

SBSI 2019

ARACAJU - SERGIPE



Tópicos em Sistemas de Informação

Minicursos do XV Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI) 2019

SBSI 2019

ARACAJU - SERGIPE



Tópicos em Sistemas de Informação Minicursos SBSI 2019

Organizadores

José Maria N. David
Pablo Marques Menezes
Fabio Gomes Rocha
Igor Vasconcelos

Sociedade Brasileira de Computação - SBC
Porto Alegre
2019



Simposio Brasileiro de Sistemas de Informaçaõ

ARACAJU - SERGIPE

Tópicos em Sistemas de Informaçaõ Minicursos SBSI 2019

Sociedade Brasileira de Computaçãõ - SBC
CNPJ: 29.532.264/0001-78

Coordenaçaõ Geral

Fábio Gomes Rocha
Igor Vasconcelos

Coordenaçaõ do Comitê de Programa

José Maria N. David
Pablo Marques Menezes

Ediçaõ dos Anais

Scheila de Avila e Silva

Realização



Organização



COMISSÃO ESPECIAL DE
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Cooperação



Fomento



Editores

José Maria N. David
Pablo Marques Menezes
Scheila de Avila e Silva
Rodrigo Santos
Davi Viana dos Santos
Fábio Gomes da Rocha
Igor Vasconcelos

Comitê técnico

Coordenação Geral

Fábio Gomes da Rocha (UNIT)
Igor Vasconcelos (UNIT)

Coordenação dos Anais

Scheila de Avila e Silva (UCS)

Coordenação do Comitê de Programa

Rodrigo Pereira dos Santos (UNIRIO)
Davi Viana dos Santos (UFMA)

Coordenação dos Minicursos

José Maria N. David
Pablo Marques MenezesT

Comissão Especial de Sistemas de Informação da SBC (CE-SI)

Coordenador Geral

Valdemar Vicente Graciano Neto
(UFG)

Integrantes do Comitê Gestor

André Pimenta (UFLA)
Carlos Alberto Costa (UCS)
Clodis Boscardioli (UNIOESTE)
Davi Viana (UFMA)
Fabio Gomes Rocha (UNIT)
Flavia Cristina Bernardini (UFF)
Heitor Costa (UFLA)
José Maria N. David (UFJF)
Renata Araujo (SBC)
Rodrigo Santos (UNIRIO)
Scheila de Ávila e Silva (UCS)

Vice-coordenador

Sean Wolfgang Matsui Siqueira
(UNIRIO)

Comitê de Programa Científico

Alessandreia Oliveira	Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
Alex Borges	Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
Alexandre Cidral	Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE)
André de Oliveira	Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
André Freire	Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Andre Martinotto	Universidade de Caxias do Sul (UCS)
Carla Merkle Westphall	Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Carlos Eduardo Santos Pires	Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
Claudia Cappelli	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Daniel Notari	Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Daniela Barreiro Claro	Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Davi Viana	Universidade Federal do Maranhão (UFM)
Debora Paiva	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
Denis Silveira	Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Edmundo Spoto	Universidade Federal de Goiás (UFG)
Fernanda Baião	Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio)
Flávia Bernardini	Universidade Federal Fluminense (UFF)
Flávia Santoro	Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
Flávio Soares Corrêa da Silva	Universidade de São Paulo (USP)
Geiza M. Hamazaki da Silva	Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Glauco Carneiro	Universidade Salvador (UNIFACS)
Heitor Costa	Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Jorge Barbosa	Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)
José Maria N. David	Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
Juliano Lopes de Oliveira	Universidade Federal de Goiás (UFG)
Leonardo Azevedo	IBM Research Brazil
Leticia Peres	Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Marcos Chaim	Universidade de São Paulo (USP)
Maria Istela Cagnin	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
Márcio Barros	Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Mário Dantas	Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
Morganna Diniz	Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Patricia Vilain	Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Paulo Sérgio Santos	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Regina Braga	Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
Renata Araujo	Universidade Presbiteriana Mackenzie
Ricardo Choren	Instituto Militar de Engenharia (IME)
Rita Suzana Pitangueira Maciel	Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Roberto Pereira	Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Rodolfo Resende	Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Rodrigo Santos	Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Scheila de Avila e Silva	Universidade de Caxias do Sul (UCS)
Valdemar Vicente Graciano Neto	Universidade Federal de Goiás (UFG)
Victor Stroele	Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Universidade Tiradentes (UNIT) –

SIB- Sistema Integrado de Bibliotecas

S612 Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (15.: 2019 maio 20-24: Aracaju,SE).

Tópicos em sistemas de informação [recurso eletrônico]: minicursos do XIV Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação = Topics in information systems: short courses of the 15th Brazilian Symposium on Information Systems / Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação; realização: Sociedade Brasileira de Computação, Universidade de Caxias do Sul; org. José Maria David, Pablo Marques Menezes – Aracaju: UNIT: [s/n], 2019.

Dados eletrônicos (1 arquivo).

ISBN 978-85-7669-480-9

Apresenta bibliografia.

Modo de acesso: World Wide Web.

- I. Sociedade Brasileira de Computação. II. Universidade Tiradentes (UNIT). III David, José Maria. IV. Menezes, Pablo Marques. V. Título: Tópicos in information systems: short courses of the 14th Brazilian Symposium on Information Systems

Índice para o catálogo sistemático:

1.Sistemas de recuperação da informação - Congressos

658:004

Prefácio

Este livro reúne trabalhos apresentados nos minicursos ministrados no XV Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI), realizado em Aracajú - SE, no período de 20 a 24 de maio de 2019. Participam do SBSI, fórum nacional de debates da área de Sistemas de Informação (SI), estudantes e pesquisadores com apresentação de trabalhos científicos e discussão de temas contemporâneos relacionados à área.

Neste ano, foram apresentadas 31 propostas de minicursos e 4 foram selecionadas. Tais propostas foram avaliadas por, no mínimo, três pesquisadores que fazem parte de um comitê composto por 44 professores.

Os quatro minicursos sumariados neste livro abordam tópicos de interesse da comunidade de Sistemas de Informação, relacionados à “Complexidade no Sistemas de Informação Modernos”, tema da 15ª edição. O primeiro capítulo, “Technology Roadmap (TRM) e suas aplicações em Sistemas de Informação”, apresenta o Método Technology Roadmapping para apoiar as organizações na identificação de oportunidades de inovação. Para tanto, discute também os conceitos relacionados à inovação. O segundo capítulo, “Architectural Description of Systems-of-Information Systems”, aborda os conceitos relacionados a Sistemas de Sistemas de Informação (SoIS) e, neste contexto, discute a arquitetura de SoIS, e a sua importância para o sucesso desses sistemas. O terceiro capítulo, “Metodologia de Pesquisa - Estudo de Caso Interpretativo em Sistemas de Informação (SI)”, apresenta o Estudo de Caso Interpretativo (ECI), além de discutir os critérios de qualidade para a realização de ECI. O quarto capítulo “Avaliação de Modelos de Predição e Previsão Construídos por Algoritmos de Aprendizado de Máquina em Problemas de Cidades Inteligentes”, discute o processo de avaliação de modelos para Cidades Inteligentes, utilizando soluções no contexto de aprendizado de máquinas. Para tanto, apresenta ferramentas para modelagem do problema e o processo de avaliação de modelos.

Esperamos que este livro auxilie estudantes, pesquisadores e profissionais da área de Sistemas de Informação na construção do conhecimento em temas específicos relacionados ao que foi aqui apresentado.

José Maria N. David (UFJF) e Pablo Marques Menezes (UNIT)
Coordenadores da Trilha de Minicursos do SBSI 2019
Aracaju/SE, Maio de 2019.

Coordenadores dos Minicursos do SBSI 2019



Jose Maria Nazar David é Possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Instituto Militar de Engenharia (1983), mestrado (1991) e doutorado (2004) em Engenharia de Sistemas e Computação pela COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é professor associado e membro do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Juiz de Fora. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Engenharia de Software, atuando principalmente nos seguintes temas: sistemas colaborativos, desenvolvimento distribuído de software, manutenção e evolução de software, visualização de software, e-Science, informática e educação, e ecossistemas de software. É membro da Sociedade Brasileira de Computação (SBC).



Pablo Marques Menezes é Analista de Infraestrutura de redes e segurança em instituição bancária no estado de Sergipe. Professor do Departamento de Computação da Universidade Tiradentes com ênfase em administração e gerência de serviços, ativos e segurança de redes computacionais e cloud computing.

Organizadores Gerais do SBSI 2019



Fabio Gomes Rocha é Bacharel em Sistemas de informação, especialista em engenharia de sistemas, mestre em ciências da computação - UFS, Doutorando em Educação - UNIT, Professor Adjunto 1 do Departamento de Computação da Universidade Tiradentes, líder do GPITIC, coordenador do Projeto Digital-SE, possui certificação Scrum Master e Scrum Master Professional pela Scrum Alliance. Membro da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) e membro do Comitê Gestor da Comissão Especial de Sistemas de Informação (CE-SI) da SBC. Desde 2018, é avaliador de cursos superiores em Computação e Informática no Ministério da Educação (MEC).



Igor Oliveira Vasconcelos é Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Tiradentes (2008), Mestre pela Universidade Federal de Pernambuco (2011) e doutor em sistemas distribuídos na PUC-Rio (2017). Participou de projetos de pesquisa para empresas como Boeing, Marinha dos Estados Unidos, Bell Helicopter, Sikorsky Aircraft, Petrobrás e Liquegás. Atualmente é Professor da Universidade Tiradentes (UNIT), contudo, no mercado local, atuou em projetos de software do Banco do Estado de Sergipe (BANESE), Parque Tecnológico de Sergipe (SergipeParqueTec), SERGÁS, DESO, Grupo Constância Vieira e Sulgipe. Tem pesquisado sobre sistemas de transportes

inteligentes, padrões de condução veicular, detecção de padrões em fluxo de dados, online data mining e IoT.

SUMÁRIO

Technology Roadmap (TRM) e suas aplicações em Sistemas de Informação	1
<i>Márcia França Ribeiro, Renata Mendes de Araujo</i>	
Architectural Description of Systems-of-Information Systems	29
<i>Milena Guessi, Valdemar Vicente Graciano-Neto e Elisa Yumi Nakagawa</i>	
Metodologia de Pesquisa - Estudo de Caso Interpretativo em Sistemas de Informação.....	53
<i>Nadja Piedade de Antonio, Marcelo Fornazin, Renata Mendes de Araujo e Rodrigo Pereira dos Santos</i>	
Avaliação de Modelos de Predição e Previsão Construídos por Algoritmos de Aprendizagem de Máquina em Problemas de Cidades Inteligentes	81
<i>Igor Garcia Sampaio, Flavia Bernardini, Aline Paes, Eduardo de Oliveira Andrade e José Viterbo</i>	

Capítulo

1

Technology Roadmap (TRM) e suas aplicações em Sistemas de Informação

Technology Roadmap (TRM) and its applications in Information Systems

Márcia França Ribeiro, Renata Mendes de Araujo

Abstract

The purpose of this chapter is to motivate and teach students, researchers and professionals in Information Systems to use the Technology Roadmapping Method (TRM), a technology-prospecting tool which helps organizations to identify innovation opportunities in their products and services over a long-term horizon. The chapter presents concepts about innovation and its processes, the role of TRM in innovation processes, the step-by-step method itself, and its importance in guiding professionals and researchers to identify and plan innovation opportunities in their innovation projects and research, in particular in the area of Information System. The chapter was constructed based on studies on innovation in IS postgraduate level and on practical experience of applying TRM in the last years.

Resumo

O objetivo deste capítulo é apresentar aos estudantes, pesquisadores e profissionais na área de Sistemas de Informação o uso do Método Technology Roadmapping (TRM), uma ferramenta de prospecção tecnológica que apoia as organizações a identificar oportunidades de inovação em seus produtos e serviços em um horizonte de longo prazo. O capítulo apresenta os conceitos sobre inovação e seus processos, o papel do TRM nos processos de inovação, o passo a passo do método em si, e sua importância em nortear profissionais e pesquisadores a identificarem e planejarem oportunidades de inovação em seus projetos e pesquisas, em particular na área de Sistema de Informação. O capítulo foi construído com base nos estudos sobre inovação em disciplinas de pós-graduação em SI e em experiências práticas de aplicação do TRM nos últimos anos.

1.1. Introdução

A prospecção tecnológica é o termo utilizado para os estudos que têm por finalidade antecipar e entender as potencialidades, evolução, características e efeitos das mudanças tecnológicas, particularmente a sua invenção, inovação, adoção e uso (Coates *et al.*, 2001). O monitoramento dessas informações oferece vantagens competitivas às organizações, no sentido de estabelecerem seus planos estratégicos visando a inovação e a introdução de novos produtos no mercado.

Araújo & Chueri (2018) defendem a complementariedade dos processos de pesquisa científica e os processos de inovação tecnológica. Enquanto a pesquisa científica instrumenta o pesquisador com métodos que garantem rigor e visa a geração de conhecimento para comunidades científicas, a inovação confere visão aplicada a problemas reais e a desafios para o desenvolvimento de soluções. A combinação destes processos pode alavancar tanto a geração de conhecimento científico com visão aplicada, particularmente importante para a área de Sistemas de Informação, como a produção de artefatos inovadores baseados em pesquisa científica.

A busca e prospecção de informação tecnológica são etapas importante nos dois processos (Araújo & Chueri, 2018). São fundamentais no processo de inovação tecnológica, como também têm se tornado cada vez mais importantes no processo de produção científica, haja vista que a compreensão do “estado da técnica” em uma determinada área também passa pela identificação do conhecimento tecnológico disponível.

Segundo Nunes & Pinheiro-Machado (2017), para oportunizar a produção de um novo produto ou processo advindo de uma pesquisa científica ou da inovação tecnológica, é importante utilizar a prospecção tecnológica para esclarecer questões como: “i) A tecnologia que será produzida é uma inovação? ii) A tecnologia já foi disponibilizada comercialmente? Ela já foi patenteada? Foi ou está sendo comercializada? iii) Se a tecnologia já foi patenteada, quais as lacunas existentes nessa tecnologia? iv) Se a tecnologia não foi patenteada, será que a mesma tem mercado e é passível de interesse nos processos produtivos locais, regionais ou nacionais?”

Considerando o aumento do interesse e prática de geração de conhecimento (tanto científico como tecnológico) em todo mundo na forma de patentes, estimulados por políticas públicas internacionais (Araújo & Paula, 2017), a busca de informação tecnológica torna-se uma atividade importante cujo conteúdo não pode ser negligenciado tanto por pesquisadores como empreendedores. A partir desta constatação, a questão que se coloca é como realizar esta busca. A proposta que apresentaremos neste minicurso é a aplicação de *roadmaps* (Phaal et al, 2004).

As aplicações dos *roadmaps* incluem desde pesquisas científicas de ciência e tecnologia, previsão para políticas governamentais ou para determinado setor industrial, até estudos da evolução de produtos ou tecnologias. A literatura técnica apresenta exemplos de sucesso de desenvolvimento e aplicação de *roadmaps* em diversas áreas da ciência, tecnologia e indústria. Alguns *roadmaps* encontrados não apenas fazem previsões, como também definem barreiras de natureza tecnológica que precisam ser vencidas. Há, em alguns casos, propostas de ações para fomentar e estimular o setor de estudo, identificando os responsáveis por tais ações e estabelecendo um horizonte de tempo para a tomada das mesmas. Neste contexto, o uso de *roadmaps* no planejamento

estratégico das linhas de pesquisa realizadas em empresas, *startups*, universidades ou grupos de pesquisa, em especial na área de Sistemas de Informação (SI), podem auxiliar na identificação de áreas de pesquisa e/ou desenvolvimento tecnológico, bem como identificar os principais *players* visando a propor parcerias estratégicas entre estas organizações.

O objetivo deste capítulo, portanto, é apresentar uma ferramenta de prospecção tecnológica, o *Technology Roadmap* (TRM) (Phaal *et al.* 2001, 2004) e um método para construí-la. Objetiva também demonstrar as implicações dos dados coletados com o uso desta ferramenta para a geração de conhecimento e concepção de soluções para as pesquisas na área de SI. Para isso, o capítulo aborda: na Seção 2, o conceito e o processo de inovação; na Seção 3, o conceito de prospecção tecnológica e as fontes principais de informação tecnológica; a Seção 4 apresenta o TRM e sua capacidade de integrar e comunicar as estratégias de desenvolvimento de mercado, produto e tecnologia com as metas ao longo do tempo; na Seção 5, é apresentado um método de aplicação da construção de *roadmap* tecnológico em projetos na área de Sistema de Informação; e, por fim, na Seção 6, são apresentadas conclusões.

1.2. Inovação

Desde as épocas mais antigas, as inovações já haviam chamado a atenção de vários estudiosos; entretanto, a obra do economista austríaco Joseph Schumpeter, datada do início do século XX, é considerada um marco sob a perspectiva econômica e empresarial. “*Para esse autor inovação é sinônimo de progresso econômico e consiste essencialmente na alocação de recursos produtivos em usos ainda não experimentados*” (Schumpeter, 1971 *apud* Barbieri, 2007). Ainda segundo Schumpeter (1984 *apud* Burlamarqui & Proença, 2003 p. 82-83) “*(...) o impulso fundamental que inicia e mantém a máquina capitalista em movimento decorre dos novos bens de consumo, dos novos métodos de produção ou transporte, dos novos mercados, das novas formas de organização industrial que a empresa capitalista cria (...)*”.

Cabe destacar que a inovação não se resume somente à geração de novas ideias, pois requer a criação ou a invenção de algo novo e a sua posterior aplicação na própria organização ou no mercado. Isto constitui a principal diferença entre a invenção e a inovação: enquanto a primeira é independente do uso, a inovação pressupõe a utilização da criação ou invenção no contexto interno ou externo a organizações. Se a invenção não demonstrar utilidade, não pode ser classificada como inovação (Freire, 1998). Tigre (2006 p. 72) aponta que “*a invenção se refere à criação de um processo, técnica ou produto inédito*”, podendo ser divulgada através de artigos técnicos e científicos ou registrada sob a forma de patente, sem, contudo, apresentar uma aplicação comercial efetiva. “*Já a inovação ocorre com a efetiva aplicação prática de uma invenção*” (Tigre 2006 p.72).

1.2.1. Tipos de inovação

Uma primeira forma de compreender a inovação é pelo seu **objeto**. Segundo Schumpeter (*apud*: Tidd, Bessant & Pavitt 2008), por exemplo, uma inovação pode compreender: i) a introdução de um novo produto no mercado ou a mudança qualitativa em um produto existente (ex. Smartphone); ii) a inovação de um processo que seja novidade para uma indústria (ex. comida à quilo); iii) a abertura de um novo mercado (ex. café gourmet); iv) o desenvolvimento de novas fontes de suprimento de matéria-prima ou outros insumos

(ex. medicamento para convalescentes que se tornou energético popular na Inglaterra); ou v) mudanças na organização industrial ou em seu paradigma (ex. produção em massa de carros por Henry Ford).

Outra dimensão necessária para classificar a inovação diz respeito ao seu **grau de novidade**, ou seja, o quanto o produto existente é novo no mercado ou na sociedade. As inovações ditas **radicais** são aquelas trazidas por produtos ou serviços antes inexistentes no mercado e que provocam grandes mudanças no mundo, nos mercados e na sociedade. Um exemplo de inovação radical é o advento da WWW, o surgimento dos telefones celulares, a criação das máquinas fotográficas digitais. O desenvolvimento de inovações radicais envolve muitos riscos, e em alguns casos, pode-se nem sequer ter total controle sobre o que se está produzindo e o efeito que causará. Na outra ponta deste espectro relacionado à novidade, estão as inovações **incrementais**, que são aquelas inovações que preenchem continuamente o processo de mudança, quer seja em uma organização, região, país ou no mundo. Por exemplo, as constantes alterações nos dispositivos celulares, são inovações incrementais. Inovações radicais tendem a ter alto impacto e, conseqüentemente, possuem potencial de resultados comerciais muito altos. Já as inovações incrementais, partem de algo já conhecido que se deseja aprimorar, possuem menor risco em seu desenvolvimento, e embora também apresentem resultados esperados positivos, são em, em geral, em escala menor.

1.2.2. Inovação Tecnológica

Dentre os diversos contextos onde as iniciativas de inovação surgem no mundo, o conceito de inovação tecnológica é um dos que mais têm sido explorados. Em grande parte, pelo fato de que a tecnologia, em seu sentido mais amplo, há séculos tem sido o principal agente de avanços científicos, econômicos e sociais.

O Manual de Oslo (2006) define o conceito de Inovações Tecnológicas em Produtos e Processos (TPP) como: “(...) *implantações de produtos e processos tecnologicamente novos e substanciais melhorias tecnológicas em produtos e processos. Uma inovação TPP é considerada implantada se tiver sido introduzida no mercado (inovação de produto) ou usada no processo de produção (inovação de processo). Uma inovação TPP envolve uma série de atividades científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais. Uma empresa inovadora em TPP é uma empresa que tenha implantado produtos ou processos tecnologicamente novos ou com substancial melhoria tecnológica durante o período em análise.*” Devemos reparar que o Manual se preocupa em esclarecer que inovação só existe quando implantada e que deve ser distinguida em relação à sua natureza: inovações de produtos (e aqui incluem-se bens ou serviços) ou processos. Além disso, precisa apresentar características novas ou melhorias substanciais, ou seja, devem caracterizar seu grau de novidade, conforme discutido anteriormente.

Então, produtos tecnologicamente novos são aqueles cujas características tecnológicas ou usos pretendidos diferem daqueles dos produtos produzidos anteriormente. Isto pode envolver tanto tecnologias radicalmente novas, como se basear na combinação de tecnologias existentes em novos usos ou mesmo derivadas do uso de novo conhecimento. Produtos tecnologicamente aprimorados são produtos existentes cujo desempenho tenha sido significativamente aprimorado ou elevado. Isto inclui tanto um produto simples aprimorado (em termos de melhor desempenho ou menor custo) através de componentes ou materiais de desempenho melhor; como um produto complexo

que consista em vários subsistemas técnicos integrados pode ser aprimorado através de modificações parciais em um dos seus subsistemas.

Inovações tecnológicas de processos, por sua vez, incluem a adoção de métodos de produção novos ou significativamente melhorados, incluindo métodos de entrega dos produtos. Estes métodos podem envolver: mudanças em equipamentos, mudanças na organização da produção, combinação das mudanças anteriores ou podem derivar do uso de novo conhecimento. Os métodos adotados podem ter por objetivo produzir ou entregar produtos tecnologicamente novos ou aprimorados, que não possam ser produzidos ou entregues com os métodos convencionais de produção e/ou aumentar a produção ou eficiência na entrega de produtos existentes.

O Manual também classifica as inovações tecnológicas de acordo com sua cobertura: i) **máxima**: algo novo no mundo; ii) **intermediária**: algo novo em uma região ou país; ou iii) **mínima**: algo novo na empresa (incluindo também a inovação tecnológica de processo em atividades secundárias da organização). A figura 1.1 resume as características da inovação tecnológica em produtos e processos (TPP) segundo o Manual de Oslo.

			INOVAÇÃO			NÃO INOVAÇÃO
			Máxima	Intermediária	Mínima	
			Novo no mundo	Novo em uma região ou país	Novo na empresa	
INOVAÇÃO TPP	Tecnologicamente novo	Produto				
		Processo de produção				
		Processo de entrega				
	Significativamente aprimorado tecnologicamente	Produto				
		Processo de produção				
		Processo de entrega				
Outras inovações	Novo ou aprimorado	Puramente organizacional				
Não é inovação	Nenhuma mudança significativa, sem novidade ou outras melhorias criativas	Produto				
		Processo de produção				
		Processo de entrega				
		Puramente organizacional				

Figura 1.1. Caracterizando a inovação (Manual de Oslo, 2006)

1.2.3. Processos de Inovação

Uma vez compreendido o conceito da inovação, se motivados ao seu propósito, surge a pergunta: “como tornar a inovação uma realidade?”. Atualmente já são conhecidas condições básicas e atividades que compõem os processos voltados à produção da inovação.

Algo que é reconhecidamente sabido no processo de inovar é que inovação é questão de conhecimento - tanto científico, como tecnológico, como empírico. Para que a inovação surja, é preciso conhecer o **que já está posto** a respeito da ciência, da

tecnologia e da experiência que existe dentro do tema que se deseja inovar. Inovar também envolve informação e observação do *status quo* – **o que é hoje** – em termos de mercado, sociedade e possibilidades tecnológicas. A partir daí a inovação diz respeito à criatividade e criação de coisas novas – **o que pode vir a ser**.

Organizações comerciais inovam para captar a atenção de seus mercados com novos produtos ou novas formas de disponibilização de produtos. Organizações públicas ou sem fins lucrativos inovam para competir com os desafios de proverem saúde, educação e segurança por exemplo. Os processos de inovação são importantes principalmente para que as empresas vençam o desafio de utilizar recursos escassos de forma mais eficaz ou de se tornar mais ágil e flexível em resposta a um cenário diverso ou novo. Como há potencial inovador em qualquer empresa (RIES, 2018), há necessidade latente de gerir estes processos, o que nos leva à **gestão da inovação**.

A gestão da inovação surge na tentativa de minimizar o chamado “dilema do inovador”, definido por Christensen (1997), que trata a dificuldade das empresas administrarem simultaneamente aspectos estáveis e sustentáveis de seus negócios e ao mesmo tempo lidar com os aspectos descontinuados e disruptivos da inovação. A inovação está sempre associada ao risco e seu potencial reside em menos controle. Mesmo a inovação incremental, que parte de algo conhecido a ser aprimorado, envolve riscos.

Em linhas gerais, são quatro as principais atividades da gestão da inovação (Figura 1.2): i) **Procura** – analisar o cenário (interno e externo) à procura de – e processar sinais relevantes sobre – ameaças e oportunidades para mudanças; ii) **Seleção** – decidir – considerar a visão estratégica de como uma empresa pode se desenvolver melhor – sobre a quais desses sinais deve responder; iii) **Implementação** – traduzir o potencial da ideia inicial em algo novo e a lançar em um mercado interno ou externo. Inclui a aquisição de conhecimento, a execução do projeto, lançamento de produtos e sua sustentabilidade no ambiente/mercado; iv) **Aprendizagem** – aprender – organizar e gerir conhecimento sobre os processos e resultados obtidos com os projetos de inovação.

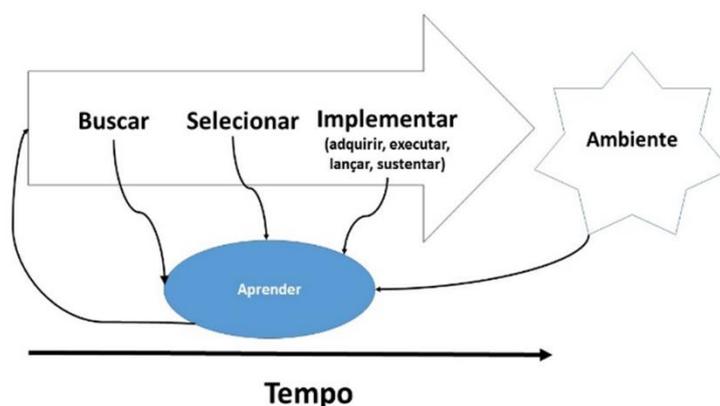


Figura 1.2. Atividades da gestão da inovação (adaptado de Tidd, Bessant & Pavitt, 2008)

Para lidar com a incerteza do processo de inovação, as organizações traçam estratégias que podem envolver desenvolver estas etapas em visões mais racionais – descrever, compreender e analisar o ambiente, determinar um plano de ação e colocá-lo

em execução – ou visões mais incrementais, baseadas em tentativa e erro – tomar medidas (ou mudanças) deliberadas rumo a um objetivo proposto, medir ou avaliar seus efeitos, e ajustar (se necessário) o objetivo e decidir o próximo passo.

Oliveira (2005, p.29) descreve que *“o processo de inovação compreende as etapas de invenção, inovação e difusão. A invenção relaciona-se à criação do novo, podendo ser refletida na publicação de artigos científicos e patentes. No entanto, para que uma invenção se transforme em uma inovação, mesmo que se justifique a viabilidade técnica e econômica do produto ou processo, torna-se necessário o lançamento no mercado e ter sucesso comercial. À medida que uma inovação é introduzida no mercado surgem outras variações, denominadas difusão da inovação, que visam a aproximação dos produtos ou serviços das necessidades do usuário final”*.

Rogers & Schoemaker (1971 *apud* Tigre, 2006 p.73) definem difusão como *“o processo pelo qual uma inovação é comunicada através de certos canais, através do tempo, entre os membros de um sistema social”*. Os processos de inovação e difusão não podem ser totalmente separados, pois, segundo Tigre (2006), em muitos casos a difusão contribui para o processo de inovação, alimentando e direcionando a trajetória da inovação, considerando que a difusão de um produto ou processo no mercado mostra problemas que podem ser corrigidos em novas versões. Esse autor ainda afirma que *“a capacidade para aperfeiçoar e adaptar um novo produto ou processo às condições específicas de um setor ou país é fundamental para o sucesso da difusão tecnológica”* (Tigre, 2006 p.73).

Portanto, neste processo residem interseções importantes entre a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico. A pesquisa científica tem como potencial e responsabilidade econômica e social, gerar novas alternativas, ideias e invenções. O ambiente produtivo, por sua vez, possui capacidade e responsabilidade de introduzir no mercado e na sociedade ideia inovadoras na forma de produtos. No entanto, o conhecimento gerado nestes dois ambientes precisa ser integrado: assim como o ambiente produtivo se beneficia das invenções científicas para a criação de novos produtos, a pesquisa científica pode melhor direcionar suas estratégias, esforços e investimentos quando detém conhecimento sobre os resultados e impactos das inovações de mercado. Por essa razão, temos visto sugestões de meios para que pesquisadores possam integrar às suas pesquisas ferramentas que permitam um contato com o conhecimento tecnológico disponível (Araujo et. al. 2018)(Nunes e Pinheiro-Machado, 2017), entre elas, a prospecção tecnológica.

1.3 Prospecção Tecnológica

A prospecção tecnológica é o termo utilizado nos estudos que têm por finalidade antecipar e entender as potencialidades, evolução, características e efeitos das mudanças tecnológicas, particularmente a sua invenção, inovação, adoção e uso (Coates *et al.*, 2001)(Tigre, 2006 *apud* Teixeira, 2013 p. 16). Nessa perspectiva, a prospecção tecnológica é parte integrante do processo de gestão da inovação, visando agregar a previsão de possíveis impactos (sociais, econômicos, ambientais, institucionais) de uma determinada tecnologia.

A prospecção é uma atividade multicritério, sujeita a incertezas e com algum grau de subjetividade, exigindo a aplicação de métodos sofisticados. Conforme Abreu (2017), os métodos de prospecção possuem três sistemas de classificação a saber: quanto a

natureza, a abordagem e a fonte de conhecimento. Quanto a natureza, podem ser classificados em métodos qualitativos, quantitativos ou semi-quantitativos cujos exemplos são apresentados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Métodos de prospecção tecnológica (extraído de Abreu, 2017)

Métodos de Prospecção qualitativos	
<i>Workshop</i> de cenário	Atividade em grupo com programação dedicada à confecção de cenários futuros, possui duração pré-estabelecida reunindo grupos heterogêneos para refletir sobre os objetivos, alvos e ações do processo de prospecção.
Entrevista	Atividade que reúne pelo menos dois participantes na qual é realizada uma consulta para captar as avaliações e o conhecimento tácito dos entrevistados sobre o tema. A entrevista pode ser estruturada (objetiva) e parcialmente estruturada (objetiva e discursiva).
<i>Brainstorming/</i> tempestade de ideias	Atividade em grupo e interativa na qual as ideias dos participantes (propostas, reflexões, opiniões) sobre um tema são expostas, sem prévia censura, e, depois discutidas em profundidade. As propostas relevantes são classificadas quanto ao grau de pertinência ao assunto.
Matriz de forças, oportunidades, fraquezas e ameaças (FOFA)	Atividade opcionalmente em grupo que consiste na elaboração de matrizes onde são especificadas as dimensões interna (forças e fraquezas) e externa (limites e oportunidades) sobre um tema. Este método permite explorar estratégias, identificar recursos e capacidades.
Métodos de Prospecção quantitativos	
Extrapolação de tendências/análise de impacto	Consiste em extrapolar tendências passadas e resultados presentes de indicadores de um tema num horizonte de tempo futuro (curto, médio, longo), atribuir probabilidade de ocorrência (provável, possível, especulativo) e consequência (positiva, neutra, negativa).
Bibliometria	Compilação e análise quantitativa e estatística de informações de publicações (livros, jornais, revistas e demais fontes) para capturar e informar o conhecimento existente sobre um tema, as tendências e questões emergentes.
Minação de dados em ciência e tecnologia	Semelhante à bibliometria, mas dela diferenciando-se pelo foco exclusivo nas informações em ciência e tecnologia (patentes e publicações especializadas).
Métodos de Prospecção semi-quantitativos	
<i>Delphi</i>	Atividade em grupo interativa que envolve sucessivas consultas aos participantes sobre um tema/questão do processo prospectivo. A cada rodada, o grupo é reduzido, as opiniões são consolidadas e apresentadas aos remanescentes para então, aplicar-se nova consulta em cada etapa. Ao final, espera-se atingir o consenso ou a construção de opinião alternativa sobre o tema e minimizar a possibilidade das influências de poder/conhecimento entre os participantes sobre o resultado obtido.
Matriz de impacto cruzado/análise estrutural	Consiste em elaborar matrizes para avaliar simultaneamente mais de uma variável no contexto do tema/questão do processo prospectivo. Estas variáveis são distribuídas em linhas e colunas onde a célula formada pela interseção da linha com a coluna é preenchida com métricas que reflitam o impacto desta combinação à luz do tema (em geral na forma percentual).
<i>Roadmapping/</i> mapa direcional	Consiste em uma versão do <i>backcasting</i> ¹ caracterizada pelo uso de linha temporal na qual a influência dos principais atores, aspectos regulatórios, tecnologias e mercado são avaliadas em mapas lógicos com a finalidade de comunicação, troca e desenvolvimento de visão coletiva.

¹ *Backcasting*: atividade, opcionalmente em grupo, que consiste em estabelecer uma imagem do futuro e delinear uma trajetória de como alcançá-lo com foco na identificação de estratégias e políticas adequadas (Abreu, 2017)

Quanto a abordagem, os métodos podem ser classificados em exploratório, normativo, evolucionário ou revolucionário. No exploratório, as opções do futuro são construídas pelos insumos informacionais gerados durante o processo de prospecção, enquanto que na normativa toda a informação é customizada tendo em vista o alcance do futuro pré-estabelecido. Por outra vertente, os estudos evolucionário e revolucionário buscam o aprimoramento do tema/questão no contexto dinâmico (Abreu, 2017). Tais tipos de estudos não são excludentes, pois decorrem do aprendizado construído durante a avaliação do processo de prospecção.

Por fim, quanto a fonte de conhecimento os métodos prospectivos são classificados como orientados para: (i) criatividade: onde predomina a imaginação e pensamento intuitivo como, por exemplo, genius forecasting, backasting e ensaios; (ii), experiência: são aqueles dependentes do conhecimento acumulado dos participantes em relação ao tema/questão do processo prospectivo, como, por exemplo, a análise morfológica e avaliação de tecnologias-chave/críticas; (iii) interação: predominam as atividades de grupo que demandam debate ou articulação entre os participantes como, por exemplo, workshops, painel de cidadãos e análise de stakeholders; e (iv) evidência: combinam as fontes de informação baseadas em parâmetros e indicadores estatísticos, conjugadas com as suas respectivas análises, tendo por lema o subsídio à ação informada dos participantes como, por exemplo, a bibliometria, análise de tendências e das informações de CT (Popper, 2008b apud Abreu, 2017).

