



**Universidade de Lisboa  
Faculdade de Ciências**

# **Lógicas Modais de Acção para a Modelação da Interacção entre Agentes e de Organizações**

Filipe Alexandre Azinhais dos Santos

Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Informática

**Abril 1998**

## Resumo

Este trabalho incide no estudo de alguns conceitos de acção úteis para descrever a interacção entre agentes em organizações. Argumenta-se a favor de uma distinção clara entre o conceito de acção “directa” e o conceito de acção “indirecta”, e que este último permite caracterizar de modo simples e abstracto uma noção de responsabilidade particularmente relevante em organizações. É ainda introduzido o conceito de “acto de influência” para representar a interacção entre diferentes agentes. A caracterização formal destes conceitos é efectuada recorrendo à definição de lógicas modais apropriadas, seguindo a mesma tradição de Kanger e Pörn. As propriedades destas lógicas são estudadas, provando-se a correcção e completude das axiomatizações propostas (face à classe de modelos relevante).

Apresenta-se uma abordagem baseada na lógica proposta para a especificação e análise de organizações. Nesta abordagem uma organização é vista como uma sociedade multi-agente onde cada agente tem algumas “capacidades” e onde os agentes interagem de acordo com algumas formas de “relações de poder institucional”. Esta abordagem permite a análise, a um nível de abstracção apropriado, de alguns aspectos da actividade da organização e da interacção com utilizadores externos, através da resposta a questões como “pode o agente x assegurar a tarefa A?”, “que deve o agente x fazer para obter a tarefa A?” e “a quem deverá dirigir-se um utilizador (e.g. num serviço público) para resolver um problema A?”.

Discute-se a automação desta abordagem e apresenta-se uma “bancada”. A “bancada” utiliza um método de prova automática baseado em tableaux estendidos com algumas regras adicionais para suportar os operadores modais clássicos de acção propostos.

Termina-se esboçando algumas generalizações da lógica modal de acção apresentada. São propostos alguns conceitos adicionais e é discutida a sua utilidade na caracterização da interacção entre agentes em organizações.

## Palavras chave

Acção Directa

Acção Indirecta

Influência

Interacção entre Agentes

Lógica Modal de Acção

Modelação de Organizações

Responsabilidade

Tableaux

# Abstract

This work focus on some concepts of agency useful for describing agents' interaction in organisations. It is argued that there is an important distinction to be drawn between a "direct" and an "indirect" agency concept, and that the latter allows an easy and abstract way of expressing a organisational notion of responsibility. An "influence" agency concept is also introduced in order to cope with interactions between different agents. The formal characterisation of these concepts is given by means of modal logics, following the same tradition in the logical characterisation of act descriptions as employed by Kanger and Pörn. The properties of these logics are analysed, namely, the correctness and completeness of the proposed axiomatisations (with respect to the relevant model classes).

A logic-oriented framework for the specification and analysis of organisations is proposed. Within this framework, an organization is seen as a multi-agent society where each agent has some "capabilities" and where agents interact according to some forms of "institutionalised power relations". The framework allows the analysis, at an appropriate level of abstraction, of some aspects of the organisation's activity and interaction with external users, by answering questions like "can agent x ensure task A?", "what should x do to obtain task A?" and "who should a user approach (in e.g. a public service) to solve problem A?".

The automation of this framework is discussed and a workbench is presented. The workbench uses a tableaux theorem proving method extended with some additional rules to deal with the proposed classical action modalities.

Finally, some generalisations of the proposed modal action logic are outlined. Some further concepts are proposed and their usefulness for the characterisation of agents' interaction in organisations is discussed.

## Keywords

Agents' Interaction  
Direct Action  
Indirect Action  
Influence

Modal Action Logic  
Organisation Modelling  
Responsibility  
Tableaux

## Agradecimentos

Agradeço ao Professor Doutor José Carmo a excelente orientação científica e a permanente disponibilidade com que acompanhou o trabalho apresentado nesta dissertação. Estou-lhe também grato pelo encorajamento que me deu durante o período de realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Helder Coelho agradeço a prontidão com que aceitou ficar responsável pela minha co-orientação, bem como a colaboração e o incentivo constante.

