessante na avaliação das características dinâmicas dos projectos. Nomeadamente, eles podem avaliar a robustez das decisões pela posição relativa dos atributos na árvore de regras. É também possível medir a complexidade da incerteza de cada

percurso.

Capítulo 12

Conclusões

O estudo descreveu uma nova ferramenta para ser usada em projectos de investimento conjuntamente com árvores de decisão. Trata-se de um pós-processador capaz de reduzir a redundância existente nesse tipo de modelos, de modo a conseguir uma quantificação da robustez, entre outras medidas úteis para os gestores.

Na primeira parte, explicou-se o que se entendia por robustez e as razões pelas quais o algoritmo ID3 para indução de regras não era adequado como ferramenta de modelação estatística de uso geral. A robustez tem sido apresentada como um critério de decisão, candidato a figurar, junto com o óptimo, em modelos financeiros sequenciais. Porém, a simples flexibilidade operativa descrita por Rosenhead *et al.* [39] não satisfaz as exigências dos projectos de investimento.

Uma medida do poder ou peso das decisões de desencadear o desenlace esperado, independente da estrutura do modelo, parece preferível já que incorpora toda a informação disponível sobre o futuro e não depende do grau de sofisticação pretendido.

Por último, o estudo explorou o uso do algoritmo ID3 como pós-processador de árvores de decisão em projectos de investimento. Mostrou-se como o ID3 encontra nos dados a estrutura que supõe existir. Sublinharam-se as vantagens decorrentes da existência, neste tipo de modelo, de desenlaces nominais ou ordinais. E finalmente, ilustrou-se com um exemplo conhecido o uso do ID3 em árvores de decisão e a forma como este algoritmo mostra aos gestores a robustez e a dimensão da complexidade de cada percurso.

Bibliografia

- [1] S. Alter. *Decision Support Systems: Current Practice and Continuing Challenge*. Addison-Wesley (Reading, MA), 1980.
- [2] W. Ashby. Constraint analysis of many-dimensional relations. *General Systems Yearbook*, 9:99–105, 1964.
- [3] W. Ashby. Measuring the internal information exchange in a system. *Cybernetica*, 8(1):5–22, 1965.
- [4] G. Barnard and D. Cox. *The Foundations of Statistical Inference*. Methuen, London, 1962.
- [5] Y. Bishop, S. Fienberg, and P. Holland. *Discrete Multivariate Analysis*. MIT Press, Cambridge, MA., 1978.
- [6] H. Braun and J. Chandler. Predicting stock market behaviour through rule induction. In R. Trippi and E. Turban, editors, *Investment Management - Decision Support and Expert Systems*, pages 78–93. Boyd and Fraser, Cambridge, MA, USA, 1990.
- [7] L. Breiman, J. Freidman, R. Olshen, and C. Stone. *Classification and Regression Trees*. Wadsworth International, California, 1984.
- [8] R. Cavallo and G. Klir. Reconstructability analysis of multi-dimensional relations: A theoretical basis for computer-aided determination of acceptable systems models. *International Journal of General Systems*, 5:143–171, 1979.
- [9] G. Cestnik, I. Kononenko, and I. Bratko. Assistant 86: A knowledge elicitation tool for sophisticated users. In I. Bratko and N. Lavrac, editors, *Progress In Machine Learning*. Sigma Press, London, England, 1987.
- [10] R. Conant. Structural modelling using a simple information measure. *International Journal of Systems Sciences*, 11(6):721–730, June 1979.
- [11] R. Conant. Detection and analysis of dependency structures. *International Journal of General Systems*, 7:81–91, 1981.