1.3.1 Fontes de Informação Tecnológica

Existem diversos tipos de informação de natureza tecnológica para a composição de *roadmaps*. Alvares (1997 apud Jannuzzi & Montalli, 1999) define informação tecnológica como “*todo tipo de conhecimento sobre tecnologia de fabricação, de projeto e de gestão que favoreça a melhoria contínua da qualidade e a inovação no setor produtivo*”. Battaglia (1999 p.208), a partir de estudos de Stollenwerk (1997 apud Battaglia, 1999) apresenta-os por tipologia e complexidade, apresentados a seguir:

i) **Informação científica:** circula principalmente no meio acadêmico e é necessária à fase de laboratório da pesquisa básica, aplicada ou do desenvolvimento experimental. Ela corresponde à informação contida em revistas científicas, teses, relatórios internos e anais de congressos.

ii) **Informação técnica:** é necessária na fase que antecede a concretização de decisões. Trata-se do “estado-da-arte” e caracteriza-se sobretudo pelas informações contidas nas patentes.

iii) **Informação tecnológica:** é a informação que retrata a realização prática do desenvolvimento, o que significa colocar em operação as unidades industriais, mediante construção de protótipos, de unidades piloto. Complementa as informações contidas nas patentes, caracterizando o “saber fazer” o *know how*.

iv) **Informação técnico-econômica:** refere-se aos dados macroeconômicos apontados pelos países em forma de resultados, estratégias, cooperação, parcerias, produtos, unidades de produção e mercados, como por exemplo, relatórios anuais e publicações das empresas.

v) **Informações do tipo complementar:** dizem respeito aos aspectos regulamentares e normativos, jurídicos, de segurança e meio ambiente, os quais devem ser considerados na fase de concepção do projeto de pesquisa. Ex. normas.

Mesmo que esta informação esteja amplamente disponível, a sua plena utilização dependerá da capacidade de aprendizagem e dos conhecimentos já assimilados por aqueles que terão acesso a essas informações, sejam os usuários pessoas físicas, sejam instituições. Desta forma, a capacidade de reunir, organizar, analisar e produzir conhecimento proporcionando mudanças a partir do acesso às informações torna-se um diferencial competitivo (Lastres & Ferraz, 1999 *apud* Souza *et al.*, 2007).

O monitoramento dessas informações oferece vantagens tais como (Jannuzzi *et al.*, 2005 *apud* Souza *et al.*, 2007): (i) evitar duplicação de esforços e investimentos em P&D; (ii) identificar novas ideias e soluções técnicas, produtos e processos, estimulando o desenvolvimento tecnológico e a geração de inovações; (iii) identificar o estado-da-arte e o estágio em que se encontra uma determinada tecnologia; (iv) identificar nichos de mercado e tendências relativas a uma nova tecnologia ou produto ainda em fase embrionária; (v) identificar alternativas tecnológicas para um determinado problema; (vi) ter acesso e avaliar uma tecnologia específica bem como identificar possíveis licenciadores; (vii) localizar fontes de *know how* em um segmento tecnológico específico ou em um determinado país; (viii) identificar pesquisadores, grupos de pesquisa e instituições que tenham interesse em determinada tecnologia de modo a possibilitar futuras parcerias; (ix) identificar a existência de direitos de propriedade intelectual evitando cometer infrações; (x) avaliar o potencial de tecnologias e produtos resultantes de esforço próprio com vistas a garantir os direitos de propriedade intelectual; e (xi) monitorar a atividade de competidores.

Dentre as fontes de informação tecnológica, neste capítulo o foco será explorar o uso de patentes e de artigos científicos, haja vista que os últimos são os mais usualmente utilizados pela comunidade acadêmica no entendimento do estado da arte em um domínio, e os primeiros – as patentes – são o foco principal de registro de propriedade intelectual no Brasil e no mundo (Araújo *et al.* 2018)(Araújo & Chueri, 2018).

Cabe destacar ainda que, embora não seja explorado nesse estudo, o registro de programa de computador (software) é uma fonte de informação tecnológica relevante na área de SI uma vez que permite identificar o campo de aplicação desses programas que estão sendo desenvolvidos. Tal registro é protegido pela lei do direito autoral, o que garante a exclusividade na produção, uso e comercialização do programa de Computador registrado (Russo *et al.*, 2012 *apud* Guimaraes *et al.*, 2018).

1.3.1.1. Patentes

As patentes são uma das formas mais antigas de proteção à propriedade intelectual² e possibilitam verificar a proteção dos progressos científicos realizados nas mais diferentes áreas tecnológicas (Lima, 2005). A Figura 1.3 ilustra a Propriedade Intelectual e suas divisões.

² Segundo WIPO (2005 *apud* LIMA, 2005), propriedade intelectual relaciona-se a criações humanas, como, trabalhos literários e artísticos, símbolos, nomes, imagens e desenhos usados no comércio. É dividida em duas categorias: (i) propriedade industrial que inclui patentes, marcas, desenhos industriais e indicações geográficas; e (ii) direitos autorais que inclui trabalhos literários como romances, peças, filmes, livros, músicas.

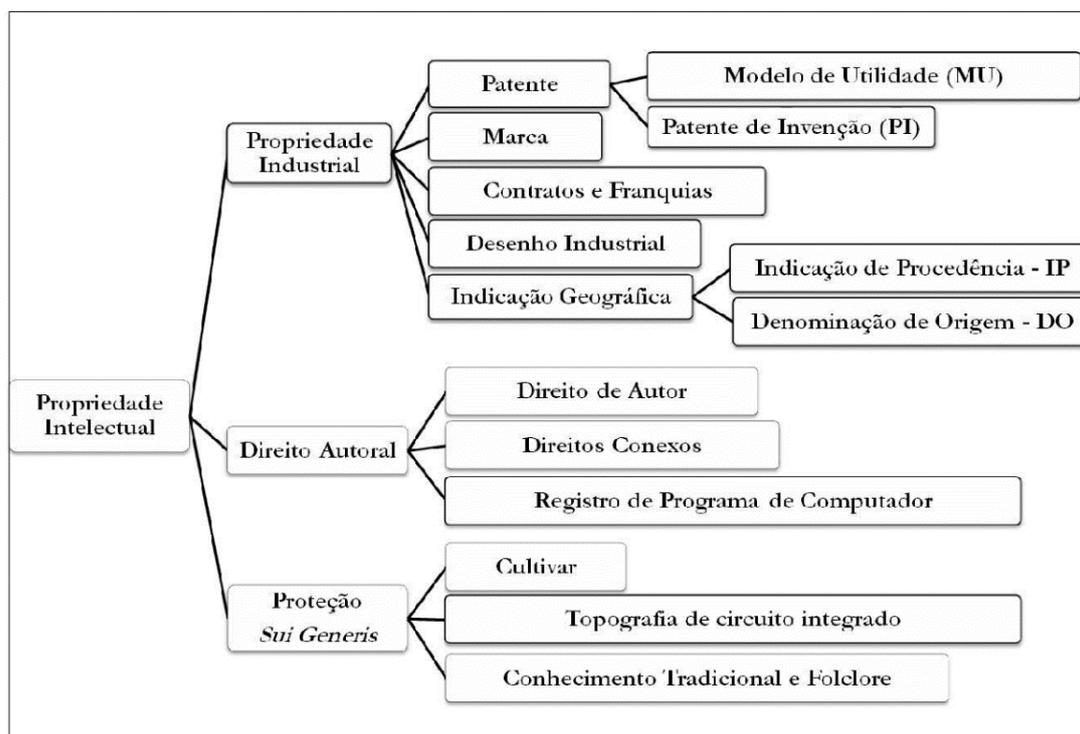


Figura 1.3. A Propriedade Intelectual e suas divisões. (Nunes e Pinheiro-Machado, 2017)

As patentes são ativos intangíveis que protegem criações suscetíveis de serem convertidas em bens materiais ou ativos tangíveis industrializáveis uma vez que conferem ao titular o direito de impedir terceiro, sem o seu consentimento, de produzir, usar, colocar à venda, vender ou importar com esse propósito, o produto objeto de patente e o processo ou produto obtido diretamente por processo patentado (LPI, 1996). Em contrapartida, o inventor se obriga a revelar detalhadamente todo o conteúdo técnico da matéria protegida pela patente (Januzzi *et al.*, 2007). As patentes são classificadas como Patentes de Invenção (PI) – descrevem uma tecnologia que solução um problema técnico – e Modelos de Utilidade (MU) – descrevem uma melhoria funcional na forma ou estrutura de um objeto.

Pode-se afirmar que a patente cumpre três objetivos (Januzzi *et al.*, 2007; Lima 2005): i) proteger os titulares da patente contra imitações de modo que possam recuperar os investimentos realizados no desenvolvimento daquela invenção; ii) garantir o retorno dos investimentos realizados pela organização através da comercialização dos produtos e ainda pelo pagamento de *royalties*; e iii) estimular o desenvolvimento tecnológico a partir da revelação à sociedade do conteúdo protegido disseminando conhecimento e informações tecnológicas.

De acordo com Alencar (2016), a patente é um título de propriedade temporária sobre invenção ou modelo de utilidade, outorgado pelo Estado aos inventores ou autores ou outras pessoas físicas ou jurídicas detentoras de direitos sobre a criação para fazer uso comercial de suas invenções. Quando o título já foi concedido, é chamada de patente concedida (*issued patent*); quando ainda está na fase de análise pelo órgão responsável é chamado de pedido de patente (*applied patent*).

Para haver a concessão de uma patente é necessário o atendimento de cinco requisitos (Araújo & Chueri, 2018)(Lima, 2005): (i) **novidade**, quando a invenção não se encontra compreendida no estado da técnica, ou seja, não tenha se tornado acessível ao público antes da data de depósito do pedido de patente, por descrição escrita ou oral, por

uso ou qualquer outro meio, no mundo; (ii) **atividade inventiva (PI)/ato inventivo**, quando a invenção é dotada de atividade inventiva sempre que, para um técnico no assunto, não decorra de maneira evidente ou óbvia do Estado da Técnica; um modelo de utilidade é dotado de ato inventivo sempre que, para um técnico no assunto, não decorra de maneira comum ou vulgar no Estado da Técnica; (iii) **aplicação industrial**, o que significa que a invenção é suscetível de aplicação industrial quando possa ser utilizada ou produzida em qualquer tipo de indústria; (iv) **melhoria funcional**, quando a introdução em objeto de uma forma ou disposição acarrete comodidade ou praticidade ou eficiência à sua utilização e/ou obtenção; e (v) **suficiência descritiva**, a invenção deve ser descrita de forma clara e completa, de modo a permitir sua reprodução por um técnico no assunto.

Outro ponto a destacar é a existência de organizações que possuem políticas particulares de patenteamento, podendo optar por proteger suas invenções e inovações através de segredo industrial. Aqui, cabe ainda destacar que nem toda patente se transforma em inovação³, conforme mencionado na fundamentação teórica.

Patentes têm se mostrado uma fonte de informação tecnológica relevante para aqueles que buscam a manutenção da competitividade num mercado globalizado e constitui-se o primeiro meio de divulgação de inovações para as indústrias. O uso da proteção patentária como fonte de informação tecnológica, e também como indicador de desenvolvimento tecnológico, apresenta algumas desvantagens que podem justificar a sua não utilização em larga escala em países como o Brasil, tais como: o desconhecimento do profissional da informação sobre as patentes; o elevado custo dos trâmites para a obtenção de uma patente; em áreas de rápida evolução tecnológica há o risco de obsolescência devido ao período de sigilo; áreas como tecnologia da informação, produtos farmacêuticos e químicos podem preferir proteger seus inventos via segredo industrial, dentre outros (França, 1997).

Segundo Barbosa & Macedo (2000 *apud* PERES, 2005) o sistema de informações tecnológicas contidas em documentos de patente apresenta diversas vantagens para os usuários que são apresentadas na Tabela 1.2:

Tabela 1.2 – Vantagens apresentadas nas patentes (extraídos de Peres, 2005)

Tecnologia por excelência	É o único sistema de informação configurado para a finalidade de armazenar conhecimentos tecnológicos, ou seja, destinados à produção de mercadorias. A informação patentária tem a finalidade de divulgar informação técnico-produtiva.
Classificação tecnológica	A Classificação Internacional de Patentes (CIP) é o único sistema de classificação configurado para ordenar as informações técnicas de produção, restrita e especializada para atender à área da produção econômica.
Complementaridade	Os documentos de patente geralmente têm um levantamento do estado da técnica até o momento da invenção que descreve, informando as patentes anteriores, publicações técnicas, nomes dos inventores, empresas titulares, palavras-chave. As informações patentárias podem esclarecer e complementar artigos divulgados pelo inventor, proporcionando visão geral e ampla da invenção, o que nem sempre é feito nos artigos técnicos.
Originalidade	A invenção, para se patenteável, deve ter novidade. Sua divulgação pública original deve ser obrigatoriamente por meio da publicação do documento de patente.

³ Segundo Barbieri (2005 p. 59) “nem toda invenção se transforma em inovação, pois esta só se efetiva se o mercado aceitá-la”.

Atualidade	Os criadores do conhecimento técnico-produtivo têm por política patentear prontamente os resultados de suas pesquisas e desenvolvimento ou de soluções técnicas realizadas por ocasião do processo de produção. A documentação de patente contém a mais atualizada informação tecnológica existente, facilitando a promoção de invenções com menor dispêndio de tempo e recursos humanos e financeiros.
Competitividade técnica e econômica	A patente permite auferir uma prospectiva dos ramos de atividade para os quais caminha a indústria, a agricultura etc. É possível detectar-se os caminhos de pesquisa de empresas concorrentes, o estágio de avanço.
Padronização e Uniformidade	Os documentos provenientes dos mais distintos países apresentam diferenças relativamente pequenas em relação à uniformidade e à padronização.
Quebra da barreira lingüística	A maioria das patentes com relevância técnica e/ou econômica pode também ser encontrada em outras línguas, dada a provável existência da denominada família de patentes. Em muitos casos é possível, pelo menos, a obtenção do resumo em língua inglesa.

Na Tabela 1.2 destaca-se a questão da padronização e uniformidade da informação encontrada nas patentes. O conteúdo informacional das patentes toma a forma de referência bibliográfica, altamente padronizada, com ferramenta de recuperação própria e utilizada por todos os países signatários da Organização Mundial da Propriedade Industrial (OMPI), que é a Classificação Internacional de Patentes (Battaglia, 1999).

Para a construção de *roadmaps*, Borshiver & Silva (2016) sugerem que a patente concedida teoricamente demonstre “*um grau avançado do desenvolvimento de tecnologias pelo detentor da patente, pois, se já houve proteção, o objetivo está mais próximo de sua fase comercial*”. Ainda segundo as autoras, o pedido de patente também demonstra grau avançado de desenvolvimento da tecnologia, mas “*como a proteção está em análise, possivelmente o objeto está mais distante de sua fase comercial*”.

O conhecimento disponível nas patentes ainda é pouco usado pela comunidade acadêmica em suas pesquisas. Tal fato pode estar associado, dentre outros fatores, ao desconhecimento da linguagem particular utilizada na redação de pedidos de patente. Os termos encontrados em tais documentos possuem significados muito próprios, tornando-se não facilmente compreendidos por aqueles não familiarizados com essa terminologia (Liebesny, 1972 *apud* Jannuzzi & Gomes, 2008).

1.3.1.1.1. Estrutura do documento de patente

A estrutura de um documento de patente consiste de: folha de rosto; relatório descritivo; desenhos (se necessário); reivindicações; e resumo (Figura 1.4). A folha de rosto apresenta dados de identificação: título da patente e natureza do documento, data de depósito do pedido, nome do inventor e do titular da patente, país de prioridade, países de depósito e países designados, códigos da Classificação Internacional de Patentes (CIP)⁴; o relatório descritivo descreve a invenção em detalhes suficientes para que qualquer pessoa habilitada neste campo do conhecimento possa reconstruir a invenção; desenhos (se necessário) para melhor mostrar detalhes técnicos da invenção; as reivindicações determinam o alcance da proteção que se deseja; e o resumo, descreve brevemente a invenção (Januzzi *et al.*, 2007; Lima, 2005).

⁴ <http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/patente/classificacao-de-patentes>

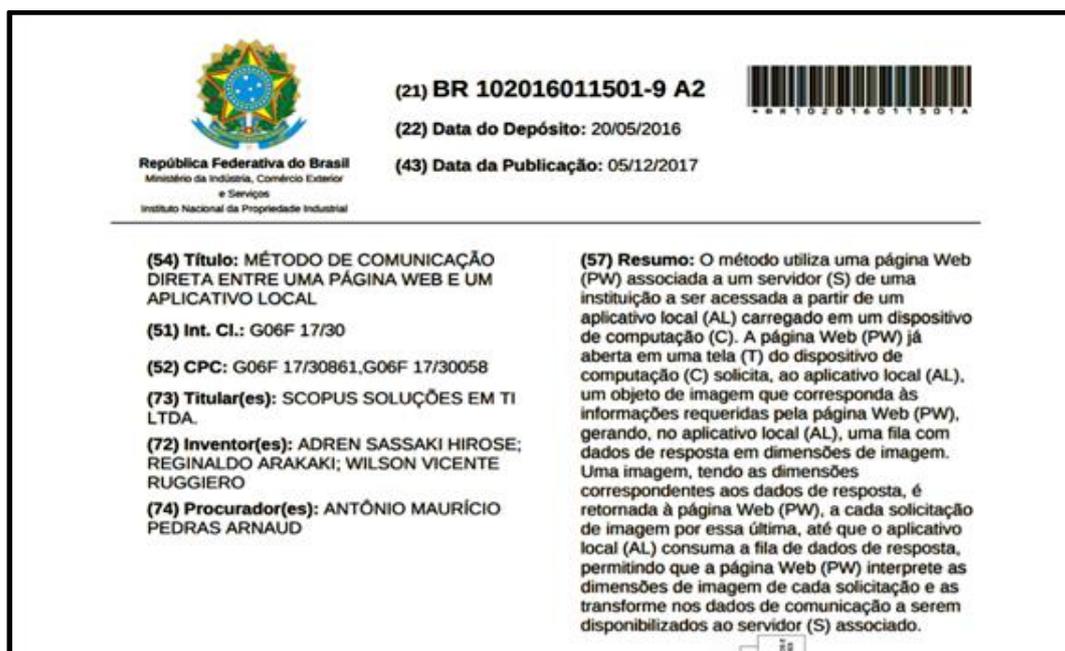


Figura 1.4. Folha de rosto de uma patente. Fonte: INPI

A CIP é um sistema de classificação configurado e criado com o objetivo de recuperar informações contidas em documentos de patentes de forma rápida e eficaz (Peres, 2005). A CIP segue uma estrutura hierárquica na qual toda a área da tecnologia é dividida em seções, classes, subclasses e grupos. Tal sistema é de fundamental importância na recuperação de documentos de patentes em buscas para determinação da novidade de uma invenção ou do estado da arte em uma área da tecnologia específica (WIPO, 2019).

A CIP é periodicamente revista a fim de que indexações mais específicas possam acontecer à medida que novas tecnologias sejam criadas, facilitando a recuperação da informação pelos usuários do sistema. Atualmente se encontra dividida em oito seções que organizam diferentes áreas da tecnologia (WIPO, 2019): Seção A (Necessidades Humanas); Seção B (Operações de Processamento; Transporte); Seção C (Química e Metalurgia); Seção D (Têxteis e Papel); Seção E (Construções Fixas); Seção F (Eng. Mecânica/Iluminação/Aquecimento); Seção G (Física); e Seção H (Eletricidade).

Como exemplo, a classificação da patente apresentada abaixo (Figura 1.4) – **G06F 17/30** - pode ser entendida conforme apresentado abaixo:

G – Seção G – Física

G06 – Cômputo; Cálculo; Contagem

G06F – Processamento elétrico de dados digitais

G06F 17/00 - Equipamentos ou métodos de computação digital ou de processamento de dados, especialmente adaptados para funções específicas

G06F 17/30 - Recuperação das informações; respectivas estruturas de banco de dados

1.3.1.1.2. Bases de Informação sobre Propriedade Intelectual

Jagher (2017), Nunes (2014) e Nunes e Pinheiro-Machado (2017) indicam uma lista de sites e bases de consultas públicas e privadas onde são disponibilizadas informações sobre propriedade intelectual. Estas bases podem conter informações restritas a um país ou ao mundo inteiro. Variam em formas de acesso, disponibilidade de formato dos itens e procedimentos de busca, conforme apresentado na Tabela 1.3.

Tabela 1.3. Bases de Informação sobre Propriedade Intelectual (Nunes e Pinheiro-Machado, 2017)

INPI (www.inpi.gov.br)	Disponibiliza documentos nacionais e estrangeiros em todas as áreas de conhecimento, via busca online. Base principal de patentes brasileiras.
PATENTSCOPE (www.wipo.int/patentscope/en)	Base de patentes da OMPI que reúne patentes depositadas através do PCT (<i>Patent Cooperation Treaty</i>), oriundas de diversos escritórios de patentes do mundo.
Derwent World Patent Index (DWPI) (www.periodicos.capes.gov.br)	Criada e mantida pela Thomson Reuters, tem cobertura de diversos escritórios de patentes no mundo. Disponibilizada à comunidade brasileira de pesquisa através da Capes e Fapesp, acesso por computadores internos das universidades.
Esp@cenet (ep.espacenet.com)	Base do Escritório Europeu de Patentes (EPO), contendo patentes do mundo todo.
USPTO (www.uspto.gov)	Base de patentes norte-americanas.
Google patent search (www.google.com/patents)	Foco em patentes norte americanas, atualmente permite a busca em bases de patentes públicas de todo o mundo.

1.3.1.2. Artigos Científicos

Os artigos de científicos podem ser definidos como “*trabalhos técnico-científicos, escritos por um ou mais autores, com a finalidade de divulgar a síntese analítica de estudos e resultados de pesquisas*” (UFPR, 2000 *apud* Weiss, s/d). Por meio de sua divulgação, a pesquisa é formalizada, o conhecimento torna-se público e é promovida a comunicação entre os pesquisadores.

Para Merton (1957 *apud* Macias-Chapula, 1998) a publicação dos resultados de suas pesquisas é um compromisso que os cientistas são obrigados a cumprir uma vez que o avanço do conhecimento produzido pelos pesquisadores tem que ser transformado em informação acessível para a comunidade científica como um todo. Assim, a pesquisa é desenvolvida num contexto de troca entre esta comunidade. A publicação dos resultados de pesquisa tem três objetivos: divulgar descobertas científicas, salvaguardar a propriedade intelectual (direitos autorais) e alcançar o reconhecimento pelos pares (Okubo, 1997 *apud* Macias-Chapula, 1998).

Os artigos podem ser, assim como os documentos de patente, uma importante fonte de informação tecnológica. No entanto, diferente das patentes, “*demonstram um grau inicial do desenvolvimento da tecnologia, uma vez que se encontra ainda em fase de estudo acadêmico*” (Borschiver & Silva, 2016).

Segundo Macias-Chapula (1998), a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) fez referência à bibliometria - que estuda os artigos, livros, autores dentre outros - como uma ferramenta que permite observar o estado da ciência e da tecnologia através da produção da literatura científica como um todo, em um determinado nível de especialização. A análise dos bancos de dados contendo artigos oferece uma gama de informações sobre a orientação e a dinâmica científica de um país, bem como sobre sua participação na ciência e na tecnologia mundial. Análises cooperativas tornam possível identificar redes científicas e revelar os elos entre países, instituições e pesquisadores, assim como permitem conhecer o impacto dos principais programas e organizações (Macias-Chapula, 1998).

As bases nacionais e internacionais de artigos científicos, na área de Computação e SI – Scopus, ACM, Compendex, entre outras - são bastante conhecidas da comunidade de pesquisa, e optamos por não entrarmos em detalhes a respeito delas neste capítulo.

1.4. Technology Roadmapping (TRM)

A literatura tem apresentado o termo *technology roadmap* em diferentes maneiras, tais como *technology roadmap*, *technology roadmap* ou somente *roadmap*, ou ainda na forma abreviada TRM (Lee & Park, 2005). Usualmente, a expressão *road map* refere-se a um *layout* de caminhos ou rotas que existem ou podem existir em um espaço geográfico particular para ajudar os viajantes no planejamento da viagem a fim de atingir um destino específico (Schaller, 2004).

Tal definição auxilia a compreender o **método *technology roadmapping* (TRM)**, que consiste em representar graficamente a rota de evolução das tecnologias, produtos e mercados existentes (hoje) e que será construída (futuro), auxiliando os líderes (viajantes) de uma organização no planejamento e alinhamento das ações de desenvolvimento com as metas do negócio (destino) (Mattos Neto, 2005). De uma forma geral, a definição do método *technology roadmapping* adotada neste trabalho é a de um método flexível cujo objetivo principal é auxiliar no planejamento estratégico de desenvolvimento de mercado, produto e tecnologia de maneira integrada ao longo do tempo (Albright & Kappel, 2003; Kappel, 2001; Phaal *et al.*, 2001, 2004),

As raízes do TRM podem ser creditadas à indústria automobilística norte-americana. Entretanto, as primeiras organizações a aplicá-lo com sucesso foram as grandes corporações de tecnologia Corning e Motorola, no final da década de 70, início dos anos 80 (Drummond, 2005). A primeira publicação acadêmica sobre o *technology roadmapping* data do final da década de 1980, de autoria de Willyard & McCless (1987), apresentando o método e suas vantagens no planejamento tecnológico para empresas.

De acordo com Phaal *et al.* (2004), o *technology roadmapping* representa uma técnica poderosa para suportar o gerenciamento e planejamento tecnológico, especialmente para explorar e comunicar interações dinâmicas entre recursos, objetivos organizacionais e mudanças no ambiente. Visa ajudar a identificar, selecionar e desenvolver alternativas tecnológicas para satisfazer um conjunto de necessidades do produto (Garcia & Bray, 1997). Desse modo, é um método impulsionado pelo mercado (*market pull*), isto é, pelas inovações tecnológicas necessárias para as empresas atenderem a mercados futuros, e não pela tecnologia em si mesma (*technology push*). O que se busca construir é uma visão de futuro (onde a organização pretende chegar) e quais são as tecnologias necessárias para se chegar até lá.

Organizações que usam TRM como um processo de planejamento estratégico se beneficiam pelas seguintes possibilidades (Santos, 2011): (i) prover o desenvolvimento, comunicação e implantação das estratégias ao longo do tempo de maneira a integrar as áreas de mercado, produto e tecnologia; (ii) fortalecer e estruturar o processo de planejamento e monitoramento do ambiente tecnológico e de mercado, orientando e auxiliando o processo de tomada de decisão de desenvolvimento numa perspectiva de médio e longo prazo; (iii) promover visibilidade/transparência da lógica de planejamento ao explicitar as conexões entre mercado, produto e tecnologia por intermédio de um mapa estratégico; (iv) facilitar a visualização das deficiências (*gaps*) no processo de alinhamento das metas de médio e longo prazo e nas atividades presentes na empresa; (v) possibilitar a integração do *market pull* com o *technology push*; ou seja, incluir tanto os produtos demandados pelo mercado quanto os ofertados pela capacidade tecnológica; (vi) auxiliar na definição das prioridades para o desenvolvimento e, por consequência, na tomada de decisões relativas a investimento; (vii) gerenciar dados, planos de produto e objetivos em alto nível; (viii) capacitar descoberta de reuso da tecnologia e oportunidades de sinergismo; (ix) revelar lacunas, desafios e incertezas em relação a produto, tecnologia e planos de capacitação; (x) revelar fraquezas de estratégia em longo prazo antes que se tornem críticas; (xi) comunicar e prover visibilidade na direção de programa estratégico em torno da organização; (xii) habilitar crescimento de portfólio de produto em linha com demandas corporativas e de mercado; e (xiii) prover direcionamento para projetar grupos de pessoas e capacitá-las a enxergar rapidamente mudanças em eventos ou direções estratégicas.

1.4.1 *Technology Roadmaps*

O termo *technology roadmap* consiste no documento gerado pelo método TRM (Phaal *et al.*, 2001, 2004). Existem muitas aplicações para os *roadmaps*, desde pesquisas científicas de ciência e tecnologia, previsão para políticas governamentais ou para determinado setor industrial, até estudos da evolução de produtos ou tecnologias. Algumas vezes o uso do *roadmapping* pode ser utilizado para comunicar consumidores e fornecedores. Uma característica importante dos *roadmaps* é sua apresentação concisa que possibilita uma discussão estruturada e construtiva de processos de prospecção tecnológica.

Garcia & Bray (2007) classificam os *roadmaps* em três tipos: (i) **roadmap de produto**, que é dirigido pelas necessidades de produto e/ou processo; (ii) **roadmap orientado para uma determinada tecnologia**, que foca a previsão de desenvolvimento e comercialização de uma nova ou emergente tecnologia, a posição competitiva da empresa com relação à tecnologia e como esta tecnologia emergente e a posição competitiva da empresa irá se desenvolver e (iii) **roadmap orientado a um determinado assunto**, que objetiva identificar problemas e suas consequências para o planejamento estratégico e orçamento.

Os *roadmaps* podem apresentar várias formas, mas a aproximação mais comum é aquela chamada genérica (Phaal *et al.*, 2001) que consiste em uma representação gráfica baseada no tempo, compreendendo um número de camadas que abordam parâmetros-chaves como mercado, produto e tecnologia ao longo do tempo para uma parte do negócio. Phaal *et al.* (2004) propuseram um *roadmap* de múltiplas camadas, por se apresentar de forma mais flexível, com as seguintes dimensões: (i) tempo: esta dimensão pode ser adaptada para se adequar à situação particular, em termos de horizonte de tempo

(tipicamente curto prazo em setores como *e-commerce* e software, e longo prazo para a indústria aeroespacial e infraestrutura) e (ii) camadas: o eixo vertical do roteiro é crítico, já que isso precisa ser projetado para se adequar à organização e a problemas específicos que estão sendo abordados. A Figura 1.5 mostra uma arquitetura de *roadmap* generalizada.

Os diferentes tipos de camadas nos *roadmaps* são listados, destacando a flexibilidade da abordagem em fornecer uma estrutura para apoiar o planejamento estratégico. As camadas superiores referem-se ao propósito organizacional que está impulsionando o roteiro (*know-why*). As camadas inferiores referem-se aos recursos (particularmente o conhecimento tecnológico) que serão implantados para atender à demanda das camadas superiores do roadmap (*know-how*). As camadas intermediárias do *roadmap* são cruciais, fornecendo um mecanismo de ponte ou entrega entre o objetivo e os recursos (*know-what*).

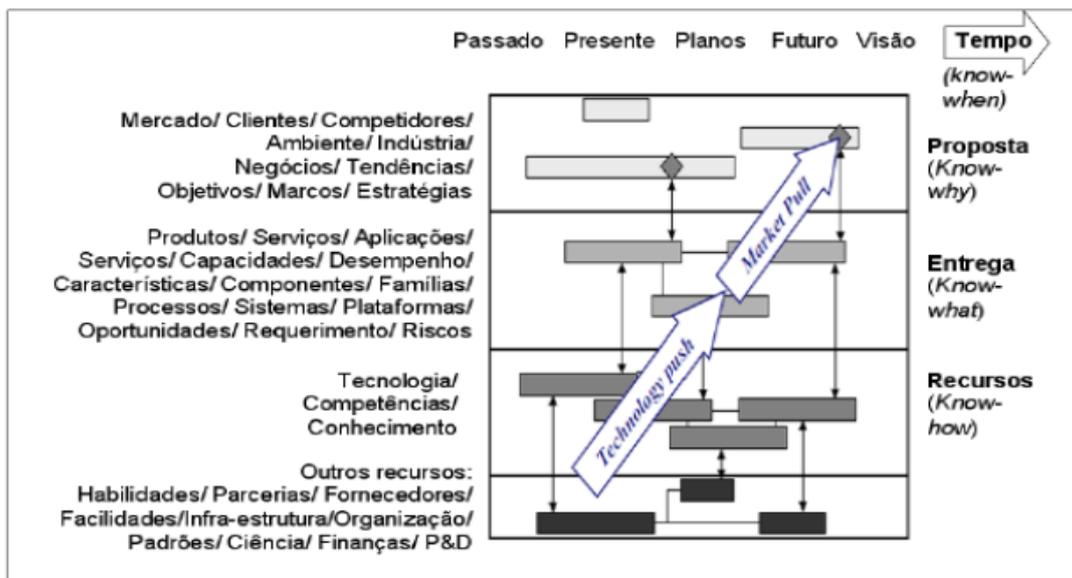


Figura 1.5. Arquitetura de *roadmap* generalizada (Phaal *et al.*, 2004)

Frequentemente, a camada intermediária concentra-se no desenvolvimento de produtos, já que essa é a rota pela qual a tecnologia é frequentemente implantada para atender às necessidades do mercado e dos clientes. Entretanto, em outros contextos, podem ser alocados na camada intermediária serviços, capacidades, sistemas, riscos ou oportunidades, de modo a entender como a tecnologia pode ser entregue para fornecer benefícios à organização e às partes interessadas.

Além das informações contidas nas camadas em uma base de tempo, outras informações podem ser armazenadas no *roadmap*, como ligações entre objetos em camadas e subcamadas (de vários tipos possíveis).

1.5. Método *Technology Roadmap*

Os processos de aplicação do *technology roadmapping* encontrados na literatura foram aqueles desenvolvidos por Phaal *et al.* (2001, 2004), Albright & Kappel (2003), Garcia & Bray (1997), Loureiro (2010), Santos (2011) e Borschiver & Silva (2016). Tais

processos preveem a utilização de outras ferramentas de prospecção tecnológica como Brainstorming, Delphi/Painéis de especialistas, análise de cenário, uso de documentos de patentes e artigos científicos, dentre outras.

Para a elaboração do *technology roadmap* sugerido neste capítulo, foi adotada uma versão simplificada das metodologias propostas por Loureiro (2010), Santos (2011) e Borschiver & Silva (2016), integrado às propostas sugeridas por autores da área de Sistemas de Informação (Ribeiro & Araújo, 2019) (Araújo *et.al.* 2018a) (Araújo e Chueri, 2018) (Araújo *et.al.* 2018b) (Araújo *et.al.*, 2017) (Araújo, 2016) (Paula & Araújo, 2018) (Procaci *et.al.*, 2016).

O método apresenta cinco etapas, descritas a seguir: (i) etapa 1 - Levantamento preliminar sobre o tema, (ii) etapa 2 – Busca de informação tecnológica; (iii) Definição da estrutura e condições de contorno do *roadmap*; (iv) etapa 4 - Construção do *Roadmap* e (v) etapa 5 - Análise do *Roadmap*. A Figura 1.6 apresenta as etapas principais que serão detalhadas nas seções a seguir. O método será ilustrado tendo como base o contexto de pesquisa na temática de Cidades Inteligentes.

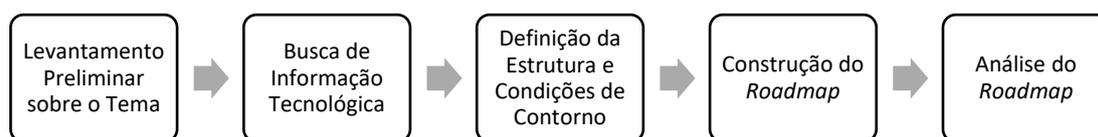


Figura 1.6. Etapas do TRM proposto (Elaboração das autoras)

1.5.1. Etapa 1: Levantamento preliminar sobre o tema

Nesta etapa, é necessário escolher um tema objeto de estudo para a prospecção e realizar um levantamento de informações preliminar sobre o mesmo, afim de conhecer o assunto e identificar termos-chave. No contexto de pesquisas científicas, boa parte da informação para esta etapa provem da definição do referencial teórico e principais conceitos da área sob estudo.