Ao Professor Doutor Andrew Jones agradeço as múltiplas sugestões, críticas e discussões a propósito da formalização dos conceitos apresentados neste trabalho.

Desejo agradecer também às seguintes pessoas que comentaram fragmentos deste trabalho: Ingmar Pörn, Marek Sergot, Henning Herrestad, Pedro Ramos e Luís Botelho.

Ao Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação do Instituto de Ciências do Trabalho e da Empresa agradeço os meios disponibilizados para a elaboração desta dissertação.

O meu trabalho foi fundamentalmente suportado, na sua fase inicial, pelo projecto nacional JURAD (financiado pelo programa STRIDE, FEDER e pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica - JNICT - sob o número STRDA/C/TIT/86/92-JURAD, coordenado pelo Professor Doutor José Carmo) e pelo projecto nacional MAGO (financiado pela JNICT sob o número PCSH/C/OGE/1038/95-MAGO, coordenado pelo Professor Doutor José Fiadeiro). A minha actividade de investigação foi ainda parcialmente suportada pelo projecto internacional MODELAGE (ESPRIT Basic Research Working Group 8319) e, mais recentemente, pelo projecto nacional SARA (financiado pela JNICT sob o número PRAXIS/2/2.1/TIT/1662/95-SARA, coordenado pelo Professor Doutor Helder Coelho). Uma visita de investigação à Universidade de Oslo foi financeiramente suportada por uma bolsa de estudo de curta duração no âmbito do Acordo Cultural Luso Norueguês.

Agradeço também a todos aqueles que indirectamente me ajudaram na realização desta dissertação. Em particular: à Maria Júlia Lima, o ânimo que me deu durante o período final deste trabalho; e ao meu filho Miguel, a sua contribuição para tornar a minha vida feliz.

# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LÓGICA MODAL PROPOSICIONAL: REVISÃO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS E RESULTADOS RELEVANTES PARA A DISSERTAÇÃO.....</b>	<b>6</b>
2.1 LINGUAGEM.....	6
2.2 LÓGICA MODAL.....	8
2.2.1 <i>Abordagem Dedutivo-Axiomática</i> .....	10
2.2.2 <i>Abordagem Semântica</i> .....	19
2.2.3 <i>Relacionamento entre a Abordagem Dedutivo-Axiomática e Semântica</i> .....	28
<b>3. LÓGICAS MODAIS DE ACÇÃO: MOTIVAÇÃO E BREVE PANORÂMICA.....</b>	<b>36</b>
3.1 MOTIVAÇÃO.....	37
3.2 OS TRABALHOS PERCURSORES DE STIG KANGER E INGMAR PÖRN.....	39
3.3 LÓGICAS MODAIS DE ACÇÃO: BREVE PANORÂMICA.....	46
3.3.1 <i>As Lógicas de Acção de Stig Kanger e Ingmar Pörn</i> .....	47
3.3.2 <i>As Lógicas de Acção de Brian Chellas e Nuel Belnap</i> .....	50
3.3.3 <i>A Lógica de Acção de Dag Elgesem</i> .....	56
<b>4. INTERACÇÃO ENTRE AGENTES EM ORGANIZAÇÕES.....</b>	<b>63</b>
4.1 A NOÇÃO DE RESPONSABILIDADE ORGANIZACIONAL.....	64
4.2 ACÇÃO DIRECTA VS. ACÇÃO INDIRECTA.....	67
4.3 PRINCÍPIOS DE TRANSMISSÃO DA ACÇÃO E ACTOS DE INFLUÊNCIA.....	72
4.4 A LÓGICA $LACT_N$ .....	79
4.4.1 <i>Caracterização Axiomática e Semântica</i> .....	80
4.4.2 <i>Correcção e Adequação</i> .....	83
<b>5. ESPECIFICAÇÃO E ANÁLISE DE ORGANIZAÇÕES.....</b>	<b>92</b>
5.1 ESTRUTURA E MODELO DE UMA ORGANIZAÇÃO.....	93
5.2 ANÁLISE SUPORTADA.....	112