- [12] J. Friend and W. Jessop. *Local Government and Strategic Choice*. Tavistock, London, 1969.
- [13] I. Good. Maximum entropy for hypothesis formulation especially for multidimensional contingency tables. *Annals of Mathemat. Statistics*, 34:911–934, 1963.
- [14] S. Gupta and J. Rosenhead. Robustness in sequential investment decisions. *Management Sciences*, 15:B–18, 1968.
- [15] B. Hertz and H. Thomas. *Risk Analysis and its Applications*. Wiley, New York, 1983.
- [16] F. Hespos and P. Strassman. Stochastic decision trees for the analysis of investment decisions. *Management Science*, 11:224–259, 1965.
- [17] E. Hunt, J. Marin, and P. Stone. *Experiments in Induction*. Academic Press, New York, 1966.
- [18] E. Jaynes. Prior probabilities. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, SSC-4(3):227–341, 1968.
- [19] J. Kelly. A new interpretation of information rate. *The Bell System Technical Journal*, pages 917–926, July 1956.
- [20] G. Klir. Identification of generative structures of empirical data. *International Journal of General Systems*, 3:89–104, 1976.
- [21] Y. Kodratoff and M. Manago. Generalisation and noise. *Internatrional Journal of Man-Machine Studies*, 27:181–204, 1987.
- [22] K. Krippendorff. An algorithm for identifying structural models of multi-variate data. *International Journal of General Systems*, 7:63–79, 1981.
- [23] S. Kullback. *Information Theory and Statistics*. Wiley, 1959.
- [24] J. Little. Models and managers: The concept of a decision calculus. *Management Science*, 16(8):466–485, April 1970.
- [25] R. MacCrimmon. *Management Decision Making*, pages 445–495. Contemporary Management: Issues and Viewpoints (McGuire). Eaglewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1977.
- [26] J. Magee. How to use decision trees in capital investment. *Harvard Business Review*, pages 79–96, September 1964.
- [27] G. Marakas. *Decision Support Systems*. Prentice Hall, 1999.
- [28] W. McGill. Multivariate information transmission. *Psychometrika*, 19(2):97–116, June 1954.
- [29] J. Mingers. Expert systems — rule induction with statistical data. *Journal of the Operational Research Society*, 38(1):39–47, 1986.

- [30] J. Mingers. Rule induction with statistical data — a comparison with multiple regression. *Journal of the Operational Research Society*, 38(4):347–351, 1986.
- [31] S. Morton. Computer-driven visual display devices, their impact on the management decision-making process. Technical report, Doctoral Dissertaion, Harvard Business School, 1967.
- [32] T. Niblett. Constructing decision trees in noisy domains. In I. Bratko and N. Lavrac, editors, *Progress In Machine Learning*. Sigma Press, London, England, 1987.
- [33] J. Quinlan. Discovering rules from large collections of samples — a case study. In D. Michie, editor, *Expert Systems in the Micro Electronic Age*. Edimburgh University Press, 1979.
- [34] J. Quinlan. The effect of noise on concept learning. In R. Michalsky, T. Carbonell, and T. Mitchell, editors, *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*. Morgan Kaufman, Los Altos, 1986.
- [35] R. Quinlan. Simplifying decision trees. *Internatrional Journal of Man-Machine Studies*, 27:221–234, 1987.
- [36] P. Race and R. Thomas. Rule induction in investment appraisal. *Journal of the Operational Research Society*, 39(12):1113–1123, 1988.
- [37] F. Rockart. Chief executives define their own data needs. *Harvard Business Review*, 67(2):81–93, March-April 1979.
- [38] J. Rosenhead. Planning under uncertainty. *Journal of the Operational Research Society*, 31:209–216, 1980.
- [39] J. Rosenhead, M. Elton, and S. Gupta. Robustness and optimality as criteria for strategic decisions. *Operational Research Quarterly*, 23(4):413–431, 1972.
- [40] H. Simon. *Administrative Behaviour*. The Free Press (NY), 1945.
- [41] H. Simon. *The New Science of Management Decisions*. Harper and Row (NY), 1984.
- [42] S. Stevens. On the theory of scales of measurement. *Science*, 103:677–680, 1946.
- [43] R. Wipperf. A note on the equivalent risk class assumption. *Engineering Economist*, Spring:13–22, 1966.