Segundo Pardo (2011 *apud* ABDI, 2017) Cidade Inteligente é aquela que "*infunde informações em sua infraestrutura física para melhorar as conveniências, facilitar a mobilidade, adicionar eficiência, economizar energia, melhorar a qualidade do ar e da água, identificar problemas e corrigi-los rapidamente, recuperar-se rapidamente de desastres, coletar dados para tomar melhores decisões, implantar recursos de forma eficaz e compartilhar dados para ativar a colaboração entre entidades e domínios*".

SI desempenham um papel fundamental nas Cidades Inteligentes, pois atuam como plataforma para agregar e processar informações e dados, possibilitando uma melhor compreensão sobre o funcionamento da cidade, em termos de consumo de recursos, serviço e estilos de vida: *Big Data*, *Open Data*, Internet das Coisas, acessibilidade, gerenciamento inteligente de dados, cibersegurança, banda larga aberta, redes de sensores entre outros elementos são essenciais no contexto das Cidades Inteligentes, formando ecossistemas de informação complexos.

A efetiva contribuição dos SI ao fornecimento de serviços e utilidades públicas nas cidades varia conforme o setor sob análise, mas podem ser citados os seguintes

aspectos: mobilidade, iluminação, saneamento básico, gestão de água e esgoto, gestão de resíduos sólidos, segurança pública, gestão energética, saúde pública e educação pública.

1.5.2. Etapa 2: Busca de Informação Tecnológica

O objetivo desta etapa é mapear as informações tecnológicas para elaborar o *roadmap*. As fontes de informação tecnológica são os pedidos de patentes e patentes concedidas, (lembrando que as mesmas já estão mais próximo de sua fase comercial, em especial as patentes concedidas) e artigos científicos (lembrando que os mesmos estão um grau inicial de desenvolvimento da tecnologia tendo em vista se encontram ainda em fase de estudo acadêmico).

Araújo e Chueri (2018) e Araújo *et.al.* (2018a) descrevem um processo para busca de informação tecnológica em bases de informação sobre propriedade intelectual baseado em processos de mapeamentos e/ou revisões sistemáticas de literatura científica. O processo compreende as fases e atividades conforme apresentadas na Tabela 1.4. Detalhes sobre como realizar esta busca podem ser encontrados na referência supramencionada.

Tabela 1.4. Fases e atividades para a busca de informação tecnológica em bases de Patentes. Fonte: (Araujo et al, 2018a)

Fase	Atividades
1) Planejamento	<ul style="list-style-type: none"> ● Formular questão para a busca ● Identificar palavras-chave ● Montar string de busca ● Identificar classificação internacional (CIP) ● Decidir quanto ao período de tempo ● Definir critérios de inclusão e de exclusão ● Selecionar base(s) de dados
2) Execução	<ul style="list-style-type: none"> ● Realizar busca nas bases de dados ● Organizar resultado das buscas ● Selecionar patentes
3) Análise	<ul style="list-style-type: none"> ● Analisar patentes selecionadas
4) Relato	<ul style="list-style-type: none"> ● Gerar relatórios/publicações

Para efeito de ilustração, apresentamos uma busca simplificada⁵ na base de dados do INPI com as palavras-chave “cidades inteligentes” e “cidade inteligente”, com retorno de 12 patentes. Considerando as patentes (pedidos e concedidas) depositadas no período de 2010 a 2018, foram encontrados 9 documentos (todos pedidos de patente, ou seja, em processo de análise). A partir da leitura dos resumos e do quadro reivindicatório de cada documento, os mesmos foram categorizados, conforme Tabela 1.5. As dimensões utilizadas para categorização foram estipuladas de forma subjetiva, de acordo os resultados da etapa anterior combinadas com a análise das patentes encontradas: Tecnologia utilizada, Utilidade, Principal Interessado (Clientes). Com o objetivo de identificar os principais atores (*players*) atuando no tema, foi incluída a informação sobre o depositante da patente.

⁵ Realizada em janeiro de 2019

Tabela 1.5 – Informações obtidas sobre patentes em Cidades Inteligentes no INPI

Patente	Tecnologia	Utilidade	Interessado	Depositante
10 2016 021792-0	Internet das Coisas	Mobilidade Urbana	Pessoas, Usuários de carros	Universidade Estadual do Maranhão
20 2016 020697-4	Sensor e Conexão sem fio	Mobilidade Urbana	Usuários de carro	Soluções em conectividade das coisas indústria e comercio de produtos eletrônicos Ltda. - ME
10 2013 004342-7	Sensor	Saneamento Básico, Gestão Ambiental, Gestão Energética, Mobilidade Urbana	Pessoas, Usuários de carro, Residências, Comércio	Antonio Valerio Netto
10 2012 026807-8	Rede de comunicações integradas	Iluminação, Saneamento Básico, Gestão de Água e Esgoto, Gestão Energética, Mobilidade Urbana	Pessoas, usuários de carro, Residências, Comércio	Smartgreen Desenvolvimento de Tecnologias S/A.
10 2012 015997 0	Rede de comunicações integradas	Iluminação, Saneamento Básico, Gestão de Água e Esgoto, Gestão Energética, Mobilidade Urbana	Pessoas, Usuários de carro, Residências, Comércio	Smartgreen Desenvolvimento de Tecnologias S/A
10 04 539-2	Outros	Gestão de Negócios	Comércio	Roberto Jakson Rodrigues Leite
10 2017 012748-6	Outros	Gestão de Resíduos, Saneamento Básico	Residências, Comércio	Willian Oliveira de Souza
11 2018 000150-3	Sensor	Gestão Energética	Residências	University of South Africa
10 2015 01038-3	GPS	Mobilidade Urbana	Pessoas	Universidade Federal da Bahia

No que se refere à busca de artigos científicos, protocolos de revisão de literatura, como o proposto por Kitchenham (2004), têm sido largamente utilizados pela comunidade científica e podem oferecer mecanismos valiosos para a análise do conteúdo de artigos científicos. Como mencionado na seção 1.3.1.2, nestes protocolos são utilizadas bases indexadas nacionais e internacionais. Para efeito de ilustração apenas, utilizamos uma busca simplificada na base de dados da iSys – Revista Brasileira de Informação⁶. Foram encontrados 2 artigos científicos para o período entre 2010 e 2018⁷. A partir da leitura dos resumos de cada artigos, os mesmos foram categorizados com a mesma taxonomia utilizada na busca de patentes (Tabela 1.6).

Tabela 1.6 – Informações obtidas nos artigos científicos disponíveis na iSys

Artigos	Tecnologia	Utilidade	Interessado	Instituição
Investigando a Mobilidade Urbana Através de Dados Abertos Governamentais Enriquecidos com Proveniência	GPS	Mobilidade Urbana	Pessoas em geral, Usuários de carros	UFRRJ UFRJ
Um Modelo Computacional para Cidades Inteligentes Assistivas	GPS	Acessibilidade, Saúde Pública	Pessoas com deficiências	UNISINOS

⁶ <http://www.seer.unirio.br/index.php/isys>

⁷ Consulta realizada em janeiro de 2019

1.5.3. Etapa 3: Definição da estrutura e condições de contorno do *roadmap*

Com base nas análises obtidas pela busca de informação realizada nas etapas anteriores, é possível delimitar a estrutura do *roadmap* e suas condições de contorno, principalmente seu horizonte de tempo. A estrutura do *roadmap* segue a forma de apresentação genérica proposta por Phaal (2001) e apresentada na Figura 1.5, compreendendo três camadas que abordam os parâmetros-chaves (as linhas ou raias no *roadmap*): objetivos, capacidades/competências e conhecimento. A definição de cada uma destas camadas depende diretamente da análise qualitativa do resultado da busca de informações.

Em nosso exemplo, associamos a primeira camada – objetivo – aos clientes ou principais interessados das tecnologias apresentadas, o público-alvo para os quais as tecnologias ligadas a cidades inteligentes estão sendo desenvolvidas. Na segunda camada – capacidade/competências – relacionamos as aplicações ou utilidade das tecnologias, o que precisa ser desenvolvido para atingir os clientes identificados na primeira camada. Para a terceira camada – conhecimento – foram relacionadas as tecnologias utilizadas nas invenções, o que é necessário investir para que as utilidades (segunda camada) sejam melhoradas de modo a atingir os clientes especificados (primeira camada) dentro do horizonte de tempo desejado.

Para definição de curto, médio e longo prazo, adotamos a proposta de Loureiro (2010) Borschiver & Silva (2016), determinando que no curto prazo deverão ficar as patentes concedidas, médio prazo os pedidos de patentes e no longo prazo os artigos científicos - conforme critério de análise do grau de desenvolvimento da tecnologia e sua fase comercial.

1.5.4. Etapa 4: Construção do Roadmap

A construção do *roadmap* segue as operações sugeridas por Santos (2011 p.257): i) construir uma tabela/planilha onde as linhas contêm os elementos direcionadores dos parâmetros-chave e as colunas contêm as dimensões de horizonte de tempo; ii) nos cruzamentos das linhas e colunas, identificar os resultados da busca de informação tecnológica encontrados; iii) conectar verticalmente os elementos direcionadores de uma mesma patente/artigo encontrado.

Para o exemplo, o desenho do *roadmap* seria conforme o apresentado na Figura 1.7. No exemplo, como não foi encontrada nenhuma patente concedida na base de dados do INPI, optou-se por juntar o curto e médio prazo com os pedidos de patente e no longo prazo os artigos científicos. Adicionalmente, é possível inserir no *roadmap* os atores - depositantes patentes e/ou instituições de pesquisa.

1.5.5. Etapa 5: Análise do Roadmap

A análise do *roadmap* é, em última instância, uma interpretação livre e segue os interesses de análise de seu elaborador. É importante compreender que as camadas intermediárias do *roadmap* representam um mecanismo de alcance ou entrega entre o objetivo e os recursos de conhecimento disponíveis. O *roadmap* permite construir uma visão de futuro (onde se pretende chegar, ou no caso, quais pessoas que se deseja atingir) e quais são as tecnologias necessárias para se chegar até lá.

Para o caso específico do *roadmap* do exemplo, as informações coletadas (lembrando que são ilustrativas e de escopo bastante limitado – INPI e iSyS) nos

permitiriam observar, por exemplo, que os esforços inovadores no curto/médio prazo com relação a utilidade relacionada às cidades inteligentes se concentra no tema mobilidade urbana de modo a atender as pessoas em geral e os usuários de carros. É de conhecimento geral que nas cidades modernas o deslocamento de pessoas nos diversos modais de transporte tem despertado o interesse dos governantes e principais fornecedores.

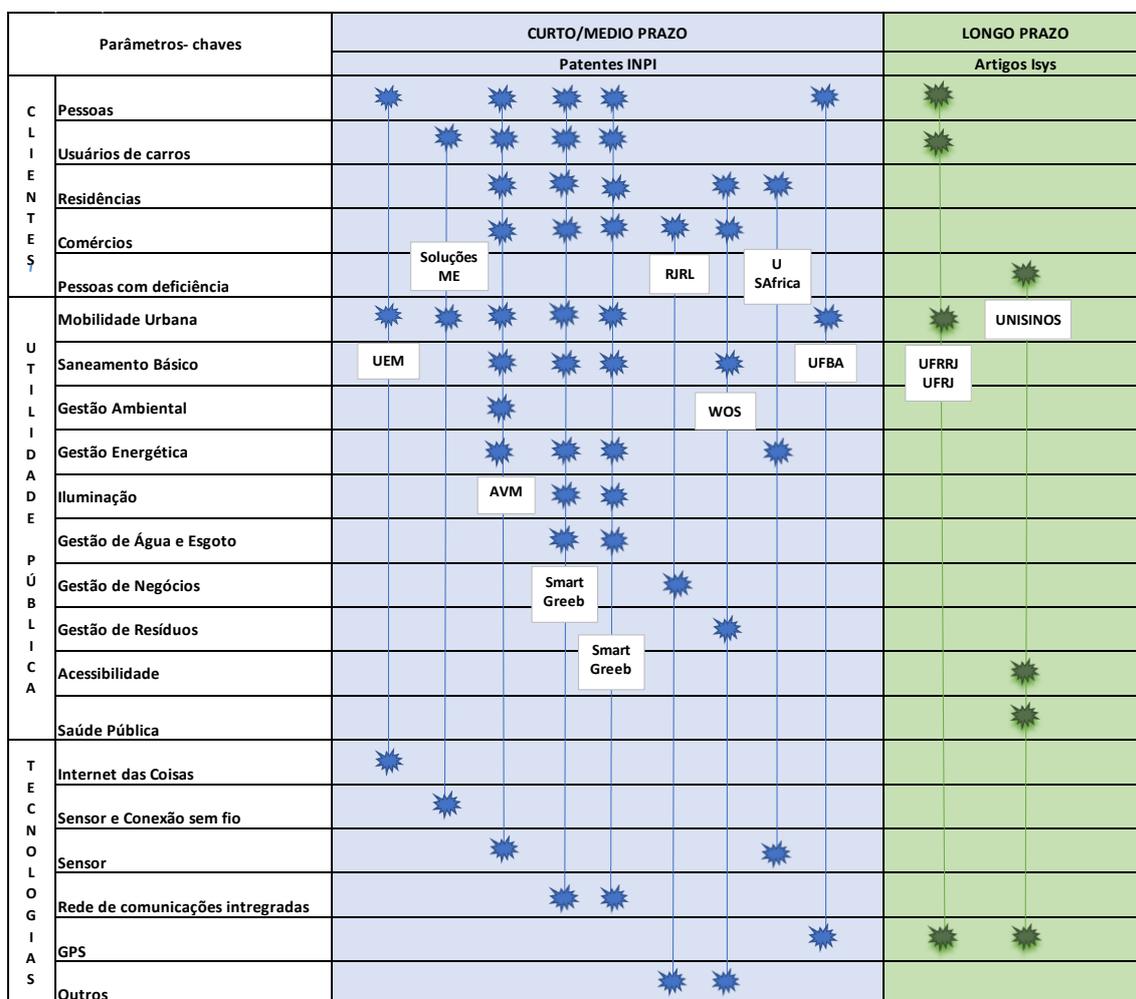


Figura 1.7. Roadmap exemplo para o tema de Cidades Inteligentes

O *roadmap* nos permite, ainda identificar lacunas de curto, médio e longo prazo de áreas de mercado e público-alvo onde é possível explorar oportunidades de pesquisa, desenvolvimento de produtos e propriedade intelectual (por exemplo, aplicações em iluminação, gestão de água e esgoto, negócios, resíduos, acessibilidade e saúde pública). Em termos de tecnologias, a Internet das Coisas aparece no *roadmap* ainda pouco explorada, apontando para oportunidades de investimento em pesquisa e ativos de propriedade intelectual.

Podemos observar ainda, a partir das informações dos principais atores presentes no *roadmap*, quem seriam, a curto, médio e longo prazo, potenciais parceiros de pesquisa e/ou transformação de pesquisas em produtos. Além disso, da análise dos players do *roadmap*, podemos citar que, no longo prazo, as universidades UFRRJ, UFRJ e UNISINOS poderiam ser agrupadas em um cluster pois apresentam o mesmo perfil

relacionado às tecnologias (no caso, o uso do GPS), uma vez que estão orientando suas pesquisas neste assunto. De posse dessa informação, novos players podem planejar suas pesquisas de modo a evitar duplicação de esforços e propor parcerias de modo a atingir objetivos comuns.

1.6. Conclusão

Este minicurso teve como objetivo apresentar o uso de *roadmaps* como um instrumento para monitorar e analisar os esforços inovadores na área de Sistema de Informação. Apresentamos um exemplo de seu uso no contexto das cidades inteligentes, tema atual e que tem despertado o interesse especial da comunidade científica.

A realização de estudos prospectivos não é um exercício de previsão, mas sim um esforço para obter descrições consistentes de possíveis situações futuras, revelando informações relevantes sobre o caminho entre o status atual e o futuro, auxiliando nas decisões a serem tomadas. Nesse sentido, o método pode ser uma ferramenta valiosa para a prospecção tecnológica e apoio às decisões de planejamento, mantendo-se dentro dos limites do conhecimento científico e propondo o panorama viável dentro do horizonte de tempo.

A busca de informação tecnológica torna-se uma atividade importante cujo conteúdo não pode ser negligenciado tanto por pesquisadores como empreendedores. As bases de patentes e artigos científicos tem se mostrado valiosas fontes de informação disponíveis na literatura, ainda que apresentem algumas limitações tais como, pouco uso de patentes pela comunidade científica, devido a linguagem particular.

Por fim, o uso de *roadmaps* no planejamento estratégico das linhas de pesquisa realizadas em empresas, startups, universidades ou grupos de pesquisa, em especial na área de Sistemas de Informação, podem auxiliar na identificação de áreas de pesquisa e/ou desenvolvimento tecnológico, bem como identificar os principais players visando a propor parcerias estratégicas entre estas organizações.

Referências

- ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2017). “Cidades Inteligentes”. Documento de referência. Ambiente de demonstração de tecnologias para cidades inteligentes. Produto 2B – Versão Final. Dezembro de 2017.
- Abreu, J.C. (2017). “Prospecção Tecnológica aplicada na otimização da concessão de patentes no Brasil: estudo de caso em patentes de medicamentos imunossupressores. 342 p. Tese de Doutorado. Instituto de Economia, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Albright, R. E. e Kappel, T. A. (2003). ”Roadmapping in the corporation”. Research Technology Management, v.46 n.2, p.31-40, 2003.
- Alencar, M.S. (2016) “Patentes: Fonte de informação fundamental para inovação”. Palestra proferida na disciplina Estudos Dirigidos à Inovação PPGI-UNIRIO em novembro/2016.
- Araujo, R.M., Alves, A., Gouvea, M.T., Anastassiou, M., Gomes, S., Frattini, V. (2018a) “Levantamento de Informação Tecnológica para Pesquisa: Uma Proposta de Sistematização.” Relatórios Técnicos da UNIRIO (Relate-DIA), vol 11, no 1. <http://www.seer.unirio.br/index.php/monografiasppgi/article/view/7126>

- Araujo, R.M. e Chueri, L.O.V. (2018) “Da Pesquisa à Inovação em Sistemas de Informação”. In: Rodrigo Santos, André Martinotto. (Org.). <https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/topicos-sistema-informacao.pdf>. 1 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, v. 1, p. 41-73.
- Araujo, R. M.; Silva, V. C. M. ; Gomes, S. B. ; Bessa, A. T. ; Reis, L. C. D. ; Dutra, E. ; Estruc, M. A. (2018b) “Onde está a Inovação?”. Perspectivas de inovação para pesquisas na área de Sistemas de Informação. 2018b.
- Araujo, R.M., Paula, L.G. (2017). “Avaliação da Inovação.” Em: Araujo, R.M. e Chueri, L.O.V. (eds) Pesquisa & Inovação: Visões e Interseções. PUBL!T Soluções Editoriais. p. 203-215.
- Araujo, R. M.; Silva, C. K. P. E. ; Sacramento, C. ; Confort, V. T. F. ; Moncores, M. C. ; Pinheiro, A. H. S. E. M. ; Amorim, P. F. ; Bastos, C. A. R. ; Oliveira Junior, C. R. ; Almeida, G. O. (2017) “Trilhando trajetórias de pesquisar & inovar - um ensaio coletivo”. 2017.
- ARAUJO, R. M.. Estudos Dirigidos à Inovação: Uma experiência na formação de pesquisadores-inovadores em Sistemas de Informação. In: Encontro de Inovação em sistemas de Informação, 2016, Florianópolis. III Encontro de Inovação em Sistemas de Informação. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2016.
- Barbieri, J.C. (2007). Organizações Inovadoras Sustentáveis. In: Organizações Inovadoras Sustentáveis: Uma Reflexão sobre o Futuro das Organizações. São Paulo: Editora Atlas.
- Battaglia, M.G.B. (1999) “A Inteligência Competitiva Modelando o Sistema de Informação de Clientes – Finep”. Ci.Inf. Brasília, v. 29, n. 2, p. 200-214, mai./ago.
- Borschiver, S. (2007). “Levantamento, classificação e categorização dos indicadores da atividade de PD&E”. RPCA, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, set./dez. 2007.
- Borschiver, S. e Silva, A.L.R. (2016) Technology roadmap: planejamento estratégico para alinhar mercado-produção-tecnologia. Rio de Janeiro: Interciência.
- Burlamarqui, L. e Proença, A. (2003). “Inovação, Recursos e Comprometimento: em Direção a uma Teoria Estratégica da Firma”. Revista Brasileira de Inovação, v. 2, n. 1, Janeiro/Junho 2003.
- Coates, V. *et al.* (2001). “On the future of technological foresight”. Technological Forecasting and Social Change. New York, v. 67, p 1-17.
- Drummond, P. H. F.(2005). “O planejamento tecnológico de uma empresa de base tecnológica de origem acadêmica por intermédio dos métodos technology roadmapping (TRM), technology stage-gate (TSG) e processo de desenvolvimento de produtos (PDP) tradicional”. Dissertação - Engenharia de Produção, UFMG, Belo Horizonte, 2005.
- França, J.G.E. (2006) “Biocombustíveis: Desenvolvimento Tecnológico da Agroindústria”. Seminário Internacional de Biocombustíveis - OLADE. Brasília, abr.
- Freire, A. (1998). Inovação Novos Produtos, Serviços e Negócios para Portugal, Editora Verbo, Lisboa, 1998.
- Garcia, M. L. e Bray, O. H. (2010). “Fundamentals of technology roadmapping”. Sandia National Laboratories. Disponível em: www.sandia.gov/PHMCOE/pdf/Sandia'sFundamentalsofTech.pdf. Acesso em: out. 2010.

- Guimaraes, D.C.; Cruz, C.A.B.; Alves, M.B.N. e Paixão, A.E.A. (2018). Propriedade Intelectual e Programas de Computador: um mapeamento de programas aplicados na Administração”. In: Propriedade intelectual, tecnologias e inovação. Russo, S.L.; Santos, A.V.; Zan, F.R.; e Priesnitz, M.C. (organizadores). – Aracaju: Associação Acadêmica de Propriedade Intelectual, 2018.
- Jagher, T. (2017) ‘Busca em Banco de Dados de Patentes. Agência de Inovação/ UTFPR’. Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/medianeira/estrutura/diretorias/direc/downloads/procedimentoparapesquisaumapatente.pdf>. Acesso em: 11/10/2017.
- Jannuzzi, C.A.S.C. e Montalli, K.M.L. (1999) “Informação tecnológica e para negócios no Brasil: introdução a uma discussão conceitual”. *Ciência da Informação*, Brasília - DF, v. 28, n. 1, p. 28-36.
- Jannuzzi, A.H.L. *et al.* (2007) “Gestão Estratégica de Portifólio de Patentes na Indústria Farmacêutica”. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, PR. 09 a 11 de outubro de 2007.
- Jannuzzi, A.H.L. and Souza, C.G. (2008) “Patentes de invenção e artigos científicos: especificidades e similitudes”. *RBPG*, Brasília, v. 5, n. 9, p. 103-125.
- Lee, S. e Park, Y. (2005). “Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules”. *Technological Forecasting & Social Change*, v.72, p.567-583.
- Lima, C.M. (2005) “Mapeamento Tecnológico de Astaxantina”. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.
- Loureiro, A.M.V. (2010). “O emprego do método technology roadmapping em adesivos e selantes aplicados à construção civil”. 330 p. Tese de Doutorado. Programa de Pósgraduação na Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Kappel, T. A. (2001). “Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future”. *The Journal of Product Innovation Management*, v.18, p.39-50.
- Kitchenham, B. (2004). “Procedures for Performing Systematic Reviews”. Joint Technical Report Software Engineering Group, Department of Computer Science Keele University, United King and Empirical Software Engineering, National ICT Australia Ltd, Australia, 2004.
- Macias-Chapula, C.A. (1998) “O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional”. *Ci. Inf.*, Brasília, v. 27, n. 2, p. 134-140, mai/ago.
- Manual de Oslo (2006). “The Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD”.
- Mattos Neto, P. (2005) “Planejamento de novos produtos por intermédio do método technology roadmapping (TRM) em uma pequena empresa de base tecnológica do setor de internet móvel”. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Nunes, M.A.S.N. (2014) “Propriedade Intelectual e Industrial em Jogos e noções sobre prospecção de tecnologia: em direção à apropriação nacional/internacional dos ativos

- brasileiros desenvolvidos”. In: Tutoriais do SBGAMES 2014, 1ª ed, Porto Alegre: EdiPUCRS, 2014, v.1, p. 1-35.
- Nunes, M. A. S. N., Pinheiro-Machado, R. (2017). “Propriedade Intelectual e Busca de Informação Tecnológica na área da Computação”. Em: Araujo, R.M. e Chueri, L.O.V. (eds) Pesquisa & Inovação: Visões e Interseções. PUBL!T Soluções Editoriais. p. 67-92.
- Oliveira, T. (2005). “Um Estudo de Prospecção e de Estratégias de Inovação: O caso dimetil éter (DME) e seu uso como combustível”. Rio de Janeiro, 132 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Paula, F. C. ;Araujo, R. M. (2018) “Tecnologias no Cotidiano Escolar: Levantamento de Patentes no Brasil e Estados Unidos de 2000 a 2017”. In: Latin American Conference on Learning Technologies, 2018, São Paulo. XIII Latin American Conference on Learning Technologies, 2018.
- Peres, B.S. (2005) “Estudo e Mapeamento Tecnológico do Interferon”, 133 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Phaal, R., Farrukh, C. J. P. e Probert, D. R. (2004). “Technology roadmapping – A planning framework for evolution and revolution. Technological Forecasting & Social Change, v.71, p.5-26.
- Phaal, R., Farrukh, C. J. P. e Probert, D. R. (2001) ”T-Plan: The fast start to technology roadmapping – Planning your route to success”. Cambridge University, Institute of Manufacturing, UK, October.
- PINTEC (2016). Pesquisa de inovação: 2014 / IBGE, Coordenação de Indústria. – Rio de Janeiro : IBGE.
- Procaci, T. B.; Araujo, R. M.; Siqueira, S.W.M. e Nunes, B. P. (2016) “Prospecção Tecnológica: Levantamento de Patentes, Atuação da Academia e Potenciais Inovações em Ambientes de Aprendizagem no Brasil de 2000 a 2015”. iSys: Revista Brasileira de Sistemas de Informação, v. 9, p. 69-88, 2016.
- Ribeiro, M.F. e Araujo, R.M. (2019) “ICT in Education Technology Roadmap for Sustainable Development - Innovative Efforts of Brazilian High Level Education and Research Institutions”. World Symposium on Sustainability Science and Research Implementing. The 2030 United Nations Agenda for Sustainable Development.
- Ries, E. (2018) “O Estilo Startup”. 368 p. Editora Leya.
- Santos, M.F.R.F. (2011). “Elaboração do technology roadmap para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil”. 307 p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação na Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Schaller, R. (2004). “Technological Innovation in The Semiconductor Industry: A Case Study Of The International Technology Roadmap For Semiconductors (ITRS)”. Tese de Doutorado. Universidade George Mason, EUA.
- Souza, D.L.O. (2003). “Ferramentas de Gestão de Tecnologia: Um Diagnóstico de Utilização nas Pequenas e Médias Empresas Industriais de Curitiba”. Curitiba, 119f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, CEFET, Paraná.

Souza, C.G. *et al.* (2007) “Mapeamento da Informação Técnica como Subsídio às Atividades de P&D: Caso da Tecnologia de Ligas com Memória de Forma”. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, PR. 09 a 11 de outubro de 2007.

Teixeira, L.P. (2013). “Prospecção tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrados. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.

Tigre, P.B. (2006) .Gestão da inovação: a economia da tecnologia do Brasil. Rio de Janeiro: Elsevier.

Weiss, S.L.I. “Artigo Científico – Orientações para sua elaboração”. s/d. Disponível em:< twiki.im.ufba.br/pub/MAT052/EscritorLivreDeContexto/artigoCientifico.pdf>. Acesso em: 22 out. 2018.

Willyard, C. H. e McCless, C. W. (1987) “Motorola’s technology roadmapping Process”. Research Management, set-oct, 1987, p.13-19.

WIPO – World Intellectual Property Organization (2019). Site de Internet. Disponível em: <<http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>>. Acesso em: 26. Janeiro 2019.

Biografia das Autoras Márcia Ribeiro – <http://lattes.cnpq.br/9317391220320437>



Doutora em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Márcia é posdoutoranda no Programa de Pós-Graduação em Informática da UNIRIO. Seus tópicos de pesquisa são: Sistemas de Informação, Inovação e Gestão de Conhecimento. Além disso, em seu doutorado apresentou uma metodologia para a construção de um *roadmap* aplicado a matérias-primas renováveis. Lotada como Analista de Planejamento e Gestão da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) atuando na Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC).



Renata Araujo - <http://lattes.cnpq.br/3589012014320121>

Doutora em Engenharia de Sistemas e Computação, Renata é professora na Faculdade de Computação e Informática da Universidade Presbiteriana Mackenzie e pesquisadora convidada do Laboratório de Ludologia, Engenharia e Simulação da COPPE/UFRJ. Seus tópicos de pesquisa são: Sistemas de Informação, Democracia e Governança Digital, Gestão de Processos de Negócio e Gestão da Inovação. Nos últimos 4 anos, tem trabalhado para estimular, discutir e gerar conhecimento sobre os processos de inovação e suas relações com a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico nas universidades e, em particular, pelos programas de pós-graduação no Brasil. Renata é uma das editoras do livro Pesquisa e Inovação, da editora Publ!t (2017). Há 16 anos participa da consolidação da área de Sistemas de Informação no Brasil junto à SBC.

Chapter

2

Architectural Description of Systems-of-Information Systems

Milena Guessi, Valdemar Vicente Graciano-Neto, and Elisa Yumi Nakagawa

Abstract

Systems-of-Information Systems (SoIS) refer to collections of software systems that became able to deliver innovative functionalities as well as meet new business opportunities due to novel connections formed with information systems. The software architecture of SoIS plays an important role in their success since they are frequently associated with essential quality attributes, such as sustainability, performance, and reliability. Aiming to study the software architecture of SoIS, additional types of models can be explored for predicting its runtime behavior and structure. Through examples with formal and semi-formal notations, we discuss the advantages and limitations of selected techniques for the description of high level models of SoIS, namely SysML, SosADL, and DEVS. Finally, we outline directions for future work on tailored architectural models for practitioners and researchers dealing with SoIS analysis and design.

2.1. Introduction

Systems-of-Information Systems (SoIS) can be considered as a category of Systems-of-Systems (SoS) that also comprise one or more information systems (IS) (Graciano Neto, Oquendo, & Nakagawa, 2017), which in turn are software systems that collect (or retrieve), process, store, and distribute information (Laudon & Laudon, 2015; Tomacic-Pupek, Dobrovic, & Furjan, 2012). In this sense, other types of systems can be constituents of a SoIS, such as drones, cyber-physical systems, and other SoS. The main purpose of a SoIS is to support novel connections among its constituent systems so as to accomplish one or more business objectives, which can be materialized as flexible and inter-organizational business processes crosscutting a subset of constituent systems that are not exclusively IS (Majd, Marie-Hélène, & Alok, 2015; Saleh & Abel, 2015; Graciano Neto, Cavalcante, Hachem, & Santos, 2017).

The *architecture description* encompasses the set of artifacts used for documenting software architectures (ISO/IEC/IEEE 42010, 2011). As an abstraction of the system,

one or more models can be selected to support different tasks throughout system's analysis and design. For instance, models can be useful for explaining complex parts of the design to non-technical stakeholders, thus contributing for knowledge dissemination among stakeholders (Farenhorst & Boer, 2009). Moreover, models can also be useful for assessing the suitability of architectural decisions since an early stage of the system's life cycle (Capilla, Nakagawa, Zdun, & Carrillo, 2017). Given the complexity of each project, different viewpoints can be selected that will focus the attention of the reader to a single aspect or portion of the system. Therefore, it is important to carefully plan which models will be created so as to promote the readability and changeability of the architectural description without compromising the project's timeline.

The openness and dynamism that are intrinsic to systems-of-systems present additional challenges for researchers and practitioners dealing with their description. As part of a SoS, a constituent system can operate and evolve independently from other constituents, possibly fulfilling parallel tasks whilst being part of the SoS (Maier, 1998). Specially if constituents' operation is concealed from other systems or the SoS itself, architects will need tailored means for ensuring that constituents behave as expected and that certain properties are preserved (Fitzgerald, Bryans, & Payne, 2012). Connections that are formed when a constituent is added to the SoS play an important role in the definition of interactions that can take place at run-time, such as negotiation, orchestration, or choreography. For this reason, we often refer to connections among constituents as mediators (Issarny & Bennaceur, 2013), which are considered as first class entities of SoS architectures.

In this scenario, architects dealing with the description of SoIS will need to select architectural models that will help them to make informed design decisions since an early stage of the system's life cycle. These selections can indicate the need for novel architectural models aiming to better understand SoS dynamic evolution, interface mismatches, and quality characteristics at a higher abstraction level (Batista, 2013). While a literature review reported several languages for describing SoS software architectures (Guessi, Graciano Neto, et al., 2015), there is still no consensus on which models or notations would be more appropriate for this task. Thus, the first step to create tangible artifacts for describing SoIS architectures is to understand the advantages and limitations of specific models and notations.

This chapter investigates the process of creating architectural descriptions for SoIS. First, Section 2.2 presents the main characteristics of SoIS, pointing out key aspects of their design that are important for researchers and practitioners. Then, Section 2.3 introduces architectural descriptions of SoIS, discussing selected viewpoints and notations that can be useful for communication and evaluation. In Section 2.4, we further describe three instances of SoIS, examining how different models have supported in their analysis and design. Finally, in Section 2.5, we outline future directions for tailoring notations and architectural models to the particular needs of SoIS stakeholders.

2.2. Characterization of Systems-of-Information Systems

As a SoS, a SoIS shares the following well-defined characteristics (Maier, 1998): (i) constituent systems retain their *operational independence*, performing other tasks indepen-

dently from the SoS; (ii) constituent systems retain their *managerial independence* so that they can be owned by organizations other than the one running the SoS; (iii) constituent systems are *distributed*, exchanging relevant information with other systems in order to achieve the SoS mission; (iv) the SoS can be *evolutionary developed* in response to individual or collective changes in its constituent systems; and (v) the SoS presents *emergent behaviors* that are the result of new interactions between its constituent systems. Remarkable instances of SoIS encompass smart cities (Graciano Neto, Paes, et al., 2017), space systems (Graciano Neto, Manzano, Rohling, Volpato, & Nakagawa, 2018), and military systems (Paes, Graciano Neto, Moreira, & Nakagawa, 2019). These examples are further discussed in Section 2.4 to exemplify different notations.

Modeling SoS goals requires the identification of global objectives and how individual constituent systems can be assigned to these goals in order to achieve the SoS mission (Silva, Cavalcante, & Batista, 2017). Thus, new constituent systems allow the SoS to offer a unique range of functionality that could not be offered by any of its constituents alone (Maier, 1998). In the context of SoIS, a constituent system contributes with a set of capabilities that can be exploited for achieving specific goals, i.e., activities partitioned into smaller operational tasks that can be distributed to IS constituents matching these capabilities (Graciano Neto, Horita, et al., 2018). Due to SoIS business oriented nature, an internal business process defining the sequence and interdependence between a set of well defined activities is required to govern the SoS operation and the exchange of information between constituents (Graciano Neto et al., 2017). Therefore, the particular characteristics of SoIS brings additional implications to their design, such as (Saleh & Abel, 2015): (i) addressing information and knowledge exchange between IS; (ii) controlling the impact of interrelationships between SoIS that have other SoIS as constituents; (iii) taking responsibility for the information that is generated by the SoIS; and (iv) addressing information interoperability as a key concern.