<b>6. AUTOMAÇÃO.....</b>	<b>124</b>
6.1 INTRODUÇÃO BREVE AOS MÉTODOS TABLEAUX.....	125
6.2 MÉTODO TABLEAUX PARA SISTEMAS DE LÓGICA MODAL CLÁSSICA PROPOSICIONAL .....	134
6.3 DEMONSTRADOR DE TEOREMAS DE $LACT_N$ .....	150
6.4 AUTOMAÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO E ANÁLISE DE ORGANIZAÇÕES.....	155
6.4.1 <i>Geração do Modelo</i> .....	156
6.4.2 <i>Bancada e Exemplos de Utilização</i> .....	164
<b>7. ALGUMAS EXTENSÕES À LÓGICA PROPOSTA.....</b>	<b>172</b>
7.1 ACÇÕES COM-SUCESSO VS. ACÇÕES NÃO-NECESSARIAMENTE-COM-SUCESSO.....	172
7.2 CARACTERIZAÇÃO DE PRINCÍPIOS DE TRANSMISSÃO DA ACÇÃO.....	178
<b>8. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO .....</b>	<b>184</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>188</b>
ANEXO 1: IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DEDUTIVO $TLACT_N$ .....	188
ANEXO 2: CÓDIGO DA BANCADA.....	198
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>213</b>

# 1. Introdução

Tem existido um considerável esforço de investigação visando o desenvolvimento de paradigmas apropriados à informatização de organizações. As contribuições neste contexto são muitas e têm aparecido em áreas tão diversas como as dos *Sistemas de Informação*, *Inteligência Artificial Distribuída* e *Trabalho Cooperativo Suportado por Computador (CSCW)* (veja-se referências em [Skarmeas 95; Laudon & Laudon 96]). Embora seja geralmente reconhecido que o sucesso da informatização de uma organização depende da adopção de modelos organizacionais explícitos [Dobson & Strens 94; Skarmeas 95], poucas têm sido as abordagens que os consideram. Esta é uma das razões pela qual muitas das aplicações no contexto das organizações têm demonstrado pouca versatilidade face às mudanças organizacionais.

Esta ausência de modelos organizacionais explícitos tem-se repercutido no âmbito das técnicas de modelação existentes. Técnicas de modelação largamente divulgadas como o OMT [Rumbaugh *et al.* 91] não suportam directamente conceitos usualmente utilizados na caracterização de organizações (e.g. responsabilidade, autorização, atribuição de poder, delegação). Outras especialmente concebidas para a caracterização de organizações, e.g. ORDIT [Dobson & Strens 94], consideram alguns conceitos organizacionais (e.g. responsabilidade, direito, delegação), mas não oferecem nenhuma descrição clara do seu significado. Consequentemente a interpretação dos conceitos mencionados depende das intuições dos utilizadores destas técnicas de modelação. Isto tem óbvias consequências na informatização de organizações, uma vez que a ausência de um significado claro desses conceitos impede à partida uma análise sistemática das organizações especificadas por essas técnicas de modelação.

Identifica-se portanto claramente a necessidade de investigar modelos organizacionais explícitos onde os conceitos organizacionais relevantes sejam precisamente compreendidos e não apenas tratados informalmente. O trabalho apresentado nesta dissertação visa contribuir para a resolução deste problema, através da aplicação de técnicas da lógica formal na caracterização de alguns conceitos organizacionais relevantes à especificação e análise de organizações.