In this scenario, a shared notation for the specification of SoIS goals must enable the representation of business processes, specially since constituents can be owned by other organizations which can change over time as new constituents join the SoIS (Graciano Neto, Horita, et al., 2018). For instance, mKAOS is a pioneering language specially designed to support missions modeling for SoS and can be considered the state-of-the-art notation for that purpose (Silva et al., 2017). Therefore, SoIS architectures must also be designed to cope with adverse run-time scenarios given that constituents are not necessarily known at design time. Finally, SoIS architectures must also address the interoperability between constituents at a higher abstraction level, specially considering the operational and managerial independence of constituents.

2.3. Architecture Descriptions

Software architectures comprise the fundamental structure of a software system, its elements, the relationship with other elements and to the environment, and the principles governing its design and evolution over time (Bass, Clements, & Kazman, 2012; ISO/IEC/IEEE 42010, 2011). As tangible artifacts expressing software architectures, architecture descriptions provide concrete ways for accessing systems qualities, sharing architectural knowledge, and preventing software systems' decay (Clements et al., 2011; Kruchten, 2009).

To disseminate best practices regarding the content of such artifacts, the ISO/IEC/IEEE 42010 (2011) standard establishes the main elements that compose an architecture description. For instance, it establishes that an architecture description should present a set of architecture views, each of which showing the software architecture from a specific architecture viewpoint. Architecture viewpoints select which languages, notations, methods, and model kinds can be used for creating, interpreting, and using a view. In this sense, a model kind is a broad concept encompassing diverse techniques used in architectural models, such as metamodels, templates, languages, and operations. Examples of model kinds include class diagrams, Petri nets, charts, among others.

Complex elements such as architecture frameworks, architecture styles, and Architecture Description Languages (ADLs), are also defined by the ISO/IEC/IEEE 42010 (2011) standard. An architecture framework establishes a common practice for creating, interpreting, analyzing, and using architecture descriptions. To this end, frameworks such as the “4+1” Views (Kruchten, 1995) and Views & Beyond (Clements et al., 2011) select which viewpoints, model kinds, stakeholders, and concerns should be framed by architecture descriptions targeting a particular domain or stakeholder community. In turn, an architecture style selects common model kinds and concerns for a particular class of software architectures. The term notation is used interchangeably in this work as a reference to ADLs, defined by the ISO/IEC/IEEE 42010 (2011) standard as any form of expression used in architecture descriptions. The main difference between programming languages and ADLs is that the latter enables the representation of software systems at a higher abstraction level, i.e., in terms of components, connectors, and configurations (Medvidovic & Taylor, 2000). Nonetheless, ADLs can also target a particular domain or set of concerns. In this regard, it can also be referred to as a domain specific language (Nielsen, Larsen, Fitzgerald, Woodcock, & Peleska, 2015).

To date, there are 124 known languages¹ for the description of software architectures in academia and industry. In this scenario, it is useful to distinguish ADLs based on formalism level, namely (Bass et al., 2012): (i) *formal*, comprising notations with precise (often mathematically based) syntax and semantics; (ii) *semi-formal*, comprising notations with defined syntax but lack of defined semantics; and (iii) *informal*, comprising free style models with ad-hoc syntax and/or semantics. In this scenario, UML is a semi-formal language since new profiles can define a new semantics for existing elements of the language.

The choice for a given notation can be justified based on its suitability for the intended use of architecture descriptions. For instance, practitioners can prefer ADLs that support the specification of both functional and non-functional properties, have a defined semantics to support automated analyses, and both graphical and textual representations for easing the communication among stakeholders (Lago, Malavolta, Muccini, Pelliccione, & Tang, 2015). Correspondences such as refinements, constraints, and dependencies can be defined to enforce consistency between elements of the architecture description. In particular, known inconsistencies should also be recorded by the architect so as to be properly addressed in subsequent stages of the system design. Therefore, it is important to keep record in the description about the rationale behind the selection

¹Architectural description languages, <http://www.di.univaq.it/malavolta/al/>

and/or creation of specific views as well as design alternatives and decisions that shaped the resulting software architecture.

In this context, the customization of architecture descriptions for a particular project or stakeholder community is in line with recommended best practices. In a previous study, we investigated the main building blocks of three notations for the description of SoS architectures (Guessi, Cavalcante, & Oliveira, 2015). While we could see similar building blocks in ADLs for SoS and monolithic systems, we noticed specific challenges rising from SoS dynamism and openness. For instance, the architectural configuration of an SoS that we also refer to as a *coalition* must represent the connections between constituents and mediators. However, the coalition presents a combined behavior that is greater than the merely sum of its parts, and this behavior can only be observed at runtime. Moreover, the operational and managerial independence of constituents requires a dynamic response of the SoS, e.g., reorganizing its architectural configuration with the remaining constituents and/or creating new mediators to incorporate new ones. Therefore, it is important to take into account these characteristics of SoS when selecting architectural viewpoints and notations for SoIS. Following, we discuss the advantages and limitations of selected viewpoints and notations in light of SoIS characteristics.

2.3.1. Selected Notations and Viewpoints

Several ADLs have been used to document and evaluate SoS (Guessi, Graciano Neto, et al., 2015; Klein & van Vliet, 2013), including semi-formal and formal languages, such as UML², SysML³, and CML (Woodcock et al., 2012). UML and SysML are general purpose languages, the latter is considered an extension of the former. Both languages have been used in SoS descriptions (e.g., Mittal and Risco Martin (2013), Bryans, Payne, Holt, and Perry (2013), Andrews, Payne, Romanovsky, Didier, and Mota (2013), Dahmann et al. (2017)), despite missing first class constructs for mediators and coalitions of SoS architectures (Guessi, Cavalcante, & Oliveira, 2015). For instance, the block definition diagram of the SysML can represent multiple systems. Nonetheless, it does not support representing dynamic properties, such as emergent behaviors, since it is a static model (Guessi, Graciano Neto, et al., 2015). CML is a formal language especially conceived for SoS formal specification, focusing on the verification of emergent behaviors but not on their validation (Fitzgerald, Foster, Ingram, Larsen, & Woodcock, 2013).

Other languages have been used for describing SoS, for instance, the Composable Adaptive Software Systems (COMPASS) (Gokhale et al., 2008) that defines a modeling paradigm for deploying SoS via mediators. This language offers support to modeling constituents, validating the syntax, semantics, and compatibility of assembled constituents, and generating meta-data descriptors that can be used for middleware purposes. Cook, Drusinsky, and Shing (2007) use MSC Assertions, a formal-language extension of the UML sequence diagram superimposed with UML statecharts, to validate SoS run-time behaviors. Griendling and Mavris (2011) use UML in a methodology coined Architecture-based Technology Evaluation. They identify limitations of UML for representing executable models that would suggest the use of Discrete Event notations instead. The

²UML, <http://www.uml.org/>

³SysML, <http://sysml.org/>

Capability Tradeoff (ARCHITECT) UPDM is a formal language that provides UPDM (Unified Profile for DoDAF and MODAF) as a novel, consistent way for creating DoDAF 1.5 and MODAF 1.2 descriptions in UML-based tools, thus offering a compatible way for interchanging descriptions expressed in any of the two notations (Hause, 2010b, 2010a). Finally, bi-graph models have also been used as a formal language for representing SoS in that nodes represent constituents and edges represent communication links between them (Wachholder & Stary, 2015; Gassara, Bouassida, & Jmaiel, 2017; Gassara, Rodriguez, Jmaiel, & Drira, 2017). This notation supports the description of structural properties, which are materialized by links (i.e. system connectivity), and constituents' behaviors, materialized by reaction rules.

In this scenario, we observe that languages for SoS should offer support for (Guessi, Cavalcante, & Oliveira, 2015): (i) partial descriptions of constituents, which are not necessarily known at design time; (ii) environmental modeling; and (iii) dynamic architectures. Aiming to overcome some of limitations found with present ADLs for the description of SoS, we observe several works investigating the transformation of architectural models expressed in ADLs, such as π -ADL, SySML, HLA, or DoDAF⁴, into programming and/or simulation languages (e.g., Go language and Simulink⁵). Therefore, we notice that SoS languages also need to bridge the gap between high level architecture descriptions and low level simulation models.

The multitude of languages that can be used for expressing SoS architectures poses new challenges for creating architecture descriptions given that (Guessi, Cavalcante, & Oliveira, 2015): (i) there is no consensus regarding which languages to use for the description of SoS software architectures; (ii) there is a lack for specific guidelines about the selection of suitable formalism levels; and (iii) there is no consensus regarding the essential features of ADLs for the description of SoS software architectures. In particular, the business oriented nature of SoS requires a specific viewpoint for capturing information as well as decision flow across constituent systems. This architectural view can use BPMN⁶ for describing the flexible and inter-organizational processes that enable to achieve SoS goals. However, it is also important to mention that BPMN still presents limitations for SoS mission design.

2.3.1.1. SosADL

SosADL is a novel formal ADL for SoS that supports the specification of abstract architectures in which concrete constituents are not necessarily known at design-time and abstract connectors are specified so as to be dynamically realized by the SoS in case there is a need to incorporate new constituents and/or reassemble the ones that remained in the colation (Oquendo, 2016b, 2016a). SosADL offers a well-defined semantics founded in the π -calculus and a textual syntax for the specification of high level architecture models (Oquendo, 2016a). In particular, it enables the description of coalitions, i.e., temporary alliances among constituents that collaborate via mediators (Oquendo, 2016c). Thus, the

⁴US Department of Defense Architecture Framework (2010)

⁵Simulink, <http://www.mathworks.com/products/simulink/>

⁶BPMN, <http://www.bpmn.org/>

behavior of coalition can be used for specifying how constituents are allowed to communicate at run-time so as to accomplish a given set of missions. The following section will provide examples for the use of SosADL in SoIS architecture description.

Figure 2.1 shows an excerpt of the main building blocks of the SosADL language, including mediators, coalitions, and systems (i.e., constituent systems). Mediators are first-class elements representing the communication links between constituents (Wiederhold, 1992). Both mediators and systems can be further specified in terms of an internal behavior. The architecture defines policies for assembling abstract types of systems and mediators as coalitions, e.g., enumerating abstract types of constituents that can be part of the SoS and the interactions that can take place among them. Coalitions can be further specified by a behavior, data types, and ports exposed to the environment or other constituents. In this sense, ports (i.e., gates and duties) provide abstractions that support modeling the communication between constituents and mediators. For instance, they can receive stimuli from or act upon conditions observed in the environment, hence enabling the interaction of the SoS with its surrounding environment. Data types can define functions, which in turn can be associated with expressions.

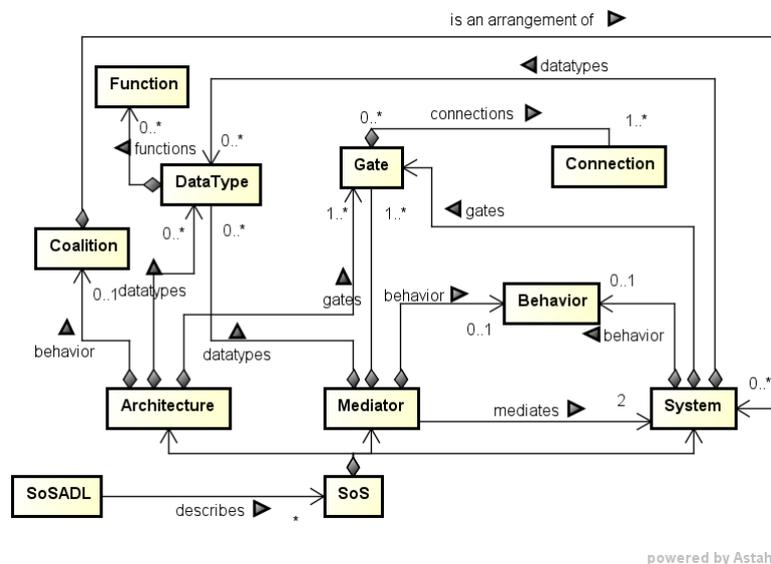


Figure 2.1. An excerpt of SosADL abstract syntax (Graciano Neto, 2016).

2.4. Case Studies on SoIS architecture description

We discuss in this section about the architectural models that have been created for SoIS in three different domains, namely smart cities, space systems, and the military. These models are expressed in SosADL and SysML although other languages have also been used in specific parts of these projects. We explain the rationale for using other languages in the description of each case.

SosADL was used to create models of two different viewpoints: (i) a constituent⁷

⁷We have selected this term instead of Components and Connectors (Clements et al., 2011) due to the fact that this viewpoint also maps the behavior of constituents

viewpoint, which focuses on each individual constituents of a coalition as well as their inner properties (e.g., expected inward and outward connections, behavior, functions, etc.); and (ii) a coalition viewpoint, framing the communication links between constituents and mediators that makes it possible to accomplish the SoS mission. Despite mapping the behavior in both viewpoints, these models are still static, i.e., they are created at design time to explore the run-time behavior of a coalition.

2.4.1. Smart city SoIS

A smart city is a dynamic environment comprising IS that work together to provide efficient and effective services that help to increase the quality of life of citizens (Rech, Pistauer, & Steger, 2018), such as government IS and healthcare IS (Pelliccione et al., 2016). In this scenario, the smart city is a SoIS that potentially involves several constituents that can be, themselves, SoS and SoIS, such as cyber-physical systems-of-systems (CPSoS) (Engell, Paulen, Reniers, Sonntag, & Thompson, 2015; Díaz, Pérez, Pérez, & Garbajosa, 2016), smart houses, smart buildings, smart traffic control, smart grids (for power distribution), smart factories, as well as emergency response systems (Santos, Oliveira, Duran, & Nakagawa, 2015). These constituents are all part of a complex system network, in which systems could compete for shared resources whilst adhering to an overarching, high level business process. Therefore, the collaboration among constituents becomes essential to achieve the SoIS mission, e.g., ensure public security, reduce traffic, monitor imminent flash floods, and manage crisis events.

The authors have been involved in the study of a Flood Monitoring SoS (FMSoS) (Guessi, Oquendo, & Nakagawa, 2016; Graciano Neto, Paes, et al., 2017; Graciano Neto, 2018), one of the constituents of the smart city SoIS that can also relay information to the constituent dealing with emergency and crisis management. FMSoS deploys several sensors to monitor real time conditions of rivers that cross urban areas particularly prone to flooding. At a high abstraction level, FMSoS can be described as having five different types of constituents, namely: (i) *smart sensors*, which are embedded systems distributed throughout the river extension that collect data about water level; (ii) *gateways*, which gather data from other constituents and relay them to external systems; (iii) *crowd sourcing systems*, which are mobile applications used by citizens to warn authorities about the water level in locations outside the range of smart sensors; (iv) *drones*, which are unmanned automated vehicles used by the authority monitoring the water level from the sky, taking pictures of the river and notifying agents of the emergency and crisis management team; and (v) *drone bases*, which are fixed stands for drones' departure and arrival that can be used for recharging their batteries and uploading collected data.

The simulation of the FMSoS is generated from its SosADL description. It includes 42 sensors, nine crowd sourcing systems, and 18 drones. A drone must have its own base, totaling 18 drone bases that transmit collected data through a 3G gateway. There are also 18 gateways distributed along the river bank. In total, there are 20 gateways that can be used to gather data within the coalition and relay these data to external systems (Graciano Neto, Paes, et al., 2017). Listing 2.1 shows an excerpt of the description of a smart sensor in SosADL. The complete description is not shown to improve the readability of this example. From this listing, we can notice that the `gate energy` offers two environment connections, i.e., connections to the external environment, in Lines

11 and 12. The first connection, named `threshold`, reads the minimum energy level required for resuming the sensor operation, and the `power` connection is used to read the battery level of the sensor. Thereby, the description of a connection must specify a name and data type for the information that can be transmitted by the communication channel. Therefore, a SoS architect can use the environment modifier to explicitly determine what constituents, mediators, and coalitions are able to read from and transmit to the environment.

Listing 2.1. A specification of a Sensor in SoSADL.

```

1  ///'with' imports declarations suppressed
2  // Description of Sensor as a System Abstraction
3  library WsnSensor is {
4      system Sensor( lps:Coordinate ) is {
5          // Declaration of local types hidden
6          gate measurement is {
7              connection pass is in { MeasureData }
8              environment connection sense is out { MeasureData }
9          }
10         gate energy is {
11             environment connection threshold is in { Energy }
12             environment connection power is in { Energy }
13         }
14     }
15 }

```

Figure 2.2(a) shows the SosADL description of the FMSoS expected behavior, which is named `coalition`. The coalition can be any composition of sensors, gateways, and transmitters (a type of mediator) (Lines 7-9). The binding (Lines 11-23) defines how these elements can be connected, which could then enable the warning behavior of the SoIS. The main policy of this behavior states that between each pair of sensors (i.e., `isensor1` and `isensor2`), there must be a transmitter, which in turn will forward data from its input connection `fromSensors` to either the next sensor or to the next gateway by means of its output connection `towardsGateway`, if the transmitter actually mediates a sensor and a gateway. Therefore, the interactions that will take place at run-time can be tailored to the types of elements that actually exist in a concrete coalition.

As previously mentioned, the SosADL description is a static model for the run-time behavior of constituents and coalitions. Therefore, we have implemented an automated model transformation from SosADL to Discrete Event System Specification (DEVS) (Zeigler, Kim, & Prahofer, 2000) aiming to run these models in the MS4ME⁸, a simulation environment. Figure 2.2(b) shows an excerpt of a DEVS simulation model for one of the possible scenarios that satisfy the former architecture description. In particular, it shows a coupled model, i.e., a model that defines how constituent systems (which are further described by atomic models) may exchange data with each other, producing an emergent behavior for the coalition as a whole. The DEVS simulation requires a stimuli generator, an artificial entity that has been introduced to the coupled model for autonomously producing stimuli that emulate the SoS environment (Graciano Neto, Paes, et al., 2017; Graciano Neto, 2018). In this example, this system emulates the handover of

⁸MS4ME, <http://ms4systems.com/>



Figure 2.2. A SosADL coalition description mapped to a DEVS simulation model.

real world data, such as the lps coordinates obtained by a GPS and the water level collected by a smart sensor, between sensors towards the gateway. The interactions between constituents and connectors are created by iterating on the set of sensors and transmitters in the coalition, creating one interaction for each element of the unification segments in the SosADL description. Figure 2.3 shows a screenshot of a smaller instance of this simulation running in the MS4ME environment. The simulation supports the observation of emergent behaviors in the coalition, offering an animated view of the architecture description that was originally represented in SosADL. In particular, this simulation can be used to study the roles of individual constituent systems, provided and required interfaces, and data flow across the coalition. Details on the transformation from SosADL to DEVS are further discussed by Graciano Neto, Garcés, et al. (2018).

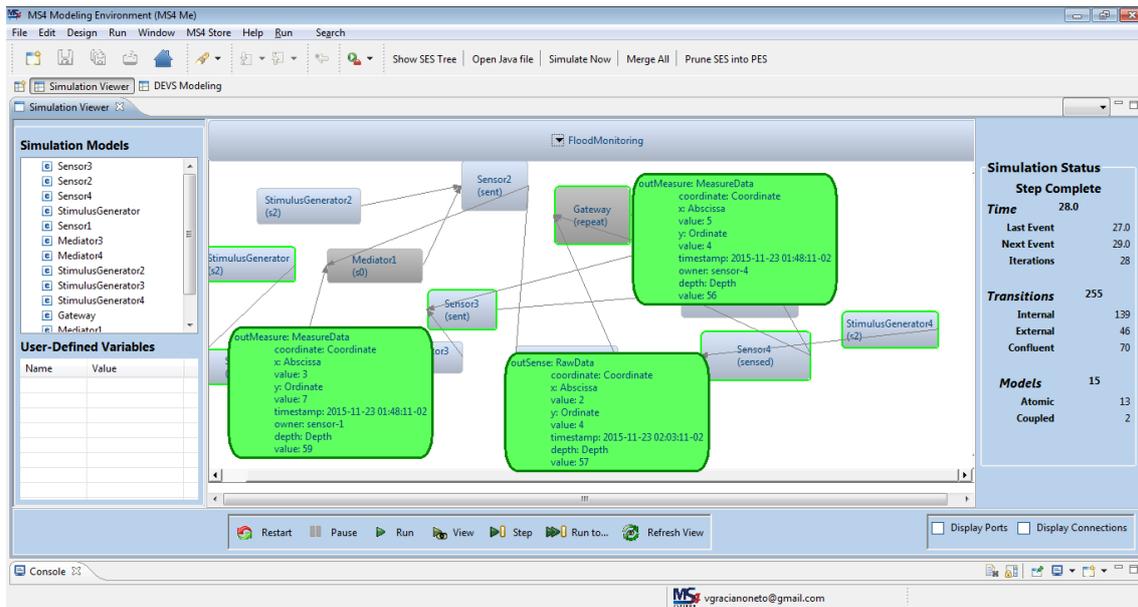


Figure 2.3. Screenshot of the Flood Monitoring SoS model in DEVS running in MS4ME.

2.4.2. Space SoIS

Space systems are indispensable to modern life, finding applications in telecommunications, space, climate, and natural resources monitoring, early warning systems, and national and sea coast surveillance⁹ (Graciano Neto, Manzano, et al., 2018). Since a Space SoS also comprises some software-intensive IS, it can also be considered a SoIS. The goals of the Space SoIS are explicitly expressed in terms of a business process, i.e., a well-defined sequence of inter-dependent activities distributed among its constituent systems. Approximately 800 constituents (both on the ground and in the space) can accomplish important goals of this SoIS, such as global telecommunication capabilities, global position services (GPS), weather forecast, and military observation (Yamaguti, Orlando, & Pereira, 2009; Graciano Neto, Horita, et al., 2018; Graciano Neto, Manzano, et al., 2018).

Figure 2.4 illustrates the main constituents of the Space SoIS spread over the Brazilian territory. The Space SoIS is composed of the following different types of constituents (Graciano Neto, Manzano, et al., 2018; Graciano Neto, Horita, et al., 2018). Satellites are the main constituents of a Space SoIS. Each satellite is divided into several subsystems, having an onboard computer, power system, propulsion system, altitude control, communication system, sensors, infrared cameras, solar panels, batteries, and reaction control system. A satellite establishes contact with systems on the ground when it overflies a ground station, collecting data from constituents such as Data Collection Platforms (DCP) and capturing photographs from strategic locations, such as Amazon forest. Additional goals for a Space SoS may include: (i) monitoring of deforestation and fires; (ii) telecommunications to support Internet and TV; (iii) scientific missions, such as study of solar behavior and planetary exploration; (iv) river monitoring in the event of

⁹Brazilian National Program of Space Activities (2012-2021), <https://goo.gl/7h9ETV>

environment disasters; and (v) detection of tsunamis and hurricanes. Other constituents illustrated in this figure are:



Figure 2.4. Illustration of a Brazilian Space SoIS for information exchange via satellites (INPE, 2019).

1. **Command and Control Center (C2):** an IS located in São José dos Campos. It generates goal requests to be accomplished by the SoIS;
2. **Satellite:** a synchronous polar orbit satellite that takes photographs of the Earth every five days.
3. **Ground Station:** an IS located in Cuiabá that receives and handovers data to satellites, temporarily storing data and location of these satellites;
4. **Remote Sensing Data Center:** an IS that receives, stores, processes, and distributes images and data from remote sensors;
5. **Data Collection Platform (DCP):** a cyber-physical system whose electronic sensors measure environmental variables, such as precipitation, atmospheric pressure, solar radiation, temperature, air humidity, dew point, wind direction and speed, and detects variations in water body level¹⁰. They are positioned so as to cover the entire Brazilian territory and are of particular necessity to monitor remote regions where no other communication technology is available, such as in the center of the Amazon rainforest. Therefore, these systems can relay collected information to

¹⁰Simge website, <http://www.simge.mg.gov.br/simge/sobre-o-simge>

overflying satellites, which in turn will hand over that information to ground stations in their path until finally reaching their final destination and thus fulfilling the Space SoIS goal to monitor remote areas within the national territory.

Goals of the Space SoIS adhere to a well defined business process (Graciano Neto, Manzano, et al., 2018). The process for *acquiring environmental data*, for instance, is composed of many activities performed by different constituent systems (Graciano Neto, Horita, et al., 2018). The SoIS involves governmental institutions and enterprises of the business sector and DCPs owners. The Command and Control constituent is operated by expert users. This constituent supports the elaboration of operational plans and distribute commands to Ground Stations, which configure antennas and rotors, establish links with satellites, and send commands to be performed by the satellites accordingly. Data is captured by DCPs spread all over the country territory and transmitted back to overflying satellites orbiting the Earth.

The process of taking photographs is similar, substituting the task of obtaining data from DCPs by the task of taking photographs with monitoring cameras and other sensor devices. These processes are inherently flexible and inter-organizational since many institutions that own constituents cooperate with each other to fulfill the SoIS goal. As new DCPs, satellites, and IS may join this SoIS at run-time, the Space SoIS architecture is inherently dynamic, even if changes to its constituents do not occur frequently. Indeed, there is usually a fixed set of systems (including IS) that contribute for achieving the SoIS mission, guided by a business process. Despite other types of systems involved (such as satellites and DCPs), ISs that compose the SoIS also follow their own business processes, serving SoIS missions on demand.

The second author has modeled the Space SoIS architecture with a C2 center, a data center, a ground station, six satellites, and 249 DCP stations (totaling 258 constituents). The orbits were defined according to a study on the constellation of satellites (Carvalho, Santos Lima, Santos Jotha, & Aquino, 2013). Maximum and average contact times, maximum and average revisit times, percentage of satisfactory revisits, and the average number of contacts per day were recorded during the preparation for simulation (Manzano, Graciano Neto, & Nakagawa, 2019). The complete architectural description of this coalition in SosADL and DEVS is externally available¹¹. Following the same rationale for the model in Listing 2.1, Listing 2.2 shows a simplified version of an architectural description in SosADL of one of the satellites involved in the Brazilian Space SoIS. The Satellite Amazonia handles several types of data. As it can be seen, the satellite can manage `Images` that represent photographs captured from the Brazilian territory (Line 2), `Telecommands` (Lines 5-7), which are instructions/assignments of activities that are received from ground experts to determine satellite operation, and many other types of data (Lines 8-18). The surrounding environment of the satellite is also modelled and monitored via external gates and their respective connections that sense the environment (Lines 21-26). Other types of gates also exist to capture images via camera (Lines 28-30), send data to the ground station (Lines 32-34), offer GPS services and to locate itself in the space (Lines 36-38), and its internal behavior (Lines 40-85). Its behavior comprises continually checking battery levels (Lines 47-57). When it is not charging, the satellite may

¹¹Space SoIS architecture description, <http://www.inf.ufg.br/~valdemarneto/projects/spacesos.html>

open solar panels to recharge¹²; wait for instructions (telecommands) from the ground (Lines 59-73); provide GPS location (Lines 75-78); and receive and send images when the ground station is within range and it is overflying a specific location (Lines 75-82).

Listing 2.2. Excerpt of a satellite modelled in SosADL.

```

1  system SatelliteAmazonia3( lps:Coordinate ) is {
2    datatype Image is tuple { name:String, extension:String, content:Binary }
3    datatype CollectedImages is sequence { Image }
4
5    datatype Telecommand is tuple { id:integer, date:Calendar, orbitId:integer,
6      name:String, instruction:integer, coordinateToBeMonitored:Coordinate
7    }
8    datatype Binary
9    datatype Orbit
10   datatype Power
11   datatype SatelliteHeight
12   datatype SatelliteTemperature
13   datatype Latitude is Double
14   datatype Longitude is Double
15   datatype SatellitePosition is tuple { x:Latitude, y:Longitude }
16   datatype Coordinate is tuple { x:Latitude, y:Longitude }
17   datatype Establish
18   datatype Distance
19   ...
20
21   gate satelliteState is {
22     environment connection power is in { Power }
23     environment connection orbit is in { Orbit }
24     environment connection temperature is in { Integer }
25     environment connection height is in { Integer }
26   }
27
28   gate camera is {
29     environment connection image is in { Image }
30   }
31
32   gate telemetry is {
33     connection telemetry is out { Image }
34   }
35
36   gate location is {
37     environment connection coordinateSatellite is in { SatellitePosition } connection
38     coordinate is out { SatellitePosition }
39   }
40   behavior main is {
41     value telecommand1 : Telecommand = any
42     value powerThreshold : Power = 20 //battery threshold in 20 percent.
43     value image1 : Image = any
44     value powerNow : Power = any
45     value distanceMax:Distance = 5
46
47     repeat{
48       via satelliteState::power receive powerNow
49       if (powerNow > powerThreshold) then {
50         value powerNow = powerNow - 10
51       } else {
52         value powerNow = 100
53       }
54
55       choose {
56         via establish::establishConnectionGS receive establish
57         if(establish = 1) then {
58           via operation::telecommand receive telecommand
59         }
60       } or {

```

¹²This is not specified in this listing.

```

61   via establish::establishConnection receive establish
62   if(establish = 1) then {
63     choose {
64       via notification::terrestrialMeasurereceive terrestrialData
65       do terrestrialDataBuffer::append(terrestrialData)
66     } or {
67       via notification::aquaticMeasure receive aquaticData
68       do aquaticDataDataBuffer::append(aquaticData)
69     }
70   }
71   } or {
72     via location::coordinateSatellite receive satellitePosition
73     via location::coordinateSatellite send satellitePosition
74   }
75   if(distance(satellitePosition, telecommand::coordinateToBeMonitored)
76   <= distanceMax) then {
77     via camera::image receive image1
78     via telemetry::telemetry send image1
79     via camera::image receive image1
80     do collectedImages::append(image1)
81     via telemetry::telemetry send image1
82   }
83   }
84   }
85   }

```

Listing 2.3 shows an excerpt of the description of the Space SoIS in SosADL. Constituents and mediators have all been identified for that architecture (Lines 4-13). In this version, we can observe Data Center, Command and Control, Ground Station, Satellite, some mediators, and one DCP. Bindings (Lines 15-33) show part of the description that determine how output connections can be linked to predefined input connections for pairing constituents in the Space SoIS. Then, DEVS simulation models of this architecture have been created based on this description. In this case, the simulation enabled to visualize goals as inter-organizational and potentially flexible business processes.

Listing 2.3. Excerpt of a Space SoIS architecture modelled in SosADL.

```

1  sos spaceSoSArchitecture is {
2    architecture spaceSoSArchitecture( ) is {
3      behavior coalition is compose {
4        dataCenterCP is DataCenter
5        commandAndControlSJC is CommandAndControl
6        groundStation is GroundStation
7        satellite is SatelliteAmazonia3
8        mediator1 is MediatorDataCenterToC2
9        mediator2 is MediatorC2ToGround
10       mediator3 is MediatorGroundToSatellite
11       mediator4 is MediatorGroundToDataCenter
12       pcd31980 is PCDTerrestre
13       mediatorPcd1 is MediatorPCDtoSatellite
14     }
15     binding
16     {
17       unify one { dataCenterCP::telemetryrequirement::request } to one
18       { mediator1::transmit::request }
19       and
20       unify one { mediator1::transmit::request } to
21       one { commandAndControlSJC::requests::request } and
22
23       unify one { commandAndControlSJC::requests::operation }
24       to one { mediator2::operation } and
25       unify one { mediator2::transmit::operation }
26       to one { groundStation::operation::operation } and
27       ...
28
29       unify one { groundStation::sendData::telemetry }

```

```

30         to one { mediator4::transmit::telemetry } and
31         unify one { mediator4::transmit::telemetry } to
32         one { dataCenterCP::datarequirement::telemetry } and
33         ...
34     }
35 }
36 }

```

2.4.3. SysGAaz

We also investigate the description of a real military SoIS of the Brazilian Navy, named SySGAaz. This SoIS monitors the Blue Amazon, i.e., a region that extends along the Brazilian coast boarder, comprising 350 nautical miles (Paes et al., 2019). The Blue Amazon is equivalent in size to the Amazon rainforest (4.5 million km²), but concentrates 95% of the Brazilian foreign trade flow and 80% of the Brazilian oil reserves.

Many public organizations participate in the operation of this SySGAaz, including the Federal Regulatory Agency, the Brazilian Army, as well as organizations from the private sector. This SoIS interfaces with all of these entities aiming to minimize information exchange and coordinate missions with the Brazilian Navy. Paes et al. (2019) indicate three essential types of systems of naval operations: (i) Command and Control Naval System (SisNC2); (ii) Operational Intelligence System (SIOp), and (iii) Maritime Traffic Information System (SISTRAM). SisNC2 is a planning, monitoring, and decision support system for the Maritime Operations Theater Commander (TOM). SIOp plans, executes, and controls naval operations at various levels, interacting with others systems to provide information and knowledge to Operational Intelligence Center (CEIOP). Moreover, SisNC2 aggregates regionally collected information from Brazilian Navy units, external organizations, and military organizations to obtain knowledge in specific areas, such as acoustic and electronic warfare, direction finding and maritime traffic control maritime. Finally, SISTRAM handles the maritime traffic control of merchant ships in the Brazilian coast.

External systems of other armed forces branches as well as third party organizations provide input to several scenarios and operating levels in the Brazilian Navy. Some examples are: Operations Planning Information System (SIPLOM), Integrated Border Monitoring System (SISFRON), General Air Synthesis Transmission System (SISTRASAG), and Amazon Protection System (SIPAM). SIPLOM is the main Command and Control (C2) system of Ministry of Defense that displays location, characteristics, and interrelations of constituted means of peace, crisis, and war operations. SISFRON is the system of continuous monitoring of areas of interest, particularly of the border, and integrates existing systems, based on a communications infrastructure, supported by information security. SISTRASAG is a system of the Brazilian Aerospace Defense Command that provides encrypted aerial information (radar images) to authorized military organizations. Finally, SIPAM integrates a comprehensive capability that supports remote weather monitoring and surveillance of the Amazon rainforest.

Paes et al. (2019) use multiple model kinds in the description of the SySGAaz software architecture. In particular, they select the Business Process Model and Notation (BPMN) and Data Flow Diagram (DFD) for representing operational processes, and a combination of UML and SysML models for materializing the coalition and constituent

descriptions. One of the issues found with the use of multiple model kinds in this project was the lack of compatible architectural elements, which could have led to incomplete and inconsistent models across different notations. Therefore, if model kinds are not carefully selected, the use of multiple model kinds can contribute for the lack of standardization in the development phase. Another issue with SysML and UML is that these are mostly descriptive and static notations, missing dynamic constructs that would support the description of emergent behaviors in the coalition. Hence, there is still a need for a graphical ADL that supports a holistic and comprehensive representation of the software architecture of SoS and SoIS, comprising both static and dynamic views of its structure and behavior¹³.

2.5. Conclusions and Future Work

This chapter presented our latest developments regarding the architectural description of SoIS. We have experienced different notations for the description of coalitions, behaviors, and properties. We have also created models that allowed us to simulate the surrounding environment of SoIS at the architectural level, which is an important achievement in systems and software engineering (Graciano Neto, Paes, et al., 2017; David et al., 2013; Iqbal, Arcuri, & Briand, 2015; Cheng, Sawyer, Bencomo, & Whittle, 2009). In particular, we showed how static models that were originally expressed with SoSADL were later transformed in DEVS dynamic models and simulated in MS4ME. From these previous experiences, we draw a few lessons for the description of SoIS, specifically:

- A textual ADL, such as SosADL, supports a static view of the structure and behavior of coalitions and constituents of SoIS. This description still needs to be complemented by a dynamic view, which will support the description of emergent behaviors that are anticipated at design time. Simulation models and models at run-time can be used for this purpose, helping to prevent economic losses and/or critical errors that incur from flawed system specifications. Dynamic models can be manually or automatically produced, depending on the feasibility of implementing model transformations. Simulation models can be based on different paradigms, such as discrete events or system dynamics. DEVS is a prominent option for discrete events specification whilst Modelica¹⁴ is an option for system dynamics. In particular, the goal specification is embedded in the SoIS behavior;
- A graphical ADL, such as UML or SySML, supports a static view of the SoIS. These views are expressed by a set of models that capture different facets of the SoIS. Frequently, we can combine two or more graphical languages to overcome the weaknesses of a single notation. For instance, mKAOS (Silva et al., 2017) can be specifically selected for the graphical representation of SoIS missions. Despite known limitations of SysML for representing process flows, block diagrams can be used for representing constituents and their interfaces, sequence diagrams

¹³It is important to distinguish between the pairs structure-behavior and static-dynamic. SosADL offers constructs to represent both structure and behavior of SoS/SoIS, but it is not a dynamic language. On the other hand, DEVS simulation models and models at run-time provide a dynamic view of the SoS/SoIS architectural descriptions.

¹⁴Modelica, <https://www.modelica.org/>

for mapping process flows across constituents, and UML diagrams for refining the architecture of each constituent, showing its required and provided interfaces that enable its interaction with other constituents (Graciano Neto, Horita, et al., 2018).

As future work, we identify two research directions for both practitioners and researchers dealing with SoIS architectures design.

- Formalization of SoIS architecture description. In this chapter, we reported our experiences with formal and semi-formal notations for SoIS description. While SysML offers a graphical notation that helps in the communication of architectural knowledge, the lack of formal foundations hampers its applicability for automated analysis. In fact, concealing mismatches across architectural models can be harmful specially if SoS perform a safety-critical mission. In this sense, formal notations will provide better support for automatically propagating changes throughout subsequent stages of the development life cycle (Mens, Magee, & Rumpe, 2010), making them more suitable for dealing with the evolutionary development of SoS and SoIS. Moreover, language developers will need to address disadvantages that usually come from using formal notations, such as requiring high experience level and specialized training, by concealing the use of formal languages from the user.
- Viewpoints for describing SoIS software architectures. In this chapter, we addressed the description of SoIS from a constituent and coalition viewpoints. Nonetheless, other viewpoints could be required, such as the mission viewpoint discussed in this chapter, but there is still no consensus on an architecture framework for SoS (Guessi, Graciano Neto, et al., 2015), which includes SoIS. Thus, depending on which set of viewpoints are needed, ADLs may need to provide support for additional sets of features, such as tailored constructs for business processes.

Acknowledgements

The authors thank Prof. Dr. Adair Rohling (UTFPR) for his work on the Space SoIS, Prof. Dr. Carlos Paes (PUC-SP) for his work on the Navy SoS, and Wallace Manzano (ICMC-USP) for his work on implementation and simulation of DEVS models. This work is supported by the São Paulo Research Foundation (FAPESP), grants 2012/24290-5, 2017/22107-2, and 2017/06195-9, and of the Brazilian National Research Council for Scientific and Technological Development (CNPq), grant 312634/2018-8.

References

- Andrews, Z., Payne, R., Romanovsky, A., Didier, A., & Mota, A. (2013). Model-based development of fault tolerant systems of systems. In *7th IEEE International Systems Conference (SysCon 2013)* (pp. 356–363). Orlando, FL, USA: IEEE.
- Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2012). *Software architecture in practice* (3rd). Indianapolis, Indiana, USA: Addison-Wesley Professional.
- Batista, T. (2013). Challenges for sos architecture description. In *1st International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems (SESoS)* (pp. 35–37). Montpellier, France: ACM.

- Bryans, J., Payne, R., Holt, J., & Perry, S. (2013). Semi-formal and formal interface specification for system of systems architecture. In *7th IEEE International Systems Conference (SysCon 2013)* (pp. 612–619). Orlando, FL, USA: INCOSE.
- Capilla, R., Nakagawa, E. Y., Zdun, U., & Carrillo, C. (2017). Toward architecture knowledge sustainability: Extending system longevity. *IEEE Software*, *34*(2), 108–111.
- Carvalho, M. J. M., Santos Lima, J. S., Santos Jotha, L., & Aquino, P. S. (2013). CONASAT: Constellation of Nano Satellites for Environmental Data Collection (in Portuguese). In *16th Brazilian Symposium on Remote Sensing* (pp. 9108–9115). Foz do Iguaçu, Brazil: National institution of Space Research.
- Cheng, B. H. C., Sawyer, P., Bencomo, N., & Whittle, J. (2009). A goal-based modeling approach to develop requirements of an adaptive system with environmental uncertainty. In A. Schürr & B. Selic (Eds.), *Model driven engineering languages and systems* (pp. 468–483). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Clements, P., Bachmann, F., Bass, L., Garlan, D., Ivers, J., Little, R., ... Stafford, J. (2011). *Documenting Software Architectures: Views and Beyond* (2nd ed.). Addison-Wesley.
- Cook, T. S., Drusinksy, D., & Shing, M. T. (2007). Specification, validation and runtime monitoring of soa based system-of-systems temporal behaviors. In *3rd IEEE International Conference on System of Systems Engineering (SoSE 2007)* (pp. 1–6). San Antonio, USA: IEEE.
- Dahmann, J., Markina-Khusid, A., Doren, A., Wheeler, T., Cotter, M., & Kelley, M. (2017). Sysml executable systems of system architecture definition: A working example. In *11th Annual IEEE International Systems Conference (SysCon 2017)* (pp. 1–6). Montreal, Canada: IEEE.
- David, O., II, J. A., Lloyd, W., Green, T., Rojas, K., Leavesley, G., & Ahuja, L. (2013). A software engineering perspective on environmental modeling framework design: The object modeling system. *Environmental Modelling & Software*, *39*, 201–213. Thematic Issue on the Future of Integrated Modeling Science and Technology.
- Díaz, J., Pérez, J., Pérez, J., & Garbajosa, J. (2016). Conceptualizing a framework for cyber-physical systems of systems development and deployment. In *10th European Conference on Software Architecture Workshops (ECSAW 2016)* (pp. 1–7). Copenhagen, Denmark: ACM. doi:10.1145/2993412.3004852
- Engell, S., Paulen, R., Reniers, M. A., Sonntag, C., & Thompson, H. (2015). Core research and innovation areas in cyber-physical systems of systems. In M. R. Mousavi & C. Berger (Eds.), *Cyber physical systems. design, modeling, and evaluation* (pp. 40–55). Cham: Springer International Publishing.
- Farenhorst, R. & Boer, R. C. (2009). Knowledge Magament in Software Architecture: State of the Art. In M. A. Babar, T. Dingsøyr, P. Lago, & H. van Vliet (Eds.), *Software architecture knowledge management theory and practice* (pp. 21–38). Springer.
- Fitzgerald, J., Bryans, J., & Payne, R. (2012). A formal model-based approach to engineering systems-of-systems. In L. M. Camarinha-Matos, L. Xu, & H. Afsarmanesh (Eds.), *Collaborative networks in the internet of services* (Vol. 380, pp. 53–62). IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer Berlin Heidelberg.

- Fitzgerald, J., Foster, S., Ingram, C., Larsen, P. G., & Woodcock, J. (2013). *Model-based engineering for systems of systems: The compass manifesto* (tech. rep. No. Manifesto Version 1.0). Comprehensive Modelling for Advanced Systems of Systems - COMPASS. Cambridge, United Kingdom.
- Gassara, A., Bouassida, I., & Jmaiel, M. (2017). A tool for modeling sos architectures using bigraphs. In *32nd Symposium on Applied Computing (SAC 2017)* (pp. 1787–1792). Marrakech, Morocco: ACM.
- Gassara, A., Rodriguez, I. B., Jmaiel, M., & Drira, K. (2017). A bigraphical multi-scale modeling methodology for system of systems. *Computers & Electrical Engineering*, 58(Supplement C), 113–125.
- Gokhale, A., Balasubramanian, K., Krishna, A. S., Balasubramanian, J., Edwards, G., Deng, G., ... Schmidt, D. C. (2008). Model driven middleware: A new paradigm for developing distributed real-time and embedded systems. *Science of Computer Programming*, 73(1), 39–58.
- Graciano Neto, V. V. (2016). Validating emergent behaviors in systems-of-systems through model transformations. In *ACM Student Research Competition at MODELS* (pp. 1–6). Saint Malo, France: CEUR.
- Graciano Neto, V. V. (2018). *A simulation-driven model-based approach for designing software-intensive systems-of-systems architectures* (Doctoral dissertation, University of São Paulo). doi:10.11606/T.55.2018.tde-06072018-110150
- Graciano Neto, V. V., Cavalcante, E., Hachem, J. E., & Santos, D. S. (2017). On the interplay of business process modeling and missions in systems-of-information systems. In *IEEE/ACM Joint 5th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 11th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems (JSOS 2017)* (pp. 72–73). Buenos Aires, Argentina: IEEE.
- Graciano Neto, V. V., Garcés, L., Guessi, M., Paes, C., Manzano, W., Oquendo, F., & Nakagawa, E. Y. (2018). ASAS: An approach to support simulation of smart systems. In *51st Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2018)* (pp. 5777–5786). Big Island, Hawaii, USA: IEEE.
- Graciano Neto, V. V., Horita, F. E. A., Cavalcante, E., Rohling, A. J., Hachem, J. E., Santos, D. S., & Nakagawa, E. Y. (2018). A study on goals specification for systems-of-information systems: Design principles and a conceptual model. In *14th Brazilian Symposium on Information Systems (SBSI 2018)* (pp. 1–8). Caxias do Sul, Brazil. doi:10.1145/3229345.3229369
- Graciano Neto, V. V., Manzano, W., Rohling, A., Volpato, T., & Nakagawa, E. Y. (2018). Externalizing patterns for simulation in software engineering of systems-of-systems. In *ACM/SIGAPP Symposium On Applied Computing (SAC 2018)* (pp. 1–8). Pau, France: ACM.
- Graciano Neto, V. V., Oquendo, F., & Nakagawa, E. Y. (2017). Smart systems-of-information systems: Foundations and an assessment model for research development. In R. Araujo, R. Maciel, & C. Boscarioli (Eds.), *Grand Challenges in Information Systems for the next 10 years* (pp. 1–12). Porto Alegre, Brazil: SBC.
- Graciano Neto, V. V., Paes, C. E., Garcés, L., Guessi, M., Oquendo, F., & Nakagawa, E. Y. (2017). Stimuli-SoS: A model-based approach to derive stimuli generators in sim-

- ulations of software architectures of systems-of-systems. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 23(1), 13:1–13:22.
- Griendling, K. & Mavris, D. N. (2011). Development of a dodaf-based executable architecting approach to analyze system-of-systems alternatives. In *32nd Aerospace Conference (AeroConf 2011)* (pp. 1–15). Big Sky, USA: IEEE.
- Guessi, M., Cavalcante, E., & Oliveira, L. B. R. (2015). Characterizing Architecture Description Languages for Software-Intensive Systems-of-Systems. In *3rd International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems (SESoS) at the 37th International Conference on Software Engineering (ICSE)* (pp. 12–18). Florence, Italy.
- Guessi, M., Graciano Neto, V. V., Bianchi, T., Felizardo, K. R., Oquendo, F., & Nakagawa, E. Y. (2015). A systematic literature review on the description of software architectures for systems of systems. In *30th Symposium on Applied Computing (SAC 2015)* (pp. 1433–1440). Salamanca, Spain: ACM.
- Guessi, M., Oquendo, F., & Nakagawa, E. Y. (2016). Checking the architectural feasibility of systems-of-systems using formal descriptions. In *11th System of Systems Engineering Conference (SoSE 2016)* (pp. 1–6). Kongsberg, Norway: IEEE.
- Hause, M. (2010a). Model-based system of systems engineering with updm. In *20th Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering (INCOSE 2010)* (Vol. 1, pp. 580–594). Chicago, Illinois, USA: INCOSE.
- Hause, M. (2010b). The unified profile for DoDAF/MODAF (UPDM) enabling systems of systems on many levels. In *4th IEEE International Systems Conference (Syscon 2010)* (pp. 426–431). Xiamen, China: IEEE.
- INPE. (2019). Sistema Integrado de Dados Ambientais. <http://sinda.crn.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/index.php>. Accessed: January 2019. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Iqbal, M. Z., Arcuri, A., & Briand, L. (2015). Environment modeling and simulation for automated testing of soft real-time embedded software. *Software & Systems Modeling*, 14(1), 483–524. doi:10.1007/s10270-013-0328-6
- ISO/IEC/IEEE 42010. (2011). *International Standard for Systems and Software Engineering – Architectural description*.
- Issarny, V. & Bennaceur, A. (2013). Composing distributed systems: Overcoming the interoperability challenge. In E. Giachino, R. Hähnle, F. S. de Boer, & M. M. Bonsangue (Eds.), *11th International Symposium on Formal Methods for Components and Objects* (Vol. LNCS 7866, pp. 168–196). Bertinoro, Italy: Springer Berlin Heidelberg.
- Klein, J. & van Vliet, H. (2013). A systematic review of system-of-systems architecture research. In *9th international acm sigsoft conference on quality of software architectures (qosa 2013)* (pp. 13–22). Vancouver, Canada: ACM.
- Kruchten, P. (1995). Architectural Blueprints - The 4+1 View Model of Software Architecture. *IEEE Software*, 12(6), 42–50.
- Kruchten, P. (2009). Documentation of Software Architecture from a Knowledge Management Perspective – Design Representation. In M. A. Babar, T. Dingsøyr, P. Lago, & H. van Vliet (Eds.), *Software architecture knowledge management theory and practice* (pp. 39–57). Springer.

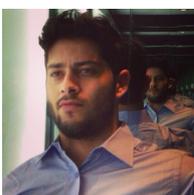
- Lago, P., Malavolta, I., Muccini, H., Pelliccione, P., & Tang, A. (2015). The road ahead for architectural languages. *IEEE Software*, 32(1), 98–105.
- Laudon, K. C. & Laudon, J. P. (2015). *Management information systems: Managing the digital firm* (14th). Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson/Prentice Hall.
- Maier, M. W. (1998). Architecting principles for systems-of-systems. *Systems Engineering*, 1(4), 267–284.
- Majd, S., Marie-Hélène, A., & Alok, M. (2015). An architectural model for system of information systems. In I. Ciuciu et al. (Eds.), *OTM 2015 Workshops* (Vol. LNCS 9416, pp. 411–420). Rhodes, Greece: Springer.
- Manzano, W., Graciano Neto, V. V., & Nakagawa, E. Y. (2019). Dynamic-SoS: An approach for the simulation of system-of-systems dynamic architectures. *The Computer Journal*, 1–23. (in press).
- Medvidovic, N. & Taylor, R. N. (2000). A classification and comparison framework for software architecture description languages. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 26(1), 70–93.
- Mens, T., Magee, J., & Rumpe, B. (2010). Evolving Software Architecture Descriptions of Critical Systems. *Computer*, 43, 42–48.
- Mittal, S. & Risco Martin, J. (2013). Model-driven systems engineering for netcentric system of systems with DEVS unified process. In *45th Winter simulation Conference (WSC 2013)* (pp. 1140–1151). Washington DC, USA: Society for Modeling and Simulation International.
- Nielsen, C. B., Larsen, P. G., Fitzgerald, J., Woodcock, J., & Peleska, J. (2015). Systems of Systems Engineering: Basic Concepts, Model-Based Techniques, and Research Directions. *ACM Computing Surveys*, 48(2), 18:1–18:41.
- Oquendo, F. (2016a). π -Calculus for SoS: A Foundation for Formally Describing Software-intensive Systems-of-Systems. In *11th IEEE System of Systems Engineering Conference (SoSE 2016)* (pp. 1–6). Kongsberg, Norway: IEEE.
- Oquendo, F. (2016b). Formally Describing the Software Architecture of Systems-of-Systems with SosADL. In *11th IEEE system of systems engineering (SoSE 2016)* (pp. 1–6). Kongsberg, Norway: IEEE.
- Oquendo, F. (2016c). Software architecture challenges and emerging research in software-intensive systems-of-systems. In *10th European conference on software architecture (ECSA 2016)* (pp. 3–21). Copenhagen, Denmark: Springer.
- Paes, C. E. B., Graciano Neto, V. V., Moreira, T., & Nakagawa, E. Y. (2019). Conceptualization of a system-of-systems in the defense domain: An experience report in the brazilian scenario. *IEEE Systems Journal*, 1–10. doi:10.1109/JSYST.2018.2876836
- Pelliccione, P., Kobetski, A., Larsson, T., Aramrattana, M., Aderum, T., S. M., . . . Thorsén, A. (2016). Architecting cars as constituents of a system of systems. In *International Colloquium on Software-intensive Systems-of-Systems at 10th European Conference on Software Architecture (SiSoS@ECSA 2016)* (pp. 1–7). Copenhagen, Denmark: ACM. doi:10.1145/3175731.3175733
- Rech, A., Pistauer, M., & Steger, C. (2018). Increasing interoperability between heterogeneous smart city applications. In *International conference on internet and distributed computing systems* (pp. 64–74). Springer.

- Saleh, M. & Abel, M.-H. (2015). Information systems: Towards a system of information systems. In *7th Conference on Knowledge Discovery, Engineering and Management (IC3K)* (pp. 193–200). Lisbon, Portugal: SciTePress.
- Santos, D. S., Oliveira, B. R. N., Duran, A., & Nakagawa, E. Y. (2015). Reporting an experience on the establishment of a quality model for systems-of-systems. In *The 27th international conference on software engineering and knowledge engineering (SEKE 2015)* (pp. 304–309). Pittsburgh, PA, USA: Knowledge Systems institution.
- Silva, E., Cavalcante, E., & Batista, T. (2017). Refining missions to architectures in software-intensive systems-of-systems. In *IEEE/ACM Joint 5th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 11th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems (JSOS 2017)* (pp. 2–8). Buenos Aires, Argentina: IEEE.
- Tomicic-Pupek, K., Dobrovic, Z., & Furjan, M. T. (2012). Strategies for information systems integration. In *34th International Conference on Information Technology Interfaces (ITI 2012)* (pp. 311–316). USA: IEEE.
- Wachholder, D. & Stary, C. (2015). Enabling emergent behavior in systems-of-systems through bigraph-based modeling. In *10th International Conference on Systems of Systems Engineering (SoSE 2015)* (pp. 334–339). San Antonio, TX, USA: IEEE.
- Wiederhold, G. (1992). Mediators in the architecture of future information systems. *Computer*, 25(3), 38–49.
- Woodcock, J., Cavalcanti, A., Fitzgerald, J., Larsen, P., Miyazawa, A., & Perry, S. (2012). Features of CML: A formal modelling language for Systems of Systems. In *7th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE 2012)* (pp. 1–6). Genova, Italy.
- Yamaguti, W., Orlando, V., & Pereira, S. (2009). Sistema brasileiro de coleta de dados ambientais: Status e planos futuros. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 14, 1633–1640.
- Zeigler, B. P., Kim, T. G., & Praehofer, H. (2000). *Theory of modeling and simulation* (2nd). Orlando, FL, USA: Academic Press, Inc.

Authors Biography



Milena Guessi is a post-doctoral research fellow at the University of São Paulo (ICMC-USP), São Carlos, Brazil. She obtained her B.Sc. in Computer Science and her M.Sc. in Software Engineering from USP. She received her Ph.D. degree in Computer Science from USP and the University of South Brittany (UBS), France, in 2017. Her main research interests include software architectures, architecture descriptions, and systems-of-systems (SoS). She has organized local and international events and has served as a program committee member of conferences and as a referee of journals. She is a member of ACM and SBC.



Valdemar Vicente Graciano Neto is an assistant professor with the Informatics Institute at the Federal University of Goiás, Goiânia, Brazil. He received his Ph.D. degree in computer science and computational mathematics from the Institute of Mathematical Sciences and

Computation, University of São Paulo (USP), Brazil and the Docteur de-
gree in sciences and information technology from Université Bretagne-
Sud (UBS), Lorient, France, in 2018. He is also the President of the
Special Committee on Information Systems of the Brazilian Computer Society (SBC)
in the 2018–2019 period. Dr. Graciano Neto is a member of the SBC, the Society for
Modeling and Simulation International (SCS) and of ACM.



Elisa Yumi Nakagawa is an associate professor in the Depart-
ment of Computer Systems at the University of São Paulo - USP, Brazil.
She conducted her post-doctoral research at Fraunhofer IESE, Germany,
in 2011–2012 and at the University of South Brittany, France, in 2014-
2015. She received her Ph.D. degree from USP in 2006. She coordinates
international/national research projects in software architecture, refer-
ence architectures, and systems-f-systems, and also supervises PhD/-
Master’s students and post-doctoral researchers. She has organized in-
ternational/national conferences and has served as a program committee member at many
conferences and as a reviewer of various journals. She is a member of IEEE and SBC.

Capítulo

3

Metodologia de Pesquisa - Estudo de Caso Interpretativo em Sistemas de Informação

Nadja Piedade de Antonio, Marcelo Fornazin, Renata Mendes de Araujo e Rodrigo Pereira dos Santos

Abstract

The objective of this chapter is to instruct researchers, students and professionals on how to perform research using Interpretative Case Study Methodology to analyze Information Systems (IS) in their practical contexts of production and use. The chapter will address the differences between interpretive and positivist research, as well as positioning Interpretative Case Studies (ICS) in relation to other research methods. In addition, we will discuss the quality criteria to perform an ICS in IS. We will also present techniques for conducting ICS, and how they can be used to produce knowledge about IS in practical contexts.

Resumo

O objetivo deste capítulo é capacitar pesquisadores, alunos e profissionais a realizarem pesquisas utilizando a Metodologia de Estudo de Caso Interpretativo para a análise de Sistemas de Informação (SI) em seus contextos de produção e uso. Este minicurso irá abordar as diferenças entre os paradigmas de pesquisas positivistas e interpretativos, bem como posicionar o Estudo de Caso Interpretativo (ECI) em relação a outras metodologias de pesquisa. Além disso, serão discutidos os critérios de qualidade para se realizar um ECI em SI. Também serão apresentadas técnicas para condução de ECI e como elas podem ser empregadas para produzir conhecimento sobre SI em contextos práticos.

3.1. Introdução

Cada vez mais percebe-se a complexidade¹ em se desenvolver e gerir Sistemas de Informação (SI), com as nuances e particularidades inerentes ao contexto, bem como aos autores envolvidos na produção e uso desses sistemas. Isto converge com o tema central do XV Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI 2019), e nos ajuda a discutir, problematizar e pensar os SI modernos.

Experiências anteriores demonstram a condição e a importância de que os estudos de SI devem se dar de forma interdisciplinar, envolvendo conhecimentos sobre tecnologias, pessoas e organizações [Hirschheim e Klein, 2011; Recker, 2013; Laudon e Laudon, 2014; Boscarioli et al., 2017]. Sendo assim, como profissionais e pesquisadores de SI, trazemos aqui algumas provocações iniciais, tanto sobre pesquisa como práticas: Será um SI apenas um artefato tecnológico? Como pensamos o contexto de uso dos SI? Como consideramos os conhecimentos organizacionais e sociais ao pensarmos os SI? Somos executores de demandas de desenvolvimento ou procuramos entender a complexidade existente nos SI?²

Porém, no âmbito nacional, nos encontramos ainda distantes da interdisciplinaridade nos estudos de SI. Araujo et al. (2017) observaram que, em meio aos artigos publicados na Revista Brasileira de Sistemas de Informação (iSys)³, há um desafio em reconhecer o potencial científico decorrente de uma abertura a outras formas de pensamento que compreendam a complexidade do mundo real, essencial para o estudo dos SI. Assim, entendemos ser fundamental a elaboração de pesquisas a partir de paradigmas que considerem o contexto de uso dos SI, tais como o interpretativo [Walsham, 1993], o sociomaterial [Orlikowski e Scott, 2008] e o projetivo (*Design Science Research*) [Pimentel et al., 2017].

Os paradigmas acima citados permitem lançar mão de outras metodologias de pesquisa, como estudo de caso, etnografia e pesquisa-ação. Tais metodologias científicas permitem compreender o SI em seu contexto de produção e uso, sem transportá-lo para o espaço controlado dos laboratórios e simuladores, revelando assim a complexidade interdisciplinar do SI.

Apesar das pesquisas interpretativas serem pouco difundidas e debatidas na comunidade científica nacional, no âmbito internacional já existem pesquisadores que há muito defendem a importância desta abordagem. De acordo com Walsham (1995), o paradigma interpretativo pode ajudar os pesquisadores de SI a entenderem o pensamento humano e a ação em contextos sociais e organizacionais. Além disso, tem o

¹ Cabe notar que, neste capítulo, estamos utilizando o vocábulo complexidade sem referência ao pensamento complexo, como, por exemplo, proposto por Edgar Morin. Nossa menção a este termo visa chamar a atenção para elementos sociais, culturais, econômicos e políticos, que são poucos considerados pelas pesquisas em SI. Para superar isso, faz-se necessário encarar um cenário mais complexo, heterogêneo e incerto que o observado no enquadramento das pesquisas formais e quantitativas.

² A escrita na primeira pessoa do plural é uma escolha de comunicação preconizada nas pesquisas interpretativas e em outras áreas das ciências sociais. Aceitando que o pesquisador não é neutro, fazemos essa escolha como pesquisadores para nos aproximarmos dos sujeitos das pesquisas e dos leitores. Contudo, não abdicamos do rigor da pesquisa científica e, mesmo escrevendo na primeira pessoa, buscamos o distanciamento crítico necessário para refletir sobre nossas pesquisas. Para mais informações sobre escrita científica na primeira pessoa ver Pozzebon (2004) e Walsham (2006).

³ iSys é uma das principais revistas na área de SI no Brasil, gerenciada pela Comissão Especial em SI da Sociedade Brasileira de Computação. Detalhes em <http://www.seer.unirio.br/index.php/isys>.

potencial de produzir descobertas profundas sobre os fenômenos dos SI nas esferas do gerenciamento e desenvolvimento destes. Ou seja, é importante problematizar o contexto social dos SI pois, caso contrário, conforme nos alertam Orlikowski e Iacono (2001), permaneceremos observadores passivos das transformações técnico-sociais que ocorrem ao nosso redor.

Para além da pesquisa científica, principalmente em processos de inovação tecnológica, são cada vez mais relevante abordagens alternativas para se compreender a complexidade dos SI em seus contextos de uso. Araujo e Chueri (2017) argumentam que, quando consideramos o processo de inovação, é necessário observar contextos organizacionais, sociais ou de mercado para identificação de problemas e oportunidades, ao mesmo tempo que é exigida a análise do impacto do produto inovador em uso.

Em áreas como a Sociologia e Administração, muitas vezes se utilizam os estudos de casos para compreender o contexto de interesse da pesquisa, deixando a problematização da tecnologia para um segundo plano, tratando os artefatos tecnológicos como caixas pretas ou ferramentas prontas. Já na Computação, os estudos de caso são utilizados nas áreas: Interação Humano-Computador (IHC), Sistemas Colaborativos e Engenharia de Software Experimental. Está última vem advogando sobre a importância de métodos qualitativos [Runeson et al., 2012; Wohlin et al., 2012]. Contudo, os estudos de caso são empregados majoritariamente para se obter acesso ao ambiente de uso de um software em maior profundidade do que experimentos ou levantamentos poderiam prover, sem necessariamente problematizar o contexto organizacional em que o SI está imerso.

Entretanto, estudos de caso na área de SI se diferenciam dessas duas formas, pois se dedicam a estudar a relação entre o SI e seu contexto de uso, problematizando ambos. Nesse ponto, nos baseamos na definição de Orlikowski e Iacono (2001), na qual o SI é visto em conjunto com o seu contexto, por meio de interações dinâmicas entre pessoas e tecnologias, em que os SI moldam práticas organizacionais, ao mesmo tempo que são moldados por elas, por exemplo: comunidades de software livre, comércio eletrônico, redes sociais e novas formas de trabalho e de participação política. Além disso, questões emergiram, tais como desafios de propriedade intelectual e privacidade. É justamente nesse ponto da relação entre os SI e seus contextos de uso que os pesquisadores de SI podem explorar ao limite suas habilidades de problematizar ambos (tecnologia e contexto).

Neste capítulo, buscamos estudar a questão sobre como pesquisar SI em seus contextos a partir da metodologia de pesquisa Estudo de Caso Interpretativo (ECI). Os ECI, partindo de uma visão social e subjetiva dos SI, consideram o contexto e a complexidade nos quais ele está inserido. Ao longo deste capítulo apresentaremos a metodologia citada em seus detalhes conceituais e práticos como forma de sistematizar as técnicas para estudar casos de SI. Assim, objetivamos fomentar o uso de ECI em pesquisas e em atividades profissionais na área de SI.

O capítulo está organizado da seguinte forma: além desta Introdução, na Seção 3.2 discutiremos dois principais paradigmas de pesquisa na área de SI, quais sejam, o positivista e o interpretativo. Na Seção 3.3 apresentaremos o método de ECI, evidenciando suas diferenças em relação a outras formas de estudo de caso. Além disso, mostraremos exemplos de ECI de Alvarez (2008), Avgerou et al. (2009) e Chua e

Myers (2017) como forma de ilustrar essa abordagem de pesquisa. Na Seção 3.4, discutiremos princípios de qualidade que os ECI devem assegurar e, na Seção 3.5, traremos sugestões para condução, análise e relatórios de ECI. Na Seção 3.6, encerraremos o capítulo com nossas considerações finais.

3.2. Paradigmas de Pesquisa em SI

A comunidade de pesquisa em SI que emerge da área de pesquisa da Computação, estabelece, de forma natural, suas práticas de pesquisa a partir do pensamento majoritário praticado nas ciências exatas. Essa forma de pesquisa é calcada em medições objetivas realizadas por meio de escalas numéricas e técnicas estatísticas, bem como no estabelecimento de relações causais descritas por meio de modelos e equações. Ademais, a pesquisa geralmente é realizada em atividades de laboratório, tais como experimentos e simulações, conforme explicado por Wazlawick (2009).

Contudo, a área de SI é interdisciplinar; pois além da Computação, também envolve conhecimentos sobre pessoas e organizações. Assim, pesquisas inspiradas em teorias e métodos das ciências sociais também passaram a endereçar temas de SI. Exemplos de teorias sociais que explicam a produção, uso e implicações SI são a Teoria Institucional [Avgerou, 2000], a Teoria da Estruturação [Orlikowski e Robey, 1991] e a Teoria Ator-Rede [Latour, 2012; Sahay e Walsham, 2006]. Na Subseção 3.3.1, apresentamos de modo mais detalhado alguns exemplos de pesquisas desta mesma natureza.

Parte das pesquisas em SI, portanto, não se baseia na objetividade das ciências exatas, mas em abordagens subjetivas que buscam compreender como os artefatos tecnológicos são concebidos na consciência das pessoas e grupos sociais. Neste capítulo, para fins didáticos, apresentaremos dois paradigmas de pesquisa⁴, quais sejam, o **paradigma positivista** e o **paradigma interpretativo**. Não é adequado estabelecer uma relação direta de equivalência entre os dois paradigmas, mas podemos identificar suas diferenças. Ou seja, não há um paradigma melhor que outro, mas questões e métodos mais adequados a pesquisas conduzidas sob um ou outro paradigma. Assim, nos próximos parágrafos, introduziremos brevemente os dois paradigmas, suas raízes filosóficas e exemplos de pesquisas neles inspiradas. Além disso, faremos uma discussão entre eles, levando em conta a ontologia e a epistemologia de cada paradigma. Ao final da seção apresentamos alguns exemplos de métodos de pesquisa e explicamos como eles se filiam a um ou outro paradigma⁵.

O **paradigma positivista**, pressupõe que o conhecimento científico reside na objetividade, baseado em medições e modelos matemáticos, orientado pelos princípios

⁴ A noção de paradigma de pesquisa aqui apresentada baseia-se em Kuhn (1975), para o qual paradigmas são as “realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência” (p.13).

⁵ Na área de SI, desde a década de 1980 se discutem os paradigmas de pesquisa [Markus e Robey, 1988; Hirschheim e Klein, 1989]. O paradigma positivista, nos anos 1980, guiou quase de 97% das pesquisas em SI [Orlikowski e Baroudi, 1991] e, nos anos 1990 e 2000, continuou majoritário com 85% dos trabalhos publicados nos principais periódicos internacionais [Palvia et al., 2017]. O paradigma interpretativo, ainda que minoritário, se estabeleceu como uma forma consistente de se fazer pesquisa em SI e hoje inspira em torno de 10% das pesquisas no cenário internacional [Palvia et al., 2017]. Há outros paradigmas de pesquisa na área SI, como, por exemplo, o crítico, o projetivo e o sociomaterial. Contudo, optamos por focar nossa discussão entre o paradigma positivista e o paradigma interpretativo.

da racionalidade formal ou instrumental que reduz o universo dos observáveis ao quantificável. Esse paradigma preconiza uma apreensão da realidade na forma de modelos operacionalizados por meio do racionalismo cartesiano, que busca dividir e classificar um problema para depois determinar regularidades, padrões e relações causais entre construtos teóricos. Por exemplo, criam-se leis da natureza da economia, visando explicar os fenômenos e prever seus comportamentos [Araujo et al., 2017]. Questões do tipo “o quanto um algoritmo A é mais eficiente que um algoritmo B?” são melhor respondidas por meio de procedimentos formais e experimentais os quais se vinculam ao paradigma positivista.

Um exemplo de estudo baseado no paradigma positivista é o Modelo de Aceitação de Tecnologia, em inglês *Technology Acceptance Model - TAM* [Davis, 1989]. O artigo seminal do TAM colocou como objetivo de pesquisa: “perseguir melhores medidas para prever e explicar o uso de sistemas de informação” [Davis, 1989, tradução nossa]. Nota-se aqui que o estudo almejou medir o uso de SI, i.e., um procedimento objetivo. Para tanto, Davis elaborou e validou uma escala de medição baseada em fatores objetivos, quais sejam: a facilidade de uso e a utilidade percebidas do SI. O modelo TAM foi posteriormente replicado em milhares de estudos que buscaram medir o uso de sistemas.

O paradigma positivista se tornou hegemônico na ciência e na sociedade. Muitas descobertas científicas importantes, tais como os achados que se tornaram vacinas, computadores, aviões etc., foram feitas a partir de pesquisas inspiradas pelo paradigma positivista. Contudo, nem sempre é possível reproduzir em laboratório a realidade de organizações, grupos sociais e situações de produção e uso de SI. Assim, para lidar com fenômenos instáveis e não facilmente delimitados, emergiram pensamentos alternativos, como a pesquisa interpretativa.

O **paradigma interpretativo**⁶ tem como premissa fundamental que “nosso conhecimento da realidade, incluindo o domínio da ação humana, é uma construção social de atores humanos” [Walsham, 2006]. Conforme Orlikowski e Baroudi (1991) explicam, a ontologia do paradigma interpretativo em SI “assume que o mundo social (i.e., relações sociais, organizações, divisão de trabalho) não são ‘dadas’ [pela natureza]. Ao contrário, o mundo social é produzido e reforçado pelos humanos por meio de suas ações e interações” (grifos nossos).

O paradigma interpretativo é praticado por pesquisadores e intelectuais desde o século XIX, como, por exemplo, a fenomenologia de Edmund Husserl e sociologia Weberiana [Burrell e Morgan, 1979]. Na segunda metade do século XX, cada vez mais disciplinas acadêmicas que estudam questões sociais - entre elas, a Sociologia, a Psicologia e a Administração - passaram a se debruçar sobre o paradigma interpretativo para teorizar sobre seus fenômenos de estudo. Esse também foi o caso da área de SI que, a partir dos anos 1980, passou a debater pesquisas inspiradas pelo paradigma interpretativo.