Segue-se aqui a perspectiva proposta em [Norm 91], considerando organizações como instâncias de *sistemas normativos*, i.e. um conjunto de agentes inter-actantes cujo comportamento pode ser encarado como governado por normas. Segundo esta perspectiva, a caracterização de uma organização consiste fundamentalmente na caracterização normativa da interacção dos agentes relevantes para a organização, sendo essa interacção caracterizada em termos do que os agentes

estão permitidos ou obrigados a fazer (não esquecendo a possibilidade de o seu comportamento se poder desviar do *ideal*) e em termos de outras relações normativas complexas entre eles.

A adopção da *perspectiva dos sistemas normativos* não significa porém que não se está ciente de que as organizações apresentam algumas peculiaridades que as distinguem de outros tipos de sistemas normativos. Admite-se que alguns conceitos normativos podem ser simplificados no contexto das organizações. Admite-se também que existem, no contexto das organizações, noções relevantes que exigem um tratamento específico.

Uma das principais vantagens da adopção desta perspectiva unificadora consiste no facto de se capitalizar muito do trabalho que tem sido feito na área da aplicação de técnicas da lógica formal à análise de sistemas legais e sociais, e consequentemente alertar para noções e problemas fundamentais que não podem ser evitados quando se pretende realmente representar com precisão a *interacção entre agentes*. De facto, quando se pretende automatizar alguns aspectos desta interacção no âmbito das organizações, é essencial que conceitos tais como *direito, permissão, obrigação, poder, autoridade, responsabilidade e delegação*, sejam precisamente compreendidos e não apenas tratados informalmente (veja-se e.g. [Jones & Sergot 92, 96]).

O trabalho apresentado nesta dissertação foi inspirado pelo estudo do conceito de *responsabilidade* usualmente utilizado para definir o *papel* dos agentes numa organização. Este tipo de responsabilidades (adiante designadas por *responsabilidades organizacionais*) estão normalmente associadas a tarefas e definem a participação esperada dos vários agentes que participam numa organização. Para além disso, estas responsabilidades dependem da posição que cada um dos agentes ocupa na organização, pois muitas vezes é assumido implicitamente que os agentes responsabilizados têm os poderes necessários para satisfazer essas responsabilidades (poderes esses que dependem também da posição que esses e os restantes agentes ocupam na organização). Consequentemente, quando se considera este conceito de responsabilidade na especificação de organizações, um dos aspectos de análise de organizações que surge naturalmente é o de saber se as responsabilidades estão bem atribuídas, i.e. que agentes estão sobre-responsabilizados (no sentido em que não têm as capacidades ou os poderes necessários para satisfazer todas as suas responsabilidades), e que agentes estão sub-responsabilizados (no sentido em que têm mais capacidades e poderes que responsabilidades).<sup>1</sup> Ou ainda analisar se existem agentes responsáveis para todas as tarefas relevantes de uma organização.

Por outro lado, em organizações os agentes satisfazem as suas responsabilidades agindo, quer individualmente, quer em colaboração com outros agentes. Consequentemente, os aspectos de análise mencionados dependem fortemente do inter-relacionamento preciso entre *responsabilidades*

---

<sup>1</sup> Estes aspectos de análise são igualmente referidos em [Cholvy *et al.* 97] (onde as lógicas aqui propostas são utilizadas em combinação com outras).

*organizacionais* e as formas de *interacção entre agentes* disponíveis na organização. Isto motivou que se investisse na caracterização de padrões de *interacção entre agentes* capazes de possibilitar esse inter-relacionamento. O conceito de *responsabilidade organizacional* orientou assim a investigação para a discussão de conceitos de acção nele envolvidos e o estudo de lógicas de acção adequadas à sua caracterização formal.

As contribuições efectuadas nesta dissertação para a caracterização da *interacção entre agentes* consistem essencialmente na proposta de quatro novos conceitos de acção e correspondentes operadores lógicos: o conceito de *acção directa*, o conceito de *acção indirecta*, o conceito de *acção directa de influência* e o conceito de *tentativa*.

Adoptou-se como referência as lógicas modais de acção desenvolvidas no âmbito da tradição lógica iniciada com as teorias formais apresentadas por Stig Kanger e Ingmar Pörn em [Kanger 57, 72, 84, 85; Kanger & Kanger 66; Pörn 70, 71, 74, 77, 89], por se considerar que as lógicas aí propostas, e em particular as suas lógicas de acção, apresentam características importantes na modelação da interacção entre agentes e de organizações.

A estratégia seguida para propor os operadores de acção mencionados foi a seguinte: os conceitos organizacionais seleccionados foram confrontados com o poder expressivo dos conceitos propostos e formalizados por aqueles autores; e quando necessário foram propostos operadores adicionais para representar os conceitos organizacionais em análise. A título ilustrativo da estratégia adoptada, a proposta do conceito/operador de *acção indirecta*, inexistente ou pouco claro em contribuições anteriores, foi justificada pelo facto de as *responsabilidades organizacionais* descreverem em geral os objectivos/tarefas que os agente responsáveis devem assegurar, geralmente com a participação de outros agentes, sem entrar em detalhes relativamente aos actos concretos a efectuar.

Os conceitos acção propostos foram caracterizados por utilização das técnicas formais oferecidas pela lógica modal clássica [Chellas 80], sendo o seu significado discutido em termos sintáctico-axiomáticos, i.e. propondo ou rejeitando axiomas para os operadores modais envolvidos na representação desses conceitos e confrontando as consequências dessas opções - de acordo com as propriedades do sistema lógico obtido - com as intuições que esses conceitos sugerem. O sistema lógico obtido permite deduções com o adequado grau de abstracção necessário à análise de actividades organizacionais envolvendo múltiplos agentes, bem como o relacionamento destas com a satisfação de *responsabilidades organizacionais*.

Procedeu-se entretanto ao estudo da utilização dos conceitos de acção assim caracterizados no âmbito da especificação e análise de organizações. O modelo de organização proposto considera uma organização como um conjunto de agentes com capacidades de executar tarefas e com poderes efectivos para responsabilizar/influenciar outros agentes para obter resultados/tarefas. Os aspectos

de análise de organizações foram abordados com base nos conceitos de acção e dos seus inter-relacionamentos (implícitos) com o conceito de *responsabilidade organizacional*.

Embora muito simples, o modelo de organização proposto permite suportar alguns aspectos de análise cujo interesse potencial abrange aspectos relacionados com o desenho de organizações e a análise das suas propriedades, e.g. análise da atribuição de responsabilidades e da distribuição de tarefas, através da resposta às seguintes questões (assumindo uma estrutura pré-definida de uma organização  $o$ ):

- 1) pode um agente  $x$  ser responsável por uma tarefa  $t$ , na organização  $o$  ?
- 2) a quem, na organização  $o$ , se deve dirigir um agente para resolver um certo problema ?
- 3) a quem pode/deve um agente  $x$  atribuir sub-tarefas, na organização  $o$  ?

Por último procedeu-se ao estudo da automação da análise de organizações suportada pelo modelo organizacional. Isto motivou a investigação de métodos de prova automática apropriados para suportar deduções na lógica de acção proposta, uma vez que se verificou a inexistência de métodos para automatizar lógicas modais clássicas não-normais (como é o caso da lógica de acção desenvolvida neste trabalho). Nesta dissertação contribui-se também neste contexto, através de propostas de vários métodos de prova automática baseados em *tableaux semânticos* aplicados a alguns sistemas de lógica (uni)modal clássica proposicional não-normal.

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

No capítulo 2 apresentam-se os conhecimentos sobre lógica modal que se considera essenciais para a leitura desta dissertação.