Desse modo, “teorias em relação à realidade são meios de produzir senso do mundo, e entendimentos compartilhados são uma forma intersubjetiva ao invés de

⁶ Para conhecer mais a fundo os pressupostos ontológicos e epistemológicos do paradigma interpretativo, consultar: Markus e Robey (1988), Hirschheim e Klein (1989), Orlikowski e Baroudi (1991), Walsham (1993).

objetividade” [Walsham, 2006]. No paradigma interpretativo, portanto, os SI são compreendidos de maneira subjetiva a partir das relações entre as pessoas e, assim, não são um objeto estritamente técnico, mas um fenômeno social a ser interpretado.

Nos estudos realizados sob o paradigma interpretativo, não se busca uma análise objetiva do fato científico, mas uma interpretação narrativa. Desse modo, não pressupõe um ambiente estável e bem delimitado para obtenção de medidas objetivas, mas é permitido ao pesquisador compreender um fenômeno em seu contexto social. A visão interpretativa concebe que o conhecimento emerge em meio às interações sociais. Questões do tipo “como um sistema evolui e envolve atores ao longo do tempo”, diferentes das formuladas sob o paradigma positivista, podem ser melhor estudadas por meio de métodos históricos e observacionais que apresentam uma narrativa e se aproximam do paradigma interpretativo.

Assim, as pesquisas conduzidas sob o paradigma interpretativo são estudos de campo que investigam as pessoas em seus contextos sociais. Contudo, seguindo o pressuposto de que a realidade é socialmente construída, evitam impor a um fenômeno categorias previamente definidas na literatura científica [Orlikowski e Baroudi, 1991]. Isso quer dizer que a pesquisa interpretativa evita enquadrar o SI a um modelo teórico prévio e propõe um diálogo entre teoria e campo, por meio do qual emergem as reflexões e teorizações [Klein e Myers, 1999].

Um exemplo de pesquisa inspirada no paradigma interpretativo é o estudo de Markus (1983) sobre a resistência a Sistemas de Informação. A autora, após revisar a literatura, discute três correntes de análise da resistência aos SI. Uma primeira corrente de pensamento entende que os SI sofrem resistência devido às suas características técnicas, ou seja, problemas nas especificações técnicas de um SI levam a questionamentos e comportamentos de resistência. Outra corrente identifica que a resistência está atrelada a determinados tipos de usuários. Isto é, alguns usuários teriam maior tendência a demonstrar resistência no uso de SI. Essas duas correntes, segundo Markus (1983), se baseiam em visões objetivas dos SI ou de seus usuários, de modo que seria possível identificar características objetivas e mensuráveis e, eventualmente, formular recomendações para se corrigir os SI ou mudar os usuários.

Contudo, Markus (1983) interroga que isto dificilmente acontece na prática, pois os mesmos SI são usados de forma diferente em contextos diferentes. Markus (1983) observou a emergência da resistência em situações práticas, acompanhando o dia-a-dia de organizações e conversando com os usuários para compreender as diferentes visões (interpretações) que eles fazem do SI. Ela então propôs uma terceira corrente de análise da resistência, chamada interacional. Na abordagem interacional, a resistência acontece durante a interação do SI com o contexto uso, mais precisamente a resistência pode emergir de mudanças na forma de se realizar o trabalho ou na redistribuição do poder em uma organização.

Outro exemplo é o trabalho de Chua e Myers (2017) que, ao investigarem o controle em projetos de SI, “proveram um entendimento mais sutil das forças sociais que afetam o controle nos sistemas de informação”. Esse argumento buscou responder a questão até então não resolvida: “como forças sociais e ordens negociadas afetam a forma que clientes asseguram que fornecedores desempenham os níveis de satisfação definidos”. Podemos notar que a pergunta versa sobre “como” algo acontece e resposta apresenta sutilezas e nuances de um processo que não são captadas por medidas

objetivas. Para tanto, os autores conduziram um estudo de caso sob o paradigma interpretativo e, após observações, entrevistas e análise de documentos, apresentaram uma série de influências sociais sobre a relação entre clientes e fornecedores de serviços de tecnologia. Contudo, alertaram que essas influências eram sutis e não poderiam ser observadas de maneira isolada do contexto de uso do SI.

Cada paradigma possui metodologias de pesquisa próprias. A Tabela 3.1 apresenta uma associação entre metodologias, paradigmas e características de uma pesquisa.

Tabela 3.1 - Metodologias de pesquisa e paradigmas (adaptado de Yin (2001)).

metodologia de pesquisa	paradigma de pesquisa relacionado	forma de questão de pesquisa	exige controle sobre eventos?	focaliza acontecimentos contemporâneos?
experimento	positivista	quanto, porque	sim	sim
pesquisa de opinião	positivista	quem, o que, onde, quanto	sim	sim
pesquisa-ação	positivista, interpretativo	como, porque	sim	sim
<i>design science research</i>	projetivo	como, porque	sim	sim
estudo de caso	positivista, interpretativo	como, porque	não	sim/não
etnografia	interpretativo	como, porque	não	sim/não
pesquisa histórica	interpretativo	quem, o que, onde, como	não	não

Em relação às metodologias quantitativas, o experimento e a pesquisa de opinião são dominantes nas pesquisas de SI. O experimento pressupõe a construção do artefato tecnológico no laboratório e em seguida a submissão deste a sucessivos testes, de modo a obter medidas quantitativas [Recker, 2013]. O objetivo destas medidas é demonstrar a diferenciação ou avanço tecnológico do artefato em relação aos resultados previamente demonstrados na literatura. A pesquisa de opinião se trata de obtenção dos dados ou informações de um determinado grupo de pessoas de forma sistemática, observando-se padrões nestes dados coletados [Kitchenham, 2006].

Na pesquisa-ação, o pesquisador realiza duas ações: uma de melhoria numa organização ou comunidade ao mesmo tempo em que se realiza outra de pesquisa científica naquele contexto real. Quase sempre é realizado um processo iterativo, envolvendo as etapas diagnosticar-agir-avaliar-refletir, para que a solução seja construída e refinada a cada ciclo da pesquisa [Araujo et al., 2017]. Já no *design science research*, o pesquisador além de entender o contexto do SI, busca construir um artefato (SI, processo, modelo, arquitetura, *framework*) com intuito de modificar a realidade na qual aquele SI está inserido [Pimentel et al., 2017].

O estudo de caso é realizado no contexto de uso do SI gerando conhecimento científico sobre aquele contexto específico, não sendo possível estudá-lo fora do seu contexto de uso [Yin, 2001]. A etnografia é uma metodologia para se produzir conhecimento aprofundado por meio da observação direta do pesquisador que se insere em um contexto real com o objetivo de entender os valores e as práticas de uma dada organização ou comunidade [Myers, 1999; Araujo et al., 2017]. Por fim, na pesquisa histórica, o pesquisador visa escrever uma história acerca de um tema ao longo de um período específico [Porra, Hirschheim e Parks, 2014] e faz uso de evidências e documentos para construir uma narrativa baseada em sua interpretação e visão de mundo. Na próxima seção, apresentamos o conceito de estudo de caso e de paradigmas de pesquisa.

3.3 Estudo de Caso e Paradigmas de Pesquisa

Algumas características do estudo de caso são similares, tanto no paradigma positivista quanto no paradigma interpretativo. Contudo, há diferenças teóricas e metodológicas que não podem ser confundidas durante a realização de estudo de caso de um ou outro tipo. Nesta seção, apresentamos o ECI e o comparamos com o seu análogo positivista⁷. Para tanto, iniciamos definindo estudo de caso e, em seguida, discutimos as diferenças entre os Estudos de Caso Positivistas (ECP) e os ECI sob quatro dimensões: premissas ontológicas e epistemológicas; a função do estudo de caso em meio a outros métodos; a relação do pesquisador com o campo e os sujeitos de pesquisa, e os critérios de rigor e qualidade do estudo de caso em cada paradigma. Ao final da seção, discutimos a diferença entre o método científico estudo de caso, casos de ensino e casos ilustrativos.

De um modo geral, os estudo de caso são adequados para pesquisas que buscam responder perguntas do tipo “COMO” e “POR QUÊ?”, as quais não podem ser respondidas apenas por medidas quantitativas, mas necessitam de uma explicação contextual, por exemplo, que descreva o SI em sua trajetória cronológica e dinâmica social. Yin (2001) define estudo de caso como um método de pesquisa adequado para situações em que é difícil se estabelecer um delineamento claro entre o fenômeno estudado e seu contexto, de modo que não é possível investigar o fenômeno fora de seu ambiente prático. Por exemplo, Kling e Scacchi (1982) criaram os “*web models*” que examinam como o uso dos SI dependem de um determinado contexto social. Este contexto social é definido pelas relações sociais que são formadas pelos participantes neste SI, pela infraestrutura (hardware) e pelo histórico da organização na qual o SI está inserido.

A principal diferença entre os ECP frente aos ECI é que, no paradigma positivista, os estudos de caso são realizados em consonância com uma visão racionalista e objetiva do mundo [Araujo et al., 2017]. Assim, buscam produzir relatos objetivos dos SI a partir dos casos, apresentando variáveis e modelos causais, os quais possam ser posteriormente testados por métodos quantitativos. Ou seja, sob o paradigma positivista, os estudos de caso buscam estabelecer relações causais entre construtos teóricos e testar hipóteses e partir de análises detalhadas de casos empíricos. Desse

⁷ Não é objetivo deste capítulo apresentar os estudos de caso positivistas, mas faremos referência aos seus pressupostos e técnicas como forma de explicar as diferenças para os Estudos de Caso Interpretativos. Um manual do Estudo de Caso Positivista pode ser acessado em trabalho prévio de Antonio et al. (2018). Mais informações sobre os Estudos de Caso Positivistas podem ser encontradas em Benbasat et al., (1987)/, Yin (2001) e Dubé e Paré (2003).

modo, embora qualitativos, os ECP buscam se aproximar dos pressupostos das pesquisas quantitativas.

Por sua vez, um ECI, conforme explicado por Klein e Myers (1999), assume que o nosso conhecimento da realidade é obtido apenas por meio de construções sociais como linguagem, consciência e significados compartilhados. Desse modo, um ECI não define variáveis que possam ser medidas de modo objetivo, nem estabelece relações de causa e efeito, mas focaliza a complexidade da tomada de sentido humano à medida que a situação emerge e tenta entender os fenômenos através dos significados que as pessoas atribuem a eles. Nos ECI, múltiplas interpretações podem coexistir sobre o mesmo caso. As visões distintas de cada ator envolvido no estudo de caso irão variar de acordo com a vivência, experiência e momento [Klein e Myers, 1999].

Por meio dos ECI, observa-se o contexto de uso de um SI, considerando tecnologia, pessoas e organizações. Pozzebon e Freitas (1998) trazem a necessidade de investigar o relacionamento entre os SI por meio de aspectos humanos (cognitivos, psicológicos, sociais, culturais) e técnicos (ergonomia, projeto), sendo que estes devem ser levados em conta de forma integrada.

O objetivo dos ECI, portanto, não é identificar relações causais, mas descrever condições que porventura estejam relacionadas a um fenômeno que emerge das interações sociais. Tais condições estão associadas ao fenômeno, mas dada a sua complexidade, não são suficientes para atribuir uma relação direta de causa e efeito [Markus e Robey, 1988]. Para exemplificar, Chua e Myers (2017) buscaram refinar a compreensão sobre o controle em contratos de fornecimento serviços e TI, sem, no entanto, simplificar a sua análise a fatores objetivos para medição do controle. O paradigma interpretativo em SI, portanto, é "destinado a produzir uma compreensão do contexto do SI, e o processo pelo qual o SI influencia e é influenciado pelo contexto" [Walsham, 1993].

Os ECP são particularmente apropriados para certos tipos de problemas: aqueles em que a pesquisa e a teoria estão em seus estágios iniciais de formação e onde serão estudados problemas que são baseados na prática, onde as experiências dos atores são importantes e o contexto de ação é crítico [Benbasat et al., 1987].

Já no paradigma interpretativo, os ECI são um meio de se acumular conhecimento e reflexão sobre o mundo. Ou seja, não se busca apenas usar os estudos de caso para explorar o mundo e gerar teorias que possam ser posteriormente testadas por meio de métodos quantitativos. Conforme Walsham (1995) esclarece, os ECI podem gerar explicações que sejam válidas no futuro para outros contextos. Assim, no paradigma interpretativo, o conhecimento não é descrito por meio de modelos e equações, mas por casos que relatam aspectos do mundo socialmente construído e permitem compreender ideias, concepções, implicações e reflexões sobre os SI em seus contextos práticos.

Os estudos de caso em ambos os paradigmas requerem que o pesquisador esteja inserido no contexto do SI a fim de conseguir observar o fenômeno de investigação de forma detalhada. Contudo, no ECP, o pesquisador precisa buscar a neutralidade sob o risco de ameaçar a validade da pesquisa. Para tanto, é necessário se ater à teoria, seguir um protocolo de pesquisa bem definido previamente e produzir um relato objetivo a partir da triangulação de múltiplas fontes de evidência [Yin, 2001].

No ECI, entretanto, assume-se que é impossível o pesquisador ser neutro diante de interações com outras pessoas. Ainda assim, o pesquisador pode buscar um distanciamento crítico, ouvindo diferentes pontos de vista sobre o caso e refletindo sobre os achados do campo e a teoria estabelecida [Walsham, 2006]. Para tanto, o pesquisador pode construir o conhecimento de maneira dialógica [Klein e Myers, 1999]. Em outras palavras, o pesquisador deve realizar diversas visitas de campo e consultas à literatura e, assim, promover um diálogo entre a teoria e o campo de pesquisa. Desta forma, irá abarcar visões distintas sobre o caso e obterá múltiplas interpretações do seu ECI [Klein e Myers, 1999]. O princípio da suspeição requer sensibilidade do pesquisador a fim de identificar possíveis "vieses" e "distorções" sistemáticas nas narrativas coletadas dos participantes [Klein e Myers, 1999]. As diferenças entre os ECP e os ECI também aparecem nos critérios de aferição de qualidade de uma pesquisa. Os ECP são validados por critérios mais objetivos, por exemplo, validade interna, validade do construto, validade externa e confiabilidade [Yin, 2001]. Tais critérios são muito próximos dos critérios usados em experimentos e pesquisa de opinião e visam conferir um caráter de objetividade ao ECP.

Nos ECI, por outro lado, são adotados critérios voltados uma validação subjetiva do caso, por exemplo, contextualização, autenticidade, plausibilidade, múltiplas interpretações e transferibilidade. Tais critérios serão apresentados em detalhes na Seção 3.4 deste capítulo. Cabe aqui afirmar que, de um modo geral, os critérios de validação do ECI se baseiam em um processo subjetivo, no qual o leitor, ao tomar contato com o caso relatado, julga se ele é válido para o seu contexto de leitura.

Além disso, em nossas atividades de pesquisa, docência e prática profissional, nos deparamos com casos. Por exemplo, nas atividades de ensino, utilizamos casos de ensino, ao passo que empresas apresentam seus produtos por meio de casos de sucesso. Contudo, o método de estudo de caso se diferencia destes por alguns elementos.

Os **casos de ensino** são utilizados como recurso didático para exemplificar situações práticas em que uma determinada técnica, método ou tecnologia foi aplicada por uma organização. Assim, por meio dos casos de ensino, os estudantes podem compreender como um conceito abstrato é aplicado em um contexto prático. Nesse ponto, os casos de ensino se aproximam das pesquisas baseadas em estudos de caso. Contudo, os casos de ensino não possuem o objetivo de produzir novos conhecimentos ou analisar novas técnicas em seus contextos de prática. Isto é, os casos de ensino objetivam exemplificar e disseminar conhecimento prático, enquanto as pesquisas de estudo de caso têm por objetivo produzir novos conhecimentos.

O outro tipo de caso, o **caso ilustrativo**, também chamado de caso de sucesso ou caso de fracasso, é aquele utilizado por empresas para ilustrarem seus produtos e tecnologias em situações práticas. Nesse caso, as empresas relatam um caso de uma determinada tecnologia em um contexto prático de modo a evidenciar os potenciais benefícios da tecnologia e mostrar sua aplicabilidade a possíveis clientes. De maneira análoga há também os casos de fracasso, os quais relatam um fracasso de modo a se tirar lições aprendidas com uma situação que não ocorreu conforme planejada. Assim como o caso de ensino, o caso ilustrativo se aproxima das pesquisas de estudo de caso ao relatar uma situação de uso de SI em seu contexto prático. Contudo, os casos ilustrativos não passaram pelo processo de validação científica, por exemplo, revisão por pares e debates em bancas e congressos, nem necessariamente se baseiam na

literatura ou nas técnicas de coleta e análise de dados aceitas pela comunidade científica.

Os casos de ensino e casos ilustrativos possuem importantes funções didáticas, mas não podem ser considerados estudos de caso sob um olhar científico. Uma pesquisa baseada em estudo de caso, diferente de um caso ilustrativo, deve observar critérios de qualidade e rigor científico, dialogar com a literatura prévia e se submeter ao escrutínio da comunidade científica. Além disso, no estudo de caso, o pesquisador deve buscar um distanciamento crítico [Walsham, 2006] para analisar o caso sem ser capturado por ele e, assim, apresentar suas teorizações de forma independente de outros interesses.

3.3.1. Alguns exemplos de Estudos de Caso Interpretativos em SI

Nesta seção, apresentamos brevemente três exemplos de ECI em SI. Com isso, esperamos evidenciar as características desse paradigma de pesquisa. Além disso, utilizamos esses exemplos para explicar os conceitos que serão apresentados nas seções seguintes.

No trabalho “*Examining technology, structure and identity during an Enterprise System implementation*”, Alvarez (2008) realizou um estudo longitudinal sobre a implementação e uso de um SI para gestão acadêmica em uma universidade. Este estudo buscou contribuir com a literatura ao mostrar como um sistema pode ser bem recebido por algumas pessoas, enquanto é contestado por outras. A contestação gera ansiedade, tensão e incerteza no ambiente de trabalho. Assim, a autora buscou trazer novas ideias para entendimento sobre como um SI é recebido em uma organização e suas consequências para a estrutura, relações de poder e identidade.

A análise crítica do discurso foi selecionada como a perspectiva teórica usada para identificar interesses concorrentes e investimentos institucionais e como estes se manifestam por meio da linguagem falada pelos indivíduos. Quanto ao método, a pesquisadora realizou entrevistas semiestruturadas e trabalhou iterativamente ao refinar as questões após várias entrevistas iniciais. A pesquisadora estava envolvida em todas as iterações para se tornar "intimamente familiar" com os dados [Eisenhardt, 1989].

O estudo de Alvarez (2008) analisou os dados dos estágios posteriores da implementação do sistema, no momento em que os clientes estão usando o sistema nas práticas de trabalho diárias. Os representantes de agendamento (*scheduling representatives* ou *SRs*) supervisionavam o planejamento de aulas dos estudantes e informalmente orientavam os alunos durante seu percurso acadêmico.

As descobertas de Alvarez (2008) mostram que, após a chegada do SI na universidade, a identidade e o controle dos SR sobre as atividades da universidade foram desafiados, o que gerou resistência por parte dos SR. Os funcionários não foram simpáticos ou ignoraram a perda de controle e a sensação de desqualificação que experimentaram. Ato de resistência por parte dos SR produziram adaptações imprevistas da tecnologia e, de alguma forma, mitigaram uma tecnologia que muitos SR sentiam ter despojado de sua autonomia e identidade profissional.

O estudo de Alvarez (2008) forneceu contribuições sobre a transformação organizacional que não estariam disponíveis se tivéssemos simplesmente examinado um momento específico no tempo. O estudo temporal mostrou mudanças sociais complexas e um tanto imprevisíveis que ocorrem em uma organização. Este estudo também

mostrou que a TI é um fenômeno social e imaginário complexo, e contestado tanto quanto é um fenômeno técnico.

De certo modo, este estudo mostra como a tecnologia, estrutura e identidade são múltiplas constitutivas. No passado, os SI legados eram construídos para apoiar ou aprimorar as práticas existentes. Desenvolvedores de sistemas trabalharam com a equipe para identificar requisitos de informação, desenvolver especificações, codificar, testar e implementar sistemas. O SI empresarial é apresentado como uma forma de permitir (ou mesmo exigir de imediato) que uma organização altere fundamentalmente seus processos de negócios para se adequar às melhores práticas incorporadas na tecnologia, pois este tipo de SI vem pronto para organização. Portanto, segue-se que uma implementação "bem-sucedida" de um SI empresarial exigirá a mudança não apenas das estruturas existentes, mas também das identidades profissionais [Alvarez, 2008].

Já o ECI de Avgerou et al. (2009) - *“Interpreting the Trustworthiness of Government Mediated by Information and Communication Technology: Lessons from Electronic Voting in Brazil”* - foi realizado baseado no uso das tecnologias para apoiar o processo de votação eletrônica no Brasil. Assim, os autores formularam o estudo para investigar o “a crença de cidadãos de que agências governamentais são confiáveis e buscou investigar como um serviço de governo mediado por tecnologia, como o voto eletrônico, estava implicado nesta crença”. Isto é particularmente pertinente para a questão da confiança dos cidadãos no governo democrático, porque diz respeito a uma das instituições mais fundamentais da democracia e é usada por todos os cidadãos maiores de 18 anos. O estudo visava determinar o potencial de projetos de governo eletrônico patrocinados na região latino-americana para impactar os cidadãos a confiar em seus governos.

O embasamento teórico desta pesquisa foi a relação entre confiança e confiabilidade. O conceito de confiabilidade se refere às propriedades pelas quais uma entidade confiável (se outra pessoa ou uma instituição) atende aos interesses daquele que confia, enquanto a confiança reflete as crenças ou percepções do cidadão sobre a confiabilidade daquela entidade. A relação entre confiabilidade e confiança tem recebido grande atenção em estudos de confiança em democracias avançadas, onde pesquisas mostram suspeitas generalizadas do desempenho de quase todas as instituições estabelecidas, como escolas e sistemas de saúde. A confiança no governo é distinta da confiança em determinados indivíduos que ocupam posições no governo e na administração [Avgerou et al., 2009].

O estudo teve como objetivo traçar a construção do sistema de e-votações, bem como as dimensões organizacionais, sociais e políticas de seu contexto; produzir uma descrição do processo de eleições; e identificar percepções e crenças sobre a confiabilidade dos sistemas de tecnologia, o serviço de eleições eletrônicas e as eleições como uma instituição de governo democrático. A coleta de dados foi realizada por meio de entrevista aos gerentes de projetos e desenvolvedores dos SI que suportam a votação eletrônica, além de análise de documentações técnicas utilizados nas organizações responsáveis pelas eleições no Governo Federal. Buscou-se entender o contexto institucional das eleições e o processo das eleições. Por fim, entrevistou-se também eleitores para se obter opiniões e sentimentos sobre o sistema de voto eletrônico, a condução de eleições e a condução da política no Brasil [Avgerou et al., 2009]. Como conclusão, o estudo de Avgerou et al. (2009) mostrou que se encontraram evidências de

que o sistema de votação do Brasil é amplamente usado e apreciado, e que os resultados das eleições que ele produz são, com poucas exceções, aceitos como o agregado correto dos votos reais dos cidadãos individuais.

Porém, Avgerou et al. (2009) traz algumas limitações no seu estudo. Primeiramente diz que a crença na confiabilidade é um conceito cognitivo, que não consegue captar com precisão os sentimentos e a atitude comportamental dos cidadãos em relação ao governo democrático. Um estudo da confiança terá de ir além do rastreamento de percepções e crenças e investigar as ações políticas dos cidadãos. Em segundo lugar, não foram capazes de examinar se e como a crença de confiabilidade dos serviços de uma agência aumenta a crença de confiabilidade do governo democrático. Encontramos algumas indicações de cautela quanto à suposição de possibilidade de tal aumento. Simplificando, a percepção de que as eleições são confiáveis pode pesar pouco para as categorias da população pobre que não esperam que um governo democraticamente eleito melhore suas condições de vida.

Por fim, o ECI de Chua e Myers (2017) - "*Social control in information systems development: a negotiated order perspective*" - descreve um ECI sobre relação entre cliente e fornecedor de tecnologia no departamento de SI de um grande distribuidor agrícola. Os autores, ao investigarem o controle em projetos de SI: "proveram um entendimento mais sutil das forças sociais que afetam o controle nos sistemas de informação" (tradução nossa). Esse argumento buscou responder a questão até então não resolvida "como forças sociais e ordens negociadas afetam a forma que clientes asseguram que fornecedores desempenham os níveis de satisfação definidos".

De acordo com o estudo, os SI são fundamentais para as operações do cliente e incluem sistemas para planejar rotas de veículos para coleta de fazendas, testar a qualidade do produto, armazenar e gerenciar o comércio global. A subsidiária da Nova Zelândia gerencia as operações e os aplicativos em andamento do cliente, incluindo aplicativos personalizados e grandes sistemas corporativos. Neste contexto, este estudo de caso foi dividido em quatro situações sobre: tabelas de preços, processos de controle da central de ajuda, reportar uma situação de crise e termos do contrato.

O embasamento teórico teve como teorias a Teoria do Controle e a Teoria da Ordem Negociada. A Teoria do Controle se concentra em motivar os indivíduos a agirem de acordo com os objetivos organizacionais. A Teoria da Ordem Negociada ajuda a esclarecer a dinâmica do controle da SI na prática e a explicar consequências não intencionais. Ela destaca que a estrutura, a cognição compartilhada e as relações que os controladores constroem o capital social e constituem o contexto social no qual as estruturas sociais dos controles são executadas [Chua e Myers, 2017].

Este ECI baseou-se nas lentes da Teoria da Ordem Negociada para estudar o controle do caso, abrangendo o contexto, controle, controlador e negociação. Para obtenção dos dados, os autores realizaram entrevistas que foram gravadas, ou apenas tomaram notas, além de terem tido acesso a relatórios, reuniões e partes do contrato relacionadas à governança de fornecedores. Ainda obtiveram dados de várias fontes, incluindo o cliente e o fornecedor. Pararam de solicitar entrevistas depois que não estavam gerando novas descobertas, controles ou *insights*, ou seja, quando a saturação teórica era alcançada [Chua e Myers, 2017].

Alguns dos resultados e conclusões deste estudo foi que o comportamento humano não pode ser controlado muito bem aplicando a Teoria de Controle em sua

forma atual (essa teoria tem aplicabilidade limitada para o desenvolvimento e operações de SI). Os controles resultam de negociações entre controladores e controles dentro de um contexto particular. Uma contribuição da pesquisa é ver os controles como estruturas sociais ligadas ao contexto social em que são encenadas. Os controles são moldados e reapropriados dentro deste contexto. Os controles têm consequências intencionais e não intencionais, e outras forças não incluídas na teoria de controle modelam a execução de controle por parte de um controlador. Identificamos algumas das forças sociais que afetam o controlador e o controlando ao executar os controles. Essas forças ajudam a explicar por que os controles resultam diferentes dos esperados pela teoria de controle. Os controles podem atribuir os significados errados aos controles ou responder de maneiras que alteram a eficácia dos controles. A perspectiva da ordem negociada reconhece que as forças sociais operam em um contexto social que molda ambos os atores; o controlador e o controlado. Especificamente, sugere que um controlador não pode executar unilateralmente o controle. Em vez disso, o controlador e o controlando devem negociar o controle. Se nenhuma negociação explícita ocorrer, haverá uma negociação implícita (e.g. a criação de estruturas alternativas), ou alguma forma de disfunção de controle surgirá. Ver o controle como resultado de ordens negociadas entre controladores e controles contribui para a teoria do controle, sugerindo que, na prática, a negociação, a modelagem e a reapropriação são necessárias para a execução bem-sucedida do controle [Chua e Myers, 2017].

A fim de sintetizar esses três casos e reforçar as características dos ECI apresentamos a Tabela 3.2 com os elementos das pesquisas acima descritas.

Tabela 3.2 - Síntese dos exemplos de Estudos de Caso Interpretativos.

	Alvarez (2008)	Avgerou et al. (2009)	Chua e Myers (2017)
Objetivo	Aprimorar entendimento sobre como o SI é recebido em uma organização e as consequências para estrutura, relações de poder e identidade.	Investigar como um serviço de governo mediado por tecnologia estava implicado na confiança dos cidadãos em relação às instituições governamentais.	Prover entendimento mais sutil das forças sociais que afetam o controle nos SI.
Local da Pesquisa	Universidade	Brasil	Departamento de SI de uma empresa
Caso	SI para gestão acadêmica em uma universidade	Voto eletrônico no Brasil	Relação cliente-fornecedor em uma empresa
Referencial Teórico	Análise Crítica de Discurso	Teoria de confiança e confiabilidade	Teoria do Controle e da Ordem Negociada
Coleta de Dados	Entrevistas, refinamento dos dados	Entrevistas e análise de documentos	Entrevistas, reuniões e análise de relatórios
Espaço Temporal	Implantação/uso do SI (1996-1998/2002-03)	Preparação/realização eleições:2004-2006	Período do Contrato (5 anos)

Esses são apenas alguns exemplos de ECI em SI. Se desejar se aprofundar no assunto, por favor consulte as referências. Outros exemplos podem ser encontrados em periódicos e livros da área. Na Seção 3.4 utilizamos estes exemplos e os correlacionamos com os princípios de validade que devem ser considerados em um ECI. Nós nos aprofundaremos nas características do ECI na próxima seção.

3.4 Critérios de Qualidade de Estudos de Caso Interpretativos em SI

O paradigma interpretativo possui princípios e técnicas que permitem assegurar a validade de um ECI, norteando os procedimentos de coleta e análise dos dados de modo que a pesquisa tenha validade e seja reconhecida pela comunidade científica.

Explicamos os sete princípios de condução de pesquisas inspiradas pelo paradigma interpretativo elencados por Klein e Myers (1999)⁸, que se baseiam principalmente no princípio da hermenêutica. Cabe aqui ressaltar que os sete princípios não são como regras de conduta burocráticas, porque a aplicação de um ou mais deles ainda requer considerável pensamento criativo. O uso da palavra "princípios", portanto, protege contra a ideia de que seu uso é obrigatório; em vez disso, cabe aos autores, revisores e editores exercerem o seu julgamento ao decidirem se, como e quais princípios devem ser aplicados e apropriados em qualquer projeto de pesquisa. No entanto, isso não significa que se deve escolher de forma arbitrária alguns princípios e ignorando outros, pois os princípios são, pelo menos até certo ponto, interdependentes.

Além destes, abordamos também os princípios oriundos de Golden-Biddle e Locke (1993), trazidos em uma releitura estendida e abrangente por Pozzebon (2004), que tem sido usada para validar ECI. A Tabela 3.3 traz um resumo destes princípios e a fase da pesquisa em que os mesmos deverão ser observados.

Tabela 3.3. - Princípios de Validade para o Estudo de Caso Interpretativo. Adaptado de Klein and Myers (1999) e Pozzebon (2004).

Critérios de Validade	Descrição	Fase de Pesquisa
contextualização	entendimento: fundo histórico e social	projeto de pesquisa
interação - pesquisador e sujeito	reflexão crítica: como os dados são construídos - pesquisador e sujeito	coleta/análise dados
abstração, generalização e plausibilidade	interpretação dos dados através de uma teoria e verificando o sentido	coleta/análise dados
raciocínio dialógico e reflexividade	expôr preconceitos do pesquisador, confrontando com a pesquisa e fazer reflexão na escrita do texto	projeto de pesquisa e análise dados
múltiplas interpretações	diferenciar interpretações dos participantes	análise dados
suspeita e autenticidade	identificar distorções entre participantes	coleta/análise dados

⁸ Klein e Myers (1999) apresentam critérios para pesquisas interpretativas, os quais podem ser usados outros métodos além dos ECI, como, etnografia e pesquisa-ação. Para fins didáticos e dado o enfoque deste capítulo, vamos tratar desses critérios apenas nos ECI.

Quanto a exemplos reais de estudos de caso em SI para analisarmos como se aplicaram os princípios de validade, ao longo desta seção utilizamos os estudos exemplificados na Seção 3.3.

3.4.1. Contextualização

O critério da contextualização requer que o assunto seja definido em seu contexto social e histórico para que o público-alvo possa ver como a situação atual sob investigação emergiu. O espírito em que isso é feito difere de um relato positivista da história. Os pesquisadores inspirados pelo paradigma interpretativo argumentam que as organizações não são estáticas e que as relações entre pessoas, organizações e tecnologia não são fixas, mas estão em constante mudança [Klein e Myers, 1999].

Alvarez (2008) utiliza claramente este princípio quando mostra que o artigo faz parte de um estudo longitudinal da implementação de um sistema empresarial e traz na introdução o contexto do surgimento do sistema empresarial nas empresas. Alvarez (2008) nos mostra que, na última década anterior à pesquisa, as organizações passaram a implementar uma classe de software empacotado chamada sistema empresarial. A popularidade deste software era evidenciada por seu crescimento explosivo nos últimos anos anteriores. Além disso, situa sua pesquisa que contribui para investigar a relação entre sistema empresarial, estruturas organizacionais e identidade ao longo de um período de tempo.

Já o trabalho de Avgerou et al. (2009) em seu artigo sobre votação eletrônica no Brasil, possui uma seção exclusiva sobre o contexto na qual a pesquisa foi realizada. Assim, contextualiza que o contexto institucional brasileiro é uma comunidade pública e federativa. A autoridade responsável pela condução dos assuntos eleitorais é o Tribunal Superior Eleitoral (TSE) e explica todo o funcionamento do trâmite do voto eletrônico brasileiro.

Chua e Myers (2017), em seu estudo sobre controle social no desenvolvimento de sistemas, traz o contexto inicial do estudo. Foi explorado o contexto social, organizacional e interorganizacional mais amplo que circundava o controle. Isso incluiu a história de cada organização e suas histórias conjuntas e as experiências anteriores de controladores e controles.

Com estes exemplos, podemos perceber que o princípio da contextualização em um ECI é de suma importância para contextualizar o público-alvo da pesquisa e trazer entendimento amplo do contexto de atuação do SI. Cada SI é único em um determinado contexto de uso, com suas particularidades únicas, meandros, limitações e bricolagem⁹ [Orlikowski e Iacono, 2001; Ciborra, 2002]. Sem a contextualização, torna-se difícil o entendimento da pesquisa que foi realizada.

⁹ bricolagem - em latim *bricola*, que significa catapulta. O termo bricolagem significa consertar com a combinação de recursos disponíveis. Esses recursos tornam-se ferramentas e definem descobertas em como se resolver o problema. Significa alavancar o mundo com os recursos definidos pela situação. Com a bricolagem, as práticas e as situações revelam novos usos e aplicações da tecnologia e das coisas [Ciborra, 2002]. Trazendo ao contexto de SI, de acordo com cada contexto, pode haver bricolagem na construção e resolução de problemas no dia a dia dos SI.

3.4.2. Interação entre pesquisadores e sujeitos

Este critério exige que o pesquisador coloque a si mesmo e aos sujeitos em uma perspectiva histórica. Na pesquisa social, os "dados" não estão apenas esperando para serem recolhidos, como pedras à beira-mar. Em vez disso, o paradigma interpretativo afirma que os fatos são produzidos como parte e parcela da interação social dos pesquisadores com os participantes [Klein e Myers, 1999]. Para que o pesquisador tenha este entendimento, precisa ir a campo e realizar entrevistas, pois o conhecimento e as descobertas da pesquisa emergem principalmente desta interação de conhecimento que é produzida quando as entrevistas são realizadas.

Alvarez (2008) traz diversos trechos das entrevistas realizadas no estudo dos usuários do sistema empresarial. As entrevistas são fundamentais para realizarmos descobertas e descobrir o que se passa na mente do sujeito e como ele percebe o SI e todo contexto.