No capítulo 3 apresentam-se contribuições anteriores da lógica modal na representação de conceitos de acção, dando especial ênfase às lógicas modais de acção desenvolvidas no âmbito da tradição lógica iniciada com as teorias formais apresentadas por Stig Kanger e Ingmar Pörn. Apresentam-se ainda brevemente as teorias propostas por Kanger e Pörn e realça-se o poder expressivo obtido pela combinação dos operadores modais utilizados nas suas lógicas.

No capítulo 4 discute-se o conceito de *responsabilidade organizacional* e a necessidade de noções mais abstractas de acção para o representar. Confronta-se esse conceito com o poder expressivo das lógicas modais apresentadas no capítulo anterior e propõe-se uma distinção clara entre a noção de “acção directa” e a noção de “acção indirecta”. A noção de “acção indirecta” é então utilizada - em combinação com a noção de obrigação - na caracterização de responsabilidades organizacionais. Refere-se o poder expressivo adicionalmente obtido pela introdução das noções de acção referidas e ilustra-se a sua utilização através da descrição de actividades organizacionais envolvendo múltiplos agentes, bem como o seu relacionamento com a satisfação de responsabilidades. O nível de abstracção utilizado impõe ainda a necessidade de obter descrições

mais detalhadas das actividades organizacionais referidas. Para resolver essa necessidade, propõe-se ainda a noção adicional de “acção directa de influência (de um agente sobre outro)” e discute-se alguns “princípios de transmissão da acção” que podem ser considerados nas organizações. Procede-se à caracterização lógica das noções apresentadas e termina-se o capítulo com a apresentação do sistema lógico obtido e o estudo das suas propriedades (incluindo a sua correcção e completude face à classe de modelos relevante).

No capítulo 5 abordam-se aspectos de especificação e análise de organizações com base nos conceitos de acção apresentados no capítulo 4 e dos seus relacionamentos (implícitos) com o conceito de *responsabilidade organizacional*. Apresenta-se um modelo de organização que integra os conceitos de acção propostos e discute-se a formalização dos aspectos de análise de organizações por ele suportados.

No capítulo 6 apresenta-se um método de prova automática baseado em *tableaux semânticos* para o sistema lógico apresentado no capítulo 4, discutem-se as suas propriedades e os critérios adoptados na sua implementação (apresentada no Anexo 1). Discute-se também a aplicação do método de prova à automação da análise de organizações. São ainda apresentados vários sistemas de tableaux para automatizar as deduções de alguns sistemas de lógica modal clássica proposicional não-normal para os quais não existem actualmente métodos de prova. Embora se tenha provado a correcção dos sistemas de tableaux propostos, não foi possível provar a sua completude.

A análise de organizações é actualmente suportada por uma “bancada” implementada em Prolog (veja-se o Anexo 2). Conclui-se este capítulo com a descrição da “bancada” e com exemplos da sua utilização na análise de organizações muito simples.

No capítulo 7 discutem-se extensões à lógica de acção proposta. Exploram-se, por um lado, extensões lógicas na base do aprofundamento da lógica de acção - através da introdução da noção de *tentativa* (sugerida pela necessidade de generalizar o conceito de “acção directa de influência”) - e, por outro lado, extensões que permitem caracterizar formalmente os “princípios de transmissão da acção” discutidos no capítulo 4. Estas extensões permitem caracterizar e analisar com mais detalhe as condições de cumprimento de responsabilidades organizacionais.

Conclusões e trabalho futuro são apresentadas no capítulo 8.

Excertos do trabalho apresentado nesta dissertação foram publicados em [Santos & Carmo 96a, 96b; Santos *et al.* 97a, 97b].

Refira-se, para terminar, que as lógicas propostas nesta dissertação têm sido utilizadas por outros autores. Em [Cholvy *et al.* 97], na caracterização formal de diferentes conceitos de responsabilidade; em [Tan & Thoen 97], na análise da transferência de obrigações em processos comerciais; e em [Firozabadi & Tan 98], na caracterização formal de situações de fraude.