Segundo Yin (2001)¹⁰, as entrevistas para o estudo de caso devem ser conduzidas de forma espontânea. Walsham (1995) realiza um desenvolvimento teórico de Yin (2001) trazendo para a perspectiva do paradigma interpretativo. Nos ECI, as entrevistas se tornam fundamentais e são a principal fonte de dados, pois é a partir deste método que o pesquisador pode acessar melhor as interpretações que os participantes têm sobre as ações e eventos que possuem ou estão ocorrendo (e suas opiniões). Uma questão-chave para todos os entrevistadores é o equilíbrio que deve ser adotado por eles entre a passividade e o excesso de direção que se dá à entrevista. Se o entrevistador dirige a entrevista muito de perto e se recusa a permitir que os entrevistados expressem seus próprios pontos de vista, então os dados obtidos perderão muito da riqueza de interpretação que é a matéria-prima da pesquisa. Por outro lado, se o entrevistador for muito passivo, o entrevistado pode concluir que ele não está interessado no que está sendo dito. O importante é captar da melhor maneira as interpretações das pessoas [Walsham, 1995].

Quanto ao registro da entrevista, esse é um ponto importante a ser citado. Muitos entrevistados não ficam confortáveis com o uso de gravadores. Sendo assim, devemos buscar fazer notas, verificando termos chaves e importantes que foram utilizados pelo entrevistado, que podem traduzir alguma teoria que podemos identificar, corroborar e usar na nossa pesquisa. Uma boa sugestão é que, tão logo termine a entrevista, as notas sejam passadas a limpo e o registro seja validado, por escrito, com o entrevistado. Muitas vezes, ainda há possibilidade de correção de detalhes que talvez o pesquisador possa não ter captado no momento da entrevista.

Antonio et al. (2018) explicam que, muitas vezes, a 'história a ser contada' e os meandros de um SI não estão registrados em documentos. Por isso, é muito importante extrair a informação por meio de entrevistas, buscando várias pessoas como referência e fazendo com que as informações sejam corroboradas por outras pessoas da mesma organização ou de outras organizações que possuem relação com aquele SI que está sendo estudado.

¹⁰ Citamos Yin (2001) por seu efeito didático. Para o desenvolvimento teórico aplicado a ECI, que é o foco deste capítulo, utilizamos argumentações de autores que pesquisam e são referências no paradigma interpretativo, tais como Walsham (1995), Golden-Biddle and Locke (1993), Klein e Myers (1999), e Pozzebon (2004).

3.4.3 Abstração, Generalização e Plausibilidade

Neste critério, agregamos a visão de Walsham (1995), que argumenta que existem quatro tipos de generalizações de ECI: o desenvolvimento de conceitos, a geração de teoria, o desenho de implicações específicas, e a contribuição de descobertas à comunidade científica. Klein e Myers (1999) ressaltam que a teoria desempenha um papel crucial nas pesquisas conduzidas sob o paradigma interpretativo. É importante que abstrações e generalizações teóricas sejam cuidadosamente relacionadas aos detalhes do estudo de campo, uma vez que foram experimentadas ou coletadas pelo pesquisador. Isso é para que os leitores possam acompanhar como o pesquisador chegou às suas percepções teóricas. Para utilizar os critérios da abstração e generalização teóricas, no estudo de Alvarez (2008), foi utilizada a Teoria de Análise Crítica do Discurso para analisar os dados das entrevistas. No estudo de Avgerou et al. (2009) foi utilizada a Teoria da Confiança e Confiabilidade para analisar a confiança dos cidadãos brasileiros no sistema de votação no contexto estudado. Por fim, no estudo de Chua e Myers (2017) se utilizou a Teoria do Controle e da Ordem Negociada, para relacionar os dados entre controlador e controlado.

Para demonstrar o princípio da plausibilidade, os pesquisadores devem se preocupar com dois componentes interconectados. Primeiro, os pesquisadores precisam mostrar que sua pesquisa faz sentido, o que significa lidar com preocupações comuns, estabelecendo conexões com os antecedentes e experiências pessoais e disciplinares de seus leitores. Segundo mostrar que há uma contribuição para o campo é um dos aspectos mais importantes a serem considerados. O valor de qualquer pesquisa empírica depende da medida em que o autor nos diz algo novo e relevante [Pozzebon, 2004].

Um ECI precisa mostrar que faz sentido e qual a sua contribuição para um campo de pesquisa. Alvarez (2008), em seu artigo, mostra que sua pesquisa faz sentido na importância de compreender as consequências organizacionais da implementação de sistemas grandes e complexos. Traz ainda o seu objetivo ao introduzir o tópico de investigação, que é a de investigar a relação entre sistemas empresariais, estruturas organizacionais e identidade ao longo de um período de tempo longitudinal. Avgerou et al. (2009) mostrou que havia propensão dos cidadãos brasileiros a receber iniciativas governamentais para a inovação em serviços de governo eletrônico, como o sistema de votação brasileiro. Por fim, Chua e Myers (2017) mostraram que os controles resultam de negociações entre controladores e controlados dentro de um contexto particular. Uma contribuição deste artigo à comunidade científica é observar os controles como estruturas sociais ligadas ao contexto social em que são inseridas. A escolha da teoria e analisar os dados a partir dela é um critério fundamental para um bom ECI.

3.4.4. Raciocínio Dialógico e Reflexividade

Esse critério exige que o pesquisador enfrente os seus preconceitos (que orientaram o desenho original da pesquisa, ou seja, as lentes originais) com os dados que emergem a partir do processo de pesquisa.

Klein e Myers (1999), nos mostram que o pesquisador deve ter sensibilidade a possíveis contradições entre os preconceitos teóricos que orientam o desenho da pesquisa e as descobertas reais ("a história que os dados contam") com os subsequentes ciclos de revisão a cada coleta de dados. Ou seja, o pesquisador não deve "emplacar" a teoria sobre o campo de modo a buscar dados que apenas confirmem a teoria empregada na pesquisa. O pesquisador deve ficar atento às diferenças observadas no campo de

pesquisa e abarcar elementos que refinam, estendam ou contradigam a teoria prévia de modo a aprimorar o conhecimento sobre o assunto pesquisado. Esse foi o caso de Alvarez (2008), que revelou que seus achados foram inesperados. Isso mostra que a autora não procurou apenas corroborar uma posição inicial. Ao invés disso, realizou uma análise profunda dos elementos que emergiram no estudo de caso e não teve preconceitos a estes.

Avgerou et al. (2009), na conclusão do seu estudo, admite que a crença na confiabilidade é um conceito cognitivo e que não consegue captar com precisão os sentimentos e a atitude comportamental dos cidadãos em relação ao governo democrático. Um estudo da confiança terá de ir além do rastreamento de percepções e crenças e investigar as ações políticas dos cidadãos. Isto foi colocado como uma limitação na pesquisa.

Um ponto importante é o pesquisador tornar a base intelectual histórica da pesquisa o mais transparente possível para o leitor e para si próprio [Klein and Myers, 1999]. Ou seja, o pesquisador deve apresentar em seus relatos de pesquisa as suas preferências teóricas e a sua posição no campo de pesquisa, de modo a permitir ao leitor entender como as escolhas da pesquisa foram feitas. Importante ressaltarmos que o pesquisador está constantemente conversando com o campo de pesquisa. O pesquisador vai mudando seus conceitos, voltando a campo algumas vezes e realizando novas análises; com isso, vai evoluindo e modificando a pesquisa.

A reflexividade implica em se atentar sobre como os textos são escritos e como a pesquisa é comunicada [Alvesson e Skoldberg, 2000]. O nível de interpretação que cada trabalho de pesquisa empírica alcança depende, essencialmente, das premissas e propósitos de cada pesquisador [Pozzebon, 2004]. No nosso campo de SI, Pozzebon (2004) mostra que a reflexividade ainda não recebe atenção nas nossas pesquisas. Uma pesquisa reflexiva deve ir além da interação entre pesquisador e sujeito e examinar a relação entre pesquisadores e a rede de pesquisa da qual fazem parte. Schultze (2000) definiu a dimensão reflexiva de seu trabalho com um elemento chamado escrita auto-reveladora. Um texto auto-revelador exige um autor personalizado, o uso de pronomes pessoais para destacar consistentemente o ponto de vista representado e a construção do pesquisador como um indivíduo razoável, porém falível, com o qual o público pode se identificar. Alvarez (2008), Avgerou et al. (2009) e Chua e Myers (2017), utilizaram o pronome pessoal “nós” em diversos momentos do artigo e isso mostra reflexividade na pesquisa.

3.4.5 Múltiplas interpretações

Este princípio requer que o pesquisador examine as influências que o contexto social tem sobre as ações em estudo ao procurar e documentar vários pontos de vista, juntamente com as suas respectivas razões. A análise de razões pode incluir os conflitos relacionados ao poder, economia ou valores. Além disso, o pesquisador deve enfrentar as contradições potencialmente inerentes aos vários pontos de vista uns com os outros e rever o seu entendimento em conformidade [Klein and Myers, 1999].

Antonio et al. (2018) argumentam que o pesquisador não deve utilizar estudo de caso apenas para comprovar uma posição preconcebida. Os pesquisadores geralmente estão propensos a esse problema porque eles devem compreender as questões e agir com discricção. O pesquisador deve estar aberto aos resultados da pesquisa, mesmo se não for o resultado que este estava imaginando de início com o estudo de caso. Um ECI

deve abarcar diferentes pontos de vista e as múltiplas interpretações, caso estes ocorram, e analisar a interação do contexto sobre eles.

No artigo de Chua e Myers (2017), cada uma das negociações apresentadas trouxeram diferentes perspectivas e todas foram explicitadas e contempladas no artigo. Com isso, descobriram na teorização sobre estruturas sociais que, além da intenção do controlador, outras forças moldam a execução e o comportamento do controle. Essas forças são o contexto, a interpretação do controlado e do controlador, uma negociação entre o controlado e o controlador e, finalmente, o próprio controle. Nossas descobertas apoiam nossa teorização, mas também a amplia com novos *insights*. Se não tivessem abarcado os diversos pontos de vista emergidos nos exemplos da pesquisa, não teriam tido outros *insights* sobre a teoria de controle social. O princípio das múltiplas interpretações traz confiabilidade à pesquisa.

3.4.6. Suspeita e Autenticidade

Quanto ao princípio da suspeita, o pesquisador deve estar sempre com o pensamento crítico atento para descoberta de falsos preconceitos na pesquisa por ele e pelos atores envolvidos [Klein and Myers, 1999]. No que tange ao princípio da autenticidade, significa ser genuíno para a experiência de campo como resultado de estar no campo de pesquisa [Golden-Biddle e Locke, 1993]. O pesquisador deve realizar o registro de pesquisa de forma fidedigna, registrando todos os acontecimentos do campo de pesquisa sem ocultar nada.

Nos estudos de Alvarez (2008) e Chua e Myers (2017), ambos os grupos de pesquisadores foram ao campo de pesquisa e registraram as evidências nos artigos elaborados. Foram trazidos trechos das entrevistas realizadas e um contexto detalhado de onde foi realizada a pesquisa de campo.

A vivência do pesquisador no campo de pesquisa e estar presente na organização a ser pesquisada são pontos importantes de serem observado na autenticidade. A análise de documentos de arquivo nos ECI também demonstra esse princípio [Pozzebon, 2004].

Antonio et al. (2018) nos mostram que, quanto aos **documentos** relativos ao estudo de caso, estes podem ser buscados dentro da organização que aquele SI está inserido, bem como por estudos já realizados de outros pesquisadores, trazendo estatísticas e o contexto histórico à época que aquele SI foi criado. Sobre os **registros em arquivos**, tais como dados de um SI e arquitetura utilizada, número de usuários do sistema, dados estatísticos oriundos de levantamentos, dentre outros, podem ser úteis se combinados a outras evidências ao se montar o estudo de caso.

Devemos ter em mente, após termos as evidências dos dados que foram coletados, que se deve desenvolver linhas convergentes de investigação. Assim, qualquer descoberta ou conclusão em um ECI provavelmente será muito mais convincente e acurada caso se baseie em várias fontes distintas de informação, obedecendo a um estilo corroborativo de pesquisa. Desta forma o pesquisador conseguirá demonstrar autenticidade na pesquisa conduzida sob o paradigma interpretativo.

3.5. Realizando um Estudo de Caso Interpretativo

Após termos visto na Seção 3.4 como critérios de qualidade foram utilizados em ECI publicados por pesquisadores de referência nesta metodologia, vamos trazer sugestões práticas para realizar o ECI.

Walsham (2006) argumenta que o primeiro elemento para se realizar ECI é o pesquisador escolher qual é seu **‘estilo em campo’**. O pesquisador pode ser “externo”, realizando um estudo principalmente por meio de entrevistas formais, sem envolvimento direto em ações no campo, ou fornecendo *feedback* significativo aos participantes de campo. Ou pode ser um pesquisador “envolvido” como um observador participante ou pesquisador de ação. Este espectro muda com frequência ao longo do tempo de pesquisa [Walsham, 2006] e devem ser observadas as vantagens e desvantagens de cada estilo, ainda de acordo com o nível de acesso que o pesquisador tem na organização.

O segundo elemento para o pesquisador realizar ECI é a **escolha da teoria**. A teoria pode ser escolhida e utilizada dependendo da etapa da pesquisa. Além disso, a teoria pode ser usada de maneira mais leve ou mais rígida, e ambas as formas têm seus méritos. Mas a escolha da teoria é essencialmente subjetiva. A resposta está nas próprias experiências, antecedentes e interesses do pesquisador. Eles escolhem uma teoria em particular porque "falaram" com eles. Walsham (2006) traz alguns itens para nortear esta escolha, conforme segue: (1) A teoria deve ser escolhida se fizer sentido para o pesquisador; (2) o pesquisador deve estar engajado na teoria escolhida e não deve se fixar em apenas uma teoria e depois não ler mais nada; (3) o pesquisador não deve deixar a geração da teoria até o final do seu estudo; (4) não descarte o valor de uma teoria até que você tenha lido sobre ela com alguma profundidade e (5) finalmente, leia amplamente sobre diferentes teorias, pois isso oferecerá a você uma base mais ampla para escolher e maior probabilidade de encontrar uma teoria ou teorias que o inspirem, além de permitir que você obtenha bons *insights* a partir de seus dados de campo.

O terceiro elemento para o pesquisador realizar ECI, conforme Walsham (2006), é o **acesso ao campo de pesquisa**. Para isso, um pesquisador precisa ter ou desenvolver duas características: primeiro, melhorar as suas habilidades sociais a fim de conseguir e manter o acesso à organização escolhida; segundo, precisa ter resiliência. A disposição de aceitar "não" como resposta, mais a persistência de tentar em outro lugar, são importantes. Em alguns casos, é possível obter acesso à organização abordando a pesquisa de diferentes ângulos [Walsham, 2006].

O quarto elemento para realizar ECI é, estando em campo, o pesquisador deve ter em mente os **critérios de qualidade** vistos na Seção 3.4. Interação entre pesquisadores e sujeitos, raciocínio dialógico, suspeição e múltiplas interpretações são alguns dos critérios que devem ser observados de perto pelo pesquisador [Klein e Myers, 1999].

Uma das questões críticas em ECI é como relatar o trabalho de campo. Pesquisadores que realizam estudos segundo o paradigma interpretativo não estão dizendo ao leitor que eles estão relatando fatos; em vez disso, eles estão relatando as suas interpretações sobre as interpretações de outras pessoas. É, portanto, vital, a fim de estabelecer alguma credibilidade para o leitor, que eles descrevam em detalhes como chegaram aos seus 'resultados'. Os relatórios sobre a coleta de dados de campo devem

incluir detalhes dos locais de pesquisa escolhidos, as razões para essa escolha, o número de pessoas entrevistadas, quais posições hierárquicas ou profissionais ocuparam, que outras fontes de dados foram usadas e em que período a pesquisa foi realizada [Walsham, 2006].

Com relação à análise de dados, o relatório deve incluir como as entrevistas de campo e outros dados foram registrados, como eles foram analisados e como o processo iterativo entre dados de campo e teoria ocorreu e evoluiu ao longo do tempo. Orlikowski (1993) fornece um bom exemplo de relatos cuidadosos sobre os tópicos acima. Maanen (1989) nos lembra que estabelecer validade aos olhos de um leitor é parte da arte da persuasão, e é tanto uma questão de estilo retórico e talento quanto de precisão e cuidado em questões de teoria e método. Deve-se fazer o rascunho da seção metodológica neste estágio inicial. Você se lembrará dos procedimentos metodológicos que utilizou com maior precisão durante esse momento crítico [Walsham, 2006].

Engajamento, instigação e sedução - Essas são características incomuns que existem na metodologia de ECI. Produzir um ECI exige que o pesquisador seja entusiástico em relação à investigação e que deseje transmitir amplamente os resultados obtidos. Um entusiasmo como esse deve permear a investigação inteira e conduzir, de fato, a um bom ECI.

3.6. Conclusão

Neste capítulo, apresentamos os paradigmas epistemológicos principais utilizados na pesquisa em SI e aprofundamos nosso conhecimento na metodologia de ECI. Analisamos cada princípio de validade para a pesquisa segundo o paradigma interpretativo e trouxemos exemplos reais de ECI que foram realizados por pesquisadores que são referência no tema. Por fim, elencamos algumas sugestões práticas de estruturação do texto de um ECI conforme Walsham (1995), Klein e Myers (1999) e Pozzebon (2004).

Concluimos que, apesar de desafiador, o método de ECI a ser utilizado em SI pode desvendar diversos elementos que emergem no contexto de produção e uso de SI, os quais não seriam revelados por meio de outra metodologia de pesquisa, enriquecendo assim o corpo teórico em SI. Desta forma, conseguiremos estudar o fenômeno dos SI de uma forma multidisciplinar, indo além do paradigma positivista dominante nas pesquisas em SI e abarcando todos os atores envolvidos na construção de um SI.

A possibilidade de realizar estudos de caso, do ponto de vista profissional, pode ampliar a prática de desenvolvimento e implantação de SI no sentido de permitir ao profissional ou às organizações compreenderem SI em seu contexto, respondendo a perguntas importantes, em geral negligenciadas, a respeito de como e porque SI são utilizados, que significados estabelecem organizacional ou socialmente e que impactos ou resistências geram com seu uso. Todos estes aspectos, quando não estudados pelas organizações, têm o potencial de gerar uma série de problemas comuns relacionados ao desenvolvimento e gestão de SI, como: aplicações que não cumprem seus objetivos esperados quando implantados, desvios e contornos de utilização, gastos de recursos com ajustes e manutenções, descontinuidade, entre tantos outros.

Sendo assim, convidamos a comunidade de pesquisa e prática de SI a praticar a metodologia de ECI e compartilhar suas descobertas, ampliando o conhecimento da área e fortalecendo nossa visão sistêmica e multidisciplinar em SI.

Referências

- Alvarez, R. (2008) Examining technology, structure and identity during an Enterprise System implementation. *Information Systems Journal*. Vol. 18, No. 2. pp. 203–224. DOI:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2575.2007.00286.x>.
- Alvesson, M.; Skoldberg, K. (2000) *Reflexive Methodology: New Vistas for Qualitative Research*. London: Sage Publications.
- Antonio, N. P., Fornazin, M. & Araujo, R. M. (2018) Metodologia de Pesquisa de Estudo de Caso em Sistemas de Informação. In: *Minicursos da ERSI-RJ 2018 - V Escola Regional de Sistemas de Informação do Rio de Janeiro* (1a ed.), França, J. B. e T. França. Sociedade Brasileira de Computação, Nova Friburgo - RJ, pp. 41–67. DOI:<https://doi.org/10.5753/sbc.7.2>.
- Araujo, R., Fornazin, M. & Pimentel, M. (2017) Uma Análise sobre a Produção de Conhecimento Científico nas Pesquisas Publicadas nos Primeiros 10 anos da iSys (2008-2017) In: *iSys: Revista Brasileira de Sistemas de Informação*, Vol. 10, No. 4, pp. 45-65.
- Araujo, R. M.; Chueri, L. O. V. (2017) In: *Pesquisa e Inovação: Visões e Interseções*. 1. ed. Rio de Janeiro: Publit Soluções Editoriais. Vol. 1. 296p.
- Avgerou, C. (2000) IT and organizational change: an institutionalist perspective. *Information Technology & People*, Vol. 13, No. 4, pp. 234-262.
- Avgerou, C., Ganzaroli, A., Poulymenakou & A., Reinhard, N. (2009) Interpreting the Trustworthiness of Government Mediated by Information and Communication Technology: Lessons from Electronic Voting in Brazil. *Information Technology Development*, Vol. 15, No. 2, pp-133–148. DOI:<https://doi.org/10.1002/itdj.20120>
- Benbasat, I. Goldstein, D. K. & Mead, M. (1987) The Case Research Strategy in Studies of Information Systems. *MIS Quarterly*, Vol. 11, No. 3, pp. 369-386. <http://www.jstor.org/stable/248684>.
- Boscarioli, C., Araujo, R. M. & Maciel, R. S. I (2017) In: *GranDSI-BR: Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026*. 1ª ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, Vol. 1, 184p. http://www2.sbc.org.br/ce-si/arquivos/GranDSI-BR_Ebook-Final.pdf.
- Burrell, G., Morgan, G. (1979) *Sociological Paradigms and Organisational Analysis: Elements of the sociology of corporate life*, Heinemann, London.
- Ciborra, C. (2002) In: *The Labyrinths of Information: Challenging The Wisdom of Systems*. Oxford University Press 1a ed.
- Chua, C. E. H.; Myers, M. D. (2017) Social control in Information Systems Development: a Negotiated Order Perspective. *Journal of Information Technology*, Vol. 33, No. 3, pp-173–187. DOI:<https://doi.org/10.1057/s41265-017-0048-4>
- Davis, F.D. (1989) Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology, *MIS Quarterly*, Vol. 13. DOI: <https://doi.org/10.2307/249008>.

- Dubé, L.; Paré, G. (2003) Rigor in Information Systems Positivist Case Research: Current Practices, Trends, and Recommendations. *MIS Quarterly*, Vol. 27, No. 4, p.597. DOI:<https://doi.org/10.2307/30036550>.
- Eisenhardt, K.M. (1989) Building Theories from Case Study. *The Academy of Management Review*, Vol. 14, No. 4, pp. 532-550. <http://www.jstor.org/stable/258557>.
- Golden-Biddle, K.; Locke, K. (1993) Appealing Work: An Investigation of How Ethnographic Texts Convince, *Organization Science*, Vol. 4, pp. 595-616.
- Hirschheim, R.; Klein, H. K. (1989) Four paradigms of information systems development. *Communications of the ACM*, Vol. 32, No. 10, pp. 1199-1216.
- Hirschheim, R.; Klein, H. K. (2011) Tracing the History of the Information Systems Field. In: Currie, W.; Galliers, R. D. (Ed.). In: *The Oxford Handbook of Management Information Systems*. Oxford: Oxford University Press, pp. 16-62.
- Kitchenham, B. (2006) Evidence-Based Software Engineering and Systematic Literature Reviews. In: Münch J., Vierimaa M. (eds) In: *Product-Focused Software Process Improvement*. PROFES 2006. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4034. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/11767718_3.
- Klein, H. K.; Myers, M. D. (1999) A Set of Principles for Conducting and Evaluating Interpretive Field Studies in Information Systems. *MIS Quarterly*, Vol. 23, No. 1, pp. 67-93. <http://www.jstor.org/stable/249410>.
- Kling, R.; Scacchi, W. (1982) The web of computing: Computer technology as social organization. *Adv. Comput*, (21), pp-1-90.
- Kuhn, T. (1975) *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- Laudon, K. C.; Laudon, J. P. (2014) In: *Sistemas De Informação Gerenciais*. São Paulo: Pearson Education.
- Latour, B. (2012). In: *Ciência Em Ação*. Editora Unesp. 2a ed. Tradução de: *Science in action: how to follow scientists and engineers through society*.
- Maanen, V. J. (1989) Some notes on the importance of writing in organization studies. In: *The Information Systems Research Challenge* (CASH JI and LAWRENCE PR, Eds), Vol.1, Harvard Business School, Boston.
- Markus, M. L. Power, politics, and MIS implementation (1983). *Communications of the ACM*, Vol. 26, No. 6, pp. 430-444.
- Markus, M. L.; Robey, D. (1988) Information technology and organizational change: causal structure in theory and research. *Management Science*, Vol. 34, No. 5, pp. 583-598.
- Myers, M.D. (1999) Investigating Information Systems with Ethnographic Research. *Communications for the Association of Information Systems*, Vol. 2, Article 23. <https://aisel.aisnet.org/cais/vol2/iss1/23>
- Orlikowski W. J.; Baroudi J. (1991) Studying Information Technology in Organizations. *Information Systems Research*, Vol. 2, No.1, pp-1-28.

- Orlikowski, W. J.; Robey, D. (1991) Information technology and the structuring of organizations. *Information systems research*, Vol. 2, No. 2, pp.143-169.
- Orlikowski W. J. (1993) CASE tools as organizational change: investigating incremental and radical changes in systems development. *MIS Quarterly*, Vol. 17, No. 3, pp-309–340.
- Orlikowski W. J.; Iacono, S. J. (2001) Research Commentary: Desperately Seeking the “IT” in IT Research—A Call to Theorizing the IT Artifact. *Information Systems Research*, Vol. 12, No. 2, pp.121-134.
- Orlikowski, W. J and Scott, S. V. (2008): Sociomateriality: Challenging the Separation of Technology, Work and Organization, *The Academy of Management Annals*, Vol. 2, No. 1, pp-433-474.
- Palvia, P., YK, C. P., Kakhki, M. D., Ghoshal, T., Uppala, V., & Wang, W. (2017). A decade plus long introspection of research published in Information & Management. *Information & Management*, Vol. 54, No. 2, pp-218-227.
- Porra, J.; Hirschheim, R.; Parks, M. S. (2014) The Historical Research Method and Information Systems Research. *Journal of the Association for Information Systems*, Vol. 15, No. 9, Article 3. <https://aisel.aisnet.org/jais/vol15/iss9/3>
- Pozzebon, M.; Freitas, H. M. R. (1998) Pela Aplicabilidade-com um maior Rigor Científico dos Estudos de Caso em Sistemas de Informação. *RAC*, Vol. 2, No. 2, pp-143-170.
- Pozzebon, M. (2004) Conducting and Evaluating Critical Interpretative Research: Examining Criteria as a Key Component in Building a Research Tradition.
- Pimentel, M., Filippo, D., Calvão, L.D., & Silva, A. R. (2017). “Design Science Research: pesquisa científica para o desenvolvimento de artefatos inovadores”. In: *Pesquisa e Inovação: visões e interseções*. editado por R. M. Araujo & L. O. V. Chueri. Rio de Janeiro, RJ: Publit.
- Runeson, P., Host, M., Rainer, A., & Regnell, B. (2012). *Case study research in software engineering: Guidelines and examples*. John Wiley & Sons.
- Recker, J. (2013) *Scientific Research in Information Systems – A Beginner’s Guide*. Springer.
- Sayah, S. and Walsham, G. (2006) Scalling of Health Information Systems in India: Challenges and Approaches. *Information Technology for Development*, Vol. 12, No. 3, pp-185-200.
- Schultze, U. (2000) A Confessional Account of an Ethnography about Knowledge Work. *MIS Quarterly*, Vol. 24, No.1, pp-3-41.
- Walsham, G. (1993) *Interpreting Information Systems in Organizations*, Wiley, Chichester, UK. pp. 4-5.
- Walsham, G. (1995) Interpretive case studies in IS research: nature and method. *European Journal of Information Systems*, Vol. 4, pp.74-81.
- Walsham, G. (2006) Doing interpretive research. *European Journal of Information Systems*, Vol.15, pp.320-330.

- Wazlawick, R. S. (2009) In: *Metodologia de Pesquisa para Ciência da Computação* Elsevier Editora. *São Paulo*.
- Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M. C., Regnell, B., & Wesslén, A. (2012). *Experimentation in software engineering*. Springer Science & Business Media.
- Yin, R. K. (2001) In: *Estudo de caso: Planejamento e Métodos*. trad. Daniel Grassi 2.ed. Porto Alegre: Bookman.

Autores



Nadja Piedade de Antonio - <http://lattes.cnpq.br/3769571781611695>

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Informática da UNIRIO, pesquisando SI Sociais. Possui Bacharelado em Ciências Econômicas pela Universidade Federal Fluminense e pós-graduação em Engenharia de Produção pelo Instituto Nacional de Tecnologia. Atua desde 2007 na área de desenvolvimento de sistemas da CAIXA e, desde 2012, atua como Coordenadora de Projetos de TI, possuindo

experiência em gestão de sistemas sociais. Ministrou minicurso na ERSI-2018.



Marcelo Fornazin - <http://lattes.cnpq.br/0396928965160154>

Professor Adjunto no Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense e colaborador do PPGI da UNIRIO. Doutor em Administração pela EBAPE/FGV, possui Bacharelado e Mestrado em Ciência da Computação pela UNESP. Tem experiência na área de Computação, com ênfase em Gestão de TI, Governo Eletrônico e Computação Social. Atua nos seguintes temas: planejamento e gestão

de TI, desenvolvimento de sistemas, desenvolvimento de soluções de informática na saúde e na educação.



Renata Araujo - <http://lattes.cnpq.br/3589012014320121>

Professora permanente em tempo integral na Faculdade de Computação e Informática da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. Membro da Comissão Especial de Sistemas de Informação da SBC (2010 ao presente) e Diretora de Educação da SBC (2018-2019). Doutora em Engenharia de Sistemas e Computação pela COPPE/UFRJ. Coordenadora do Grupo de Pesquisa e Inovação em

Ciberdemocracia (CIBERDEM). Pesquisadora do LUDES - Laboratório de Ludologia, Engenharia e Simulação da COPPE/UFRJ. Bolsista de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora do CNPq. Possui 20 anos de experiência em docência, pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação na área de Computação, com ênfase em SI, atuando nos temas: governo e democracia digital, gestão da inovação, gestão de processos de negócio, engenharia de software e sistemas colaborativos.



Rodrigo Pereira dos Santos - <http://lattes.cnpq.br/8613736894676086>

Professor Adjunto do Departamento de Informática Aplicada e membro efetivo do Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO). Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação pela COPPE/UFRJ e pesquisador visitante na University College London (2014-2015). É editor-chefe da iSys: Revista Brasileira de Sistemas de Informação. É

membro da Sociedade Brasileira de Computação desde 2006 e membro do Comitê Gestor da Comissão Especial de Sistemas de Informação (CESI) da SBC. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Engenharia de Software

e Sistemas de Informação. Seus principais campos de atuação são Ecossistemas de Software, Engenharia de Requisitos, Educação em Engenharia de Software e Aquisição de Software e Serviços de TI. Ministrou minicursos no SBSI, CLEI, SBIE, CBSOft, SBGames, SBQS, Webmedia, IHC, CIbSE e ICTAC, além de vários eventos regionais.

Capítulo

4

Avaliação de Modelos de Predição e Previsão Construídos por Algoritmos de Aprendizado de Máquina em Problemas de Cidades Inteligentes

Igor Garcia Sampaio, Flavia Bernardini, Aline Paes, Eduardo de Oliveira Andrade, José Viterbo

Abstract

The availability of open data is one of the fundamental pillars in Smart Cities. Such data can be used as input for computer systems providing new services to the population. In this context, sensor data along with machine learning approaches have been used to forecast the demand of several public services, such as electric power, gas, taxi, among others. In general, these problems are treated by supervised learning algorithms, whose goal is to find a model from training data. However, several algorithms can be considered to obtain a model, and even if a single algorithm is chosen, several parameters can be varied, which leads to obtaining multiple candidate models to solve a problem. In addition, one of the key features of machine learning lies in the fact that no algorithm is best for all situations. In this way, it becomes important to systematize the model evaluation process, especially in the context of Smart Cities, which may involve the use of machine learning approaches in batch or data flow. In Brazil, the process of evaluating classification and regression models is still a challenge for many solution developers. Thus, the purpose of this short course is to present the model evaluation process for prediction and forecast, built using batch machine learning algorithms and data flow. For this, tools and datasets available on the Internet are used to illustrate the modeling of the problem and the evaluation process of the built models.

Resumo

Em Cidades Inteligentes, um dos pilares fundamentais é a disponibilização de dados abertos, que podem ser utilizados como insumo por sistemas computacionais para a oferta de novos serviços para a população. Nesse contexto, dados de sensores juntamente com abordagens baseadas em aprendizado de máquina têm sido utilizados para previsão

de demanda de diversos serviços públicos, como energia elétrica, gás, taxi, dentre outros. Em geral, esses problemas são tratados por algoritmos de aprendizado supervisionado, cuja meta é encontrar um modelo a partir de dados de treinamento. Entretanto, diversos algoritmos podem ser considerados para a obtenção de um modelo, e, mesmo que um único algoritmo seja escolhido, diversos parâmetros podem ser variados, o que leva a obtenção de múltiplos modelos candidatos à solução de um problema. Além disso, uma das principais características do aprendizado de máquina está no fato de que nenhum algoritmo é melhor para todas as situações. Desta forma, se torna importante a sistematização do processo de avaliação de modelos, principalmente no contexto de Cidades Inteligentes, que podem envolver o uso de abordagens de aprendizado de máquina em lote ou em fluxo de dados. No Brasil, o processo de avaliação de modelos de classificação e regressão ainda é um desafio para muitos desenvolvedores de soluções. Assim, o objetivo deste minicurso é apresentar o processo de avaliação de modelos para previsão e predição, construídos utilizando algoritmos de aprendizado de máquina em lote e em fluxo de dados. Para isso, são utilizadas ferramentas e coleções de dados disponibilizados na internet para ilustrar a modelagem do problema e o processo de avaliação dos modelos construídos.

4.1. Introdução

No panorama da evolução tecnológica e da crescente urbanização, ganha corpo o debate sobre o contexto e as perspectivas em torno do movimento urbano tecnológico, mundialmente conhecido como Cidades Inteligentes (do inglês *Smart Cities*). Apesar da área chamar a atenção por parte da academia nos últimos anos, o termo não é novo [Harrison and Donnely 2011]. Ele surgiu em meados dos anos 1800, na criação de novas cidades no oeste americano, pelo modelo de autogoverno eficiente. A partir do ano 2000, a expressão passou a ser adotada por empresas do ramo tecnológico, que associaram o crescimento urbano com a necessidade de incorporação tecnológica.

Há muitas diferentes definições e frameworks apresentados na literatura para Cidades Inteligentes. No entanto, observa-se, em muitos desses trabalhos, que as TICs (Tecnologia da Informação e Comunicação) e o processamento de dados são transversais em diversos domínios de problemas nas cidades, e necessitam de técnicas para análise de tais dados. Nesse sentido, aprendizado de máquina tem sido amplamente utilizado em diversos problemas para oferecer novas ferramentas para o apoio à tomada de decisão e tem sido aplicado na solução de diversos problemas reais.

Há duas tarefas principais nos quais se enquadram os problemas resolvidos por aprendizado de máquina: preditivas e descritivas. Nas tarefas preditivas, a meta é encontrar uma função, também chamada de modelo ou hipótese, a partir de dados de treinamento. Tais dados são descritos pelos atributos de entrada. Os valores possíveis de rótulo formam um conjunto que define o atributo de saída da função. Tal atributo de saída é comumente conhecido como classe.

Já nas tarefas descritivas, a meta é explorar ou descrever um conjunto de dados. Em geral, nesse tipo de problema não há um atributo classe, ou seja, os dados não foram rotulados. Assim, os algoritmos de aprendizado utilizados nessas tarefas não utilizam o atributo classe e por isso, seguem a abordagem de aprendizado não-supervisionado. Neste

capítulo, o foco está apenas no aprendizado supervisionado.

Uma das principais características do aprendizado de máquina está no fato de que nenhum algoritmo ser melhor para todas as situações, e a teoria que dá embasamento a essa afirmação é o *Free-Lunch Theorem* [Wolpert 1996]. Assim sendo, para cada problema abordado, é necessário realizar experimentos para verificar qual(is) o(s) algoritmo(s) apresenta(m) melhor comportamento no conjunto de dados disponível. Assim sendo, uma sistematização do processo de avaliação é importante.

Com isso, o objetivo deste capítulo é apresentar conceitos importantes de aprendizado de máquina, incluindo aprendizado em lote e online. Alguns cenários de uso do aprendizado de máquina para previsão de demanda nas Cidades Inteligentes são apresentados. Descrevemos ainda como é realizada a avaliação dos conhecimentos extraídos pelos algoritmos de aprendizado em lote e online, bem como as ferramentas utilizadas na demonstração do processo de avaliação.

4.2. Cidades Inteligentes e TICs

Há muitos trabalhos na literatura que apresentam diferentes definições e frameworks para Cidades Inteligentes [Giffinger 2016, Oliveira and Campolargo 2015, Guedes et al. 2018, Anthopoulos 2015, Gil-Garcia et al. 2015]. Isso é devido a cada cidade ter uma perspectiva diferente sobre a qualidade de vida e do bem-estar de seus cidadãos. Por outro lado, algumas características importantes têm se destacado nas diferentes tentativas de definição das cidades inteligentes: (i) o cidadão é foco no processo de evolução das cidades [Giffinger 2016, Oliveira and Campolargo 2015]; (ii) as TICs têm papel fundamental no apoio aos diferentes domínios, principalmente no processo de tomada de decisão por parte de todos os atores de uma cidade, nos mais diversos eixos de serviços e domínios [Gil-Garcia et al. 2015, Anthopoulos 2015]; (iii) diversos frameworks têm sido propostos para nortear em quais componentes uma cidade pode focar para evoluir considerando o contexto de Cidades Inteligentes [Gil-Garcia et al. 2015, Guedes et al. 2018].

Em relação às características (i) e (ii), Oliveira e Campolargo [2015] afirmam que combinar informações providas por redes de sensores com aplicativos de smartphone permite a personalização dos serviços de uma cidade de acordo com sua posição, perfil e padrões de comportamento de seus cidadãos. A partir disso, é necessário evoluir o conceito de Cidades Inteligentes para focar nos cidadãos, suas necessidades, e uma colaboração aberta entre os cidadãos e as autoridades públicas — no caso de cidades, as prefeituras [Oliveira and Campolargo 2015]. Como as cidades estão cada vez maiores, a aproximação entre os cidadãos e as autoridades públicas e a personalização dos serviços de uma cidade para seus cidadãos somente é possível utilizando tecnologias mais avançadas no âmbito das TIC, em especial a Ciência da Computação e Sistemas de Informação. Ainda, tecnologias computacionais para permitir melhor entendimento de dados abertos também são fundamentais, como discutido em [Lima et al. 2018, Barcellos et al. 2017, Pinto et al. 2018].

Observa-se, nesse contexto, que as TICs e o processamento de dados oriundos dessas estruturas construídas, necessitam de técnicas para análise de tais dados. Com isso, o aprendizado de máquina tem sido amplamente utilizado em diversos problemas para oferecer novas ferramentas para o apoio à tomada de decisão. No entanto, é possível

observar em muitas situações a dificuldade de usar corretamente e saber avaliar os conhecimentos e padrões produzidos pelos algoritmos de aprendizado de máquina. Assim, entender tal avaliação é bastante importante no contexto das Cidades Inteligentes.

4.3. Aprendizado de Máquina Supervisionado em Lote e Online

No problema padrão de aprendizado supervisionado, a entrada para o algoritmo de aprendizado consiste de um conjunto S com N objetos ou exemplos $T_i, i = 1, \dots, N$, escolhidos de um domínio X com uma distribuição \mathcal{D} , desconhecida e arbitrária, da forma $\{(\mathbf{x}_1, y_1), \dots, (\mathbf{x}_N, y_N)\}$ para alguma função desconhecida $y = f(\mathbf{x})$. Os \mathbf{x}_i são tipicamente vetores da forma $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM})$ com valores discretos ou numéricos. x_{ij} refere-se ao valor do atributo j , denominado \mathbf{X}_j , do exemplo T_i , como mostra a Tabela 4.1. Os valores y_i referem-se ao valor do atributo Y , frequentemente denominado classe.

Tabela 4.1. Conjunto de exemplos no formato atributo-valor

	X_1	X_2	\dots	X_M	Y
T_1	x_{11}	x_{12}	\dots	x_{1M}	y_1
T_2	x_{21}	x_{22}	\dots	x_{2M}	y_2
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots
T_N	x_{N1}	x_{N2}	\dots	x_{NM}	y_N

Os valores de y são tipicamente pertencentes a um conjunto discreto de classes $C_v, v = 1, \dots, N_{Cl}$, i.e $y \in \{C_1, \dots, C_{N_{Cl}}\}$, quando se trata de *classificação*, ou ao conjunto de números reais em caso de *regressão*. Dado um conjunto S de exemplos a um algoritmo de aprendizado, uma hipótese \mathbf{h} , também denominada modelo, será induzida. Em problemas de classificação, a hipótese é também denominada classificador ou preditor. Em problemas de regressão, a hipótese é também denominada regressor ou previsor. A hipótese \mathbf{h} consiste da hipótese feita sobre a verdadeira (mas desconhecida) função f . Dados novos exemplos \mathbf{x} , o classificador, ou hipótese, \mathbf{h} prediz o valor correspondente y .

No aprendizado de máquina em lote, o conjunto de dados S é inteiramente disponibilizado na fase de treinamento para construção da hipótese \mathbf{h} [Ernst et al. 2005]. Esse tipo de aprendizado assume que a distribuição \mathcal{D} é fixa, e portanto não há necessidade de alterar a hipótese \mathbf{h} após a etapa de treinamento ter sido concluída. Assim, a amostra de dados (o conjunto S) e a sua ordem são conhecidos pelo algoritmo de aprendizagem.

No caso do aprendizado de máquina online, ou *stream learning*, apenas o conjunto de amostras possíveis é conhecido. O ambiente de aprendizagem pode mudar a todo momento, dependendo dos dados que estão sendo recebidos naquele instante [Bifet et al. 2011, Ben-David et al. 1997]. Além disso, é possível atualizar a hipótese \mathbf{h} conforme novos casos são apresentados. No entanto, ainda está em fase de exploração na área de aprendizado de máquina a construção de métodos e técnicas que permitam identificar, com o passar do tempo, a característica da distribuição dos dados. Por outro lado, a abordagem de aprendizado em lote possui algoritmos muito mais estabelecidos na literatura, por ser explorada pela comunidade de aprendizado de máquina há décadas. Em geral, o poder de predição dos algoritmos em lote é melhor que os algoritmos online quando a distribuição é estacionária. Assim, ainda é necessário explorar ambas as abordagens quando os dados têm a potencialidade de serem disponibilizados em tempo

real. Por esse motivo, as abordagens em lote e online podem ser aplicadas a diferentes domínios, sendo preciso identificar qual delas utilizar em problemas específicos e, a partir daí, escolher os melhores modelos possíveis.

Ferramentas: A ferramenta Weka é bastante utilizada no contexto da abordagem de aprendizado em lote, por ter implementado os algoritmos mais tradicionais. Dentre eles, temos os algoritmos de indução de árvores de decisão e regressão (DTs, do inglês *Decision Trees*) [Quinlan 1986], e o algoritmo de retropropagação (*backpropagation*) para redes neurais perceptron multicamadas (*multi-layer perceptron*, ou MLP) [Haykin 2008], conforme levantamento apresentado em [Andrade et al. 2017], utilizados para regressão e classificação. Ambos são apresentados neste capítulo.

Já a ferramenta MOA tem sido amplamente utilizada no contexto de aprendizado online. Além disso, ela é interessante por ter sido implementada como uma extensão da ferramenta Weka, o que permite perceber como o framework que o Weka implementa é estendido na ferramenta MOA. Para acompanhar a lógica dos algoritmos utilizados na ferramenta Weka, foram utilizados no MOA os algoritmos de árvores de decisão e de construção de perceptron considerando a atualização dos modelos construídos, já que o aprendizado é online. São portanto utilizados os algoritmos VFDT (*Very Fast Decision Trees*) [Domingos and Hulten 2000] para classificação, FIMT-DD (*Fast Incremental Model Trees with Drift Detection*) [Ikonomovska et al. 2011] para regressão, e o algoritmo *Adatron* para aprendizado do modelo Perceptron na abordagem online [Anlauf and Biehl 1989], tanto para classificação quanto para regressão. Todos esses algoritmos são descritos a seguir.

4.3.1. Aprendizado em Lote — Árvores de Decisão

A característica principal das DTs está na sua capacidade de dividir um processo complexo de tomada de decisão em uma coleção de decisões mais simples, geralmente com uma solução mais fácil de compreender [Quinlan 1986]. A árvore de decisão geralmente é associada a problemas de classificação. Porém, a árvore de regressão é idêntica a uma árvore de decisão e está inserida no campo das DTs. A única diferença é que numa árvore de regressão, a saída é um valor numérico. Podemos observar dois exemplos de árvores distintas na Figura 4.1 e Figura 4.2, sendo que a primeira mostra uma árvore de decisão para um problema de decisão do domínio de transportes da Zona Oeste do Rio de Janeiro (classificação) e a segunda mostra uma árvore de regressão construída no domínio de consumo de energia elétrica.

No Weka, o algoritmo J48 é o mais amplamente utilizado para indução de árvores de decisão, por ser uma implementação do algoritmo C.45 [Quinlan 1993]. Já o M5P e o M5Rules são adaptações do C5 e do C5Rules para problemas de regressão.

4.3.2. Retropropagação para Multi-layer Perceptron

A MLP é uma rede neural alimentada para frente (*feedforward neural network*, em inglês) com neurônios conectados por diversas ligações, que possuem pesos associados. Estes neurônios estão distribuídos em diversas camadas [Riedmiller 1994]. A primeira camada geralmente é chamada de camada de entrada; as camadas intermediárias, de camadas escondidas; e a última camada, de camada de saída. Na Figura 4.3 podemos observar uma

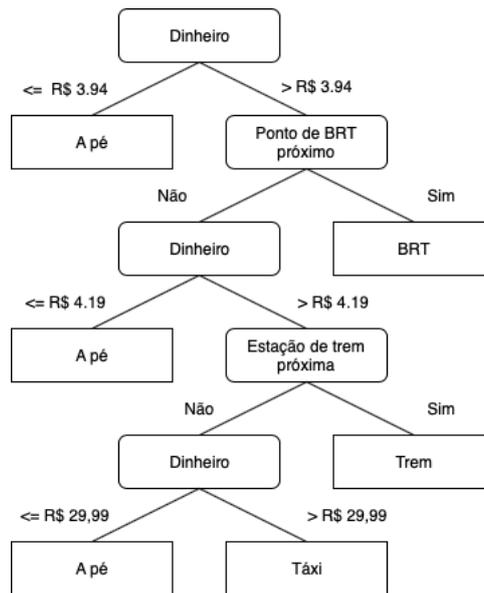


Figura 4.1. Exemplo de árvore de decisão no domínio de transportes na Zona Oeste do Rio de Janeiro

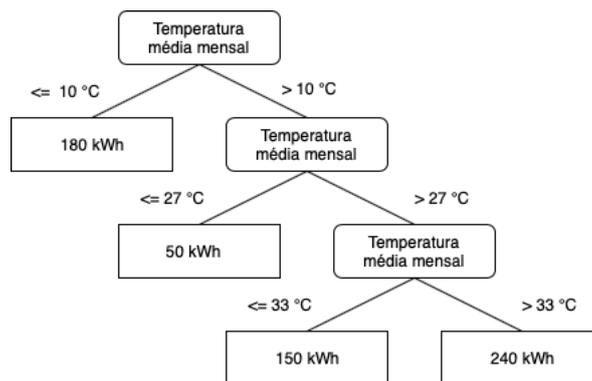


Figura 4.2. Exemplo de árvore de regressão no domínio de consumo de energia elétrica

arquitetura simples de uma MLP [Haykin 2008]. As ligações da rede MLP são completamente conectadas entre os pares de camadas adjacentes, e suas funções de ativação são contínuas e diferenciáveis [Choi and Choi 1992]. É importante observar que as redes MLP para problemas de regressão, em geral não há uma função de ativação na camada de saída, ao contrário do que acontece nos problemas envolvendo classificação. Porém, nesse caso costuma-se usar uma função de perda, como o erro quadrático médio (EQM), com a saída sendo composta de um conjunto de valores contínuos.

O treinamento, seja para obter um valor numérico como saída (problema de regressão) ou uma categoria (problema de classificação), consiste em ajustar os parâmetros ou pesos do modelo para minimizar o erro cometido nos dados disponíveis para o processo de treinamento. A retropropagação (*backpropagation*) é um algoritmo que envolve o cálculo de gradientes, sendo capaz, dessa maneira, de realizar as alterações necessárias de pesos na rede, relacionados ao erro cometido [Srinivasan et al. 2002]. Para isso, o erro é computado na saída e distribuído para trás em todas as camadas da rede neural, e assim

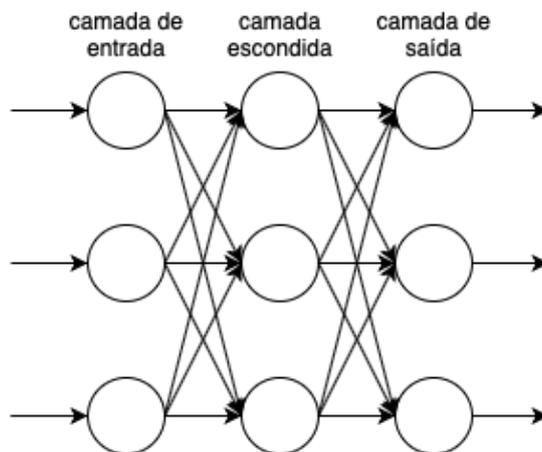


Figura 4.3. Representação de uma rede neural alimentada para frente com apenas três camadas

ocorrem os ajustes [Haykin 2008].

4.3.3. VFDT — Very Fast Decision Tree

O algoritmo foi projetado para lidar com grandes conjuntos e fluxos de dados e reduz bastante o tempo de treinamento das árvores de decisão [Domingos and Hulten 2000]. Então, é preciso processar cada amostra rapidamente, sem necessariamente armazená-las. Dessa maneira, seguindo o conceito de *data streaming*, procura-se elaborar árvores de decisões muito complexas com um custo computacional que não seja muito alto. Para a redução do custo computacional, é preciso encontrar o melhor atributo de teste para um determinado nó. Isso pode ser feito apenas com um pequeno subconjunto das amostras de treinamento que passam através deste nó. Assim, diante de um *data streaming*, as amostras iniciais serão utilizadas para escolher o teste do nó raiz. Quando o atributo para este nó for escolhido, as amostras seguintes serão passadas para as folhas correspondentes e utilizadas para escolher os atributos apropriados. Depois disso, o algoritmo continua prosseguindo recursivamente.

4.3.4. FIMT-DD — Fast Incremental Model Trees With Drift Detection

O algoritmo FIMT-DD para mineração em fluxo de dados e construção de modelos de árvores de regressão ocorre de uma maneira incremental e com divisões nessas árvores baseadas em cada atributo considerado [Wibisono et al. 2016]. Na Figura 4.4 temos um modelo de árvore gerado a partir de um *data streaming* de gás líquido [Osojnik et al. 2016]. O par u, y é correspondente às medidas de entrada e saída do sistema, respectivamente, para cada passo de tempo k .

Os nós de um modelo de árvore gerada são formados por testes em variáveis independentes, e as folhas contém as predições, análogo a como acontece com as árvores induzidas no aprendizado em lote e no algoritmo VFDT. O modelo precisa estar em monitoramento constante e atualizar toda vez que for detectada uma modificação. Se a mudança for verificada, a estratégia de adaptação será executada.

Os dados chegam em sequências de um determinado tamanho, e o algoritmo sim-

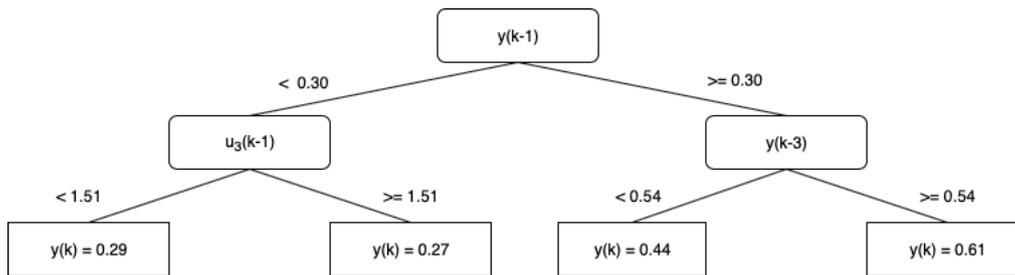


Figura 4.4. Exemplo de FIMT-DD no domínio de um separador de gás-líquido

plesmente inicia com uma folha em branco após a leitura dessas amostras. O algoritmo então, procura encontrar a divisão ótima para cada atributo e irá ranqueá-lo segundo uma métrica de avaliação. Feito isto, o FIMT-DD dividirá o atributo considerado com base no melhor atributo, de acordo com esta avaliação, gerando duas novas folhas, uma para cada ramo da divisão. Todo este processo que ocorre é estável e o risco de *overfitting* é baixo [Ikonomovska et al. 2011].

4.3.5. Perceptron Online

A primeira rede neural desenvolvida que consistiu em um algoritmo de aprendizado supervisionado, foi o *perceptron* [Rosenblatt 1958]. A sua arquitetura pode ser visualizada na Figura 6. O *perceptron* funciona como uma rede neural artificial básica, podendo receber diversos valores de entrada (i_1, i_2, \dots, i_k) e produzindo uma saída o através do produto com os pesos (g_1, g_2, \dots, g_k). Esta saída produzida é única e o viés b é adicionado para permitir que o classificador mude seu limite de decisão para a direita ou esquerda, por exemplo. No aprendizado *online*, a ideia é basicamente a mesma, seja para classificação ou regressão utilizando um fluxo de dados de entrada.

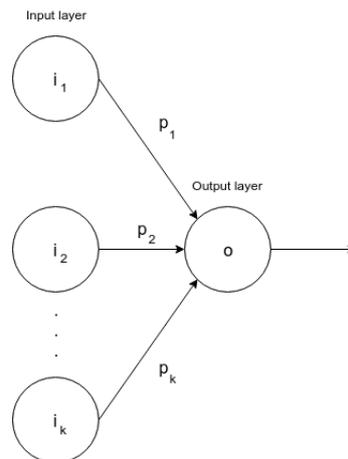


Figura 4.5. Arquitetura da rede neural perceptron

4.4. Metodologia de Avaliação dos Modelos

O conhecimento do domínio a ser pesquisado durante a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina a problemas reais, geralmente é provido pelo conjunto de dados, a

partir do qual a inferência de um modelo preditivo é realizada. Em alguns casos, as próprias características das técnicas existentes e do problema que está sendo solucionado podem ser consideradas para auxiliar na escolha da técnica a ser escolhida sobre um novo conjunto de dados.

Entretanto, diversos algoritmos podem ser considerados candidatos à solução de um dado problema. Mesmo que um único algoritmo seja escolhido, pode ser necessário realizar ajustes em seus parâmetros, o que leva a obtenção de múltiplos modelos para os mesmos dados.

A partir disso, existem diversas métricas de desempenho aplicáveis a problemas tanto de classificação quanto de regressão [Faceli et al. 2011]. Além disso, a ordem de apresentação dos dados é fundamental quando se considera o *stream learning* [Bifet et al. 2018]. Assim, para avaliar algoritmos de aprendizado supervisionados, utiliza-se um framework para avaliação de classificadores e regressores, que engloba:

1. Quais medidas de performances, ou métricas de avaliação, podem ser úteis, e quais são mais indicadas em algumas situações específicas;
2. Quando um conjunto inteiro está disponível para aprendizado em lote, quais técnicas de amostragem são comumente utilizadas para avaliação do poder preditivo dos modelos;
3. Como realizar os testes de hipóteses, para verificação de quais são os melhores algoritmos para um dado problema ou classe de problemas.

O framework aqui apresentado é baseado em [Demšar 2008, Faceli et al. 2011, Japkowicz and Shah 2011a, Bifet et al. 2018].

4.4.1. Métricas de Avaliação

Dado um conjunto de exemplos S , esse conjunto de exemplos deve ser utilizado na fase de treinamento e na fase de teste. Para cada fase, é utilizado um subconjunto desse conjunto de exemplos, os quais são identificados como [Bernardini 2006]:

Conjunto de Treinamento S_{tr} : Esse conjunto é a principal entrada dos algoritmos de aprendizado. É a partir dele que o modelo é construído e, portanto, deve ser um subconjunto representativo do conjunto original, ou seja, que tenha uma distribuição o mais semelhante possível do conjunto original, para que seja realizada inferência sobre S .

Conjunto de Teste S_{teste} : Esse conjunto é utilizado para avaliar o modelo construído. O conjunto de teste não deve ser apresentado ao algoritmo de aprendizado durante a construção do modelo. Idealmente, esse conjunto não deve ter exemplos em comum com o conjunto de treinamento.

4.4.1.1. Métricas para Problemas de Classificação

Utilizando o classificador (hipótese) construído \mathbf{h} e as decisões tomadas pelo classificador no conjunto de teste $S_{teste} = \{(\mathbf{x}_1, y_1), \dots, (\mathbf{x}_N, y_N)\}$, constrói-se uma matriz bi-dimensional, cujas dimensões são denominadas *classe verdadeira* e *classe predita*. A essa matriz dá-se o nome de matriz de confusão, mostrada na Tabela 4.2 para N_{Cl} classes. Cada elemento $M(C_i, C_j)$ da matriz, definido pela Equação 1, indica o número de exemplos que pertencem à classe C_i e foram preditos como pertencentes à classe C_j . Nessa equação, $\|h(\mathbf{x}) = C_j\|$ é igual a 1 se a igualdade $h(\mathbf{x}) = C_j$ for verdadeira (o classificador acertou a classificação do exemplo \mathbf{x}), ou é igual a 0 se a igualdade for falsa (o classificador errou a classificação do exemplo \mathbf{x}). O número de predições corretas para cada classe são os apresentados na diagonal principal da matriz de confusão, ou seja, os valores associados a $M(C_i, C_i)$. Todos os outros elementos da matriz $M(C_i, C_j)$, para $i \neq j$, são referentes ao número de erros cometidos em cada classe.

Tabela 4.2. Matriz de confusão

Classe Verdadeira	Predita C_1	Predita C_2	...	Predita $C_{N_{Cl}}$
C_1	$M(C_1, C_1)$	$M(C_1, C_2)$...	$M(C_1, C_{N_{Cl}})$
C_2	$M(C_2, C_1)$	$M(C_2, C_2)$...	$M(C_2, C_{N_{Cl}})$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
$C_{N_{Cl}}$	$M(C_{N_{Cl}}, C_1)$	$M(C_{N_{Cl}}, C_2)$...	$M(C_{N_{Cl}}, C_{N_{Cl}})$

$$M(C_i, C_j) = \sum_{\forall(\mathbf{x}, y) \in S | y=C_i} \|h(\mathbf{x}) = C_j\| \quad (1)$$

Para simplificar, considere um problema de classificação com duas classes, geralmente rotulados como sendo exemplos positivos “+” e negativos “-” de um conceito. Na Tabela 4.3 é ilustrada a matriz de confusão para problemas com somente dois valores no atributo classe, onde T_P é o número de exemplos positivos classificados corretamente, F_N é o número de exemplos positivos classificados erroneamente, F_P é o número de exemplos negativos classificados erroneamente, e T_N é o número de exemplos negativos classificados corretamente, de um total de $N = (T_P + F_N + F_P + T_N)$ exemplos.

Tabela 4.3. Matriz de confusão para problemas de classificação com somente duas classes

Classe Verdadeira	Predita +	Predita -
+	Verdadeiros Positivos T_P	Falsos Negativos F_N
-	Falsos Positivos F_P	Verdadeiros Negativos T_N

A acurácia e a taxa de erro, definidas pelas Equações 2 e 3 respectivamente, são duas das medidas mais utilizadas para avaliar a performance de uma hipótese. Outras

medidas que também podem ser utilizadas para avaliar um classificador são sensibilidade ou *recall* (Equação 4), precisão (Equação 5) e F_1 (Equação 6). Deve ser observado que, para serem utilizadas tais medidas em problemas com mais de dois valores para o atributo classe, o processo que se utiliza geralmente é tornar cada classe como sendo a classe positiva e a união de todas as outras é considerada a classe negativa. Entretanto, para facilitar a utilização das medidas de *recall* e precisão, foram utilizadas neste trabalho as Equações 7 e 8, respectivamente.

$$Acc(\mathbf{h}) = \frac{T_P + T_N}{N} \quad (2)$$

$$Err(\mathbf{h}) = 1 - Acc(\mathbf{h}) \quad (3)$$

$$Recall(\mathbf{h}) = \frac{T_P}{T_P + F_N} \quad (4)$$

$$Prec(\mathbf{h}) = \frac{T_P}{T_P + F_P} \quad (5)$$

$$F_1(\mathbf{h}) = \frac{2 \times Prec(\mathbf{h}) \times Recall(\mathbf{h})}{Prec(\mathbf{h}) + Recall(\mathbf{h})} \quad (6)$$

$$Recall(\mathbf{h}) = \frac{\sum_{v=1}^{N_{Cl}} T_{P_{C_v}}}{\sum_{v=1}^{N_{Cl}} T_{P_{C_v}} + F_{N_{C_v}}} \quad (7)$$

$$Prec(\mathbf{h}) = \frac{\sum_{v=1}^{N_{Cl}} T_{P_{C_v}}}{\sum_{v=1}^{N_{Cl}} T_{P_{C_v}} + F_{P_{C_v}}} \quad (8)$$

4.4.1.2. Métricas para Problemas de Regressão

No caso de problemas de regressão, para um conjunto de N exemplos, ou objetos no conjunto de teste S_{teste} , o erro da hipótese \mathbf{h} pode ser calculado pela distância entre o valor y_i conhecido e aquele predito pelo modelo, $\mathbf{h}(x_i)$, para cada exemplo $x_i \in S_{teste}$. As medidas de erro mais conhecidas são (i) Erro Quadrático Médio, ou MSE (*Mean Squared Error*), definido pela Eq. 9; Erro Médio Absoluto, ou MAE (*Mean Absolute Error*), definido pela Eq. 10; e Raiz Quadrada do Erro Médio Absoluto, ou RMSE (Root Mean Squared Error), definido pela Eq. 11. As métricas MSE, MAE e RMSE devem sempre apresentar valores não negativos. Quanto menor o valor dessas métricas, melhor o modelo será.

¹A definição das medidas *Recall* e *Prec* para classes com mais de dois valores foi baseada na definição utilizada no KDD-Cup de 2005 — <http://www.acm.org/sigs/sigkdd/kdd2005/kddcup.html>.

$$MSE(\mathbf{h}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \mathbf{h}(x_i))^2 \quad (9)$$

$$MAE(\mathbf{h}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \mathbf{h}(x_i)| \quad (10)$$

$$RMSE(\mathbf{h}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \mathbf{h}(x_i))^2} \quad (11)$$

No entanto, quando o atributo de interesse não está no intervalo $[0, 1]$, é comum utilizar métricas normalizadas, dentre as quais se destacam a Raiz Quadrada do Erro Relativo, ou RRSE (*Root Relative Squared Error*), definida pela Eq. 12; e Porcentagem do Erro Médio Absoluto, ou MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), definida pela Eq. 13. Em ambas as equações, \bar{y} é dado pela Eq. 14.

$$RRSE(\mathbf{h}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \mathbf{h}(x_i))^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (12)$$

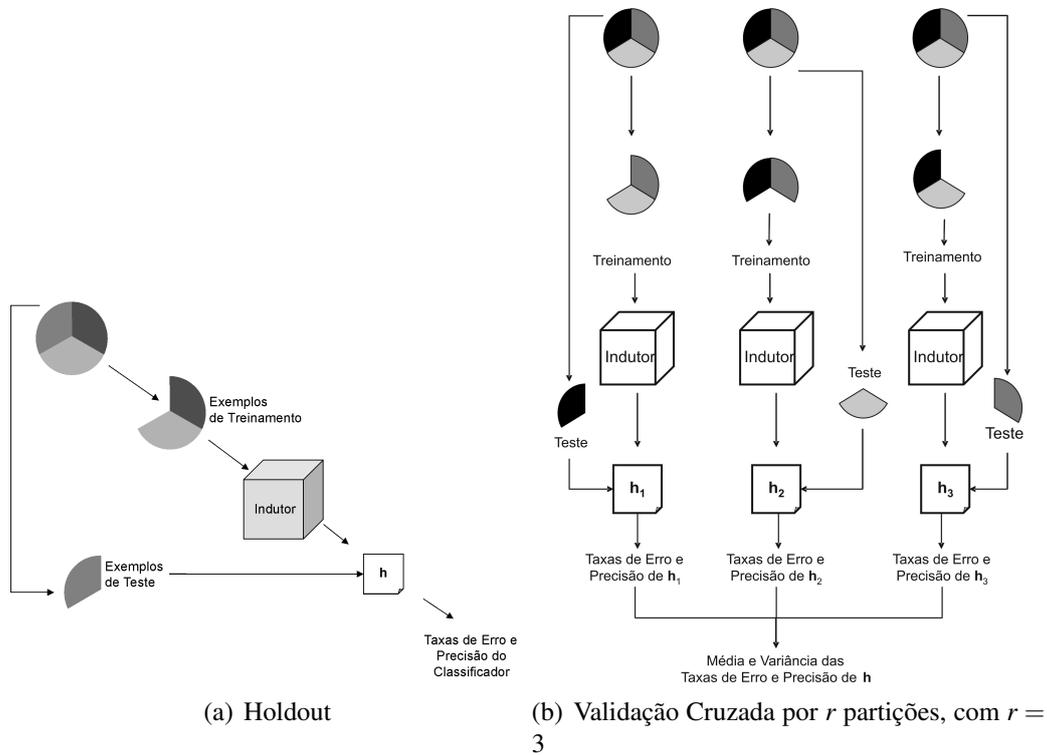
$$MAPE(\mathbf{h}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|y_i - \mathbf{h}(x_i)|}{|y_i - \bar{y}|} \quad (13)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (14)$$

4.4.2. Técnicas de Amostragem

Em muitos problemas nos quais se deseja aplicar algoritmos de aprendizado de máquina, obtém-se um conjunto S com N objetos, conforme dito anteriormente, o qual deve ser empregado na indução do modelo, e também na sua avaliação. O desempenho preditivo do modelo precisa então ser calculado, por meio da taxa de acerto ou de erro, no caso de classificação, ou por meio de outras métricas para classificação ou para regressão, descritas anteriormente (Seção 4.4.1). No entanto, calcular o desempenho nos mesmos objetos empregados em seu treinamento leva a estimativas otimistas, uma vez que todos os algoritmos de aprendizado de máquina tentam melhorar, de alguma forma, o seu desempenho preditivo nesses objetos durante a fase indutiva. Portanto, deve-se utilizar métodos de amostragem para obter estimativas de desempenho preditivo mais confiáveis, definindo subconjuntos de treinamento e de teste. Os dados de treinamento devem ser empregados na indução e no ajuste do modelo, enquanto os exemplos de testes simulam a apresentação de objetos novos ao modelo, os quais não foram vistos em sua indução. Essa divisão entre treinamento e teste visa assegurar que as medidas de desempenho sejam aplicadas em um conjunto de exemplos diferente daquele utilizado no treinamento (aprendizado). Na Figura 4.6, é possível visualizar duas das principais técnicas de amostragem existentes, descritas nas subseções a seguir — o Holdout e o método de Validação Cruzada por r partições, mais conhecido por *K-Fold Cross-Validation*.

Figura 4.6. Técnicas de amostragem [Bernardini 2006]



4.4.2.1. Holdout

Nesse método, um conjunto separado de instâncias é reservado para avaliar o desempenho do classificador. Este conjunto é diferente do conjunto de treinamento usado pelo algoritmo de aprendizado. Divide-se então o conjunto de dados S em uma proporção de p para treinamento e $1 - p$ para teste, como mostrado na Figura 4.7(a). Normalmente, emprega-se $p = \frac{2}{3}$. O desempenho do classificador em um conjunto de testes separado é geralmente um bom indicador de seu desempenho de generalização. Garantias formais sobre o desempenho do conjunto de testes em termos de intervalos de confiança teóricos podem ser fornecidas neste caso [Faceli et al. 2011].

Uma das maiores vantagens de uma estimativa de erro utilizando Holdout reside na sua independência do conjunto de treinamento. Como a estimativa é obtida em um conjunto de testes em separado, algumas generalizações concretas nessa estimativa podem ser obtidas. Além disso, há outra diferença crucial entre uma estimativa de erro de validação e uma estimativa reamostrada. Uma estimativa de validação pertence à saída do classificador pelo algoritmo de aprendizado, dado os dados de treinamento. Portanto, qualquer generalização feita sobre essa estimativa se aplicará essencialmente a qualquer classificador com o desempenho determinado do conjunto de testes.

4.4.2.2. Validação Cruzada

No método de validação cruzada por r partições, o conjunto de exemplos é dividido em r subconjuntos de tamanho aproximadamente igual. Os objetos de $r - 1$ partições são utilizados no treinamento de um modelo, o qual é então testado na partição restante. Esse processo é repetido r vezes, utilizando em cada ciclo uma partição diferente para teste. O desempenho final do modelo é dado pela média dos desempenhos observados sobre cada subconjunto de teste. Este processo é ilustrado pela Figura 4.7(b), empregando-se $r = 3$.

Uma variação desse método aplicável especificamente para problemas de classificação é o r -fold cross-validation estratificado, que mantém, em cada partição, a proporção de exemplos de cada classe semelhante à proporção contida no conjunto de dados total. Se, por exemplo, o conjunto de dados original tem 20% dos objetos na classe c_1 e 80% na classe c_2 , cada partição também procura manter essa proporção, apresentando 20% de seus exemplos na classe c_1 e 80% na classe c_2 .

4.4.2.3. Séries Temporais

Uma série temporal é uma série de observações registradas sequencialmente no decorrer do tempo [Wooldridge 2015]. Séries temporais e séries de fluxo de dados têm um tratamento diferenciado, pois o comportamento dos dados pode mudar no decorrer do tempo, como mostrado na Figura 4.7. Nesse caso, como os dados ou observações são registrados ao longo do tempo, o dado em geral possui uma característica que é sua frequência temporal.

Em problemas de regressão, nos quais não há uma ordem nas observações, técnicas de amostragem podem ser utilizadas. No entanto, quando se trata de séries temporais, a ordem dos dados é fundamental. Isso acontece pois uma característica muito importante desse tipo de dados é que as observações vizinhas são dependentes, e o interesse pode estar em analisar e modelar essa dependência. Com isso, algumas considerações devem ser feitas a respeito da amostragem de séries temporais. Em [Mello and Ponti 2018] é apresentada uma discussão aprofundada de como detectar a dependência da série e, caso exista, transformações na série temporal podem ser realizadas. No entanto, essa questão foge do escopo deste capítulo. Assim, discutimos a amostragem das séries temporais considerando as técnicas de holdout e validação cruzada.

No caso da técnica de holdout, na qual o conjunto de dados é dividido em treinamento e teste, tais dados não podem ser divididos de maneira aleatória. Deve-se respeitar a ordem dos dados na divisão dos conjuntos de treinamento e teste, pois não se pode utilizar um dado do futuro para prever dado do passado. No caso da validação cruzada, tal técnica não pode ser aplicada em problemas nos quais se utiliza as séries temporais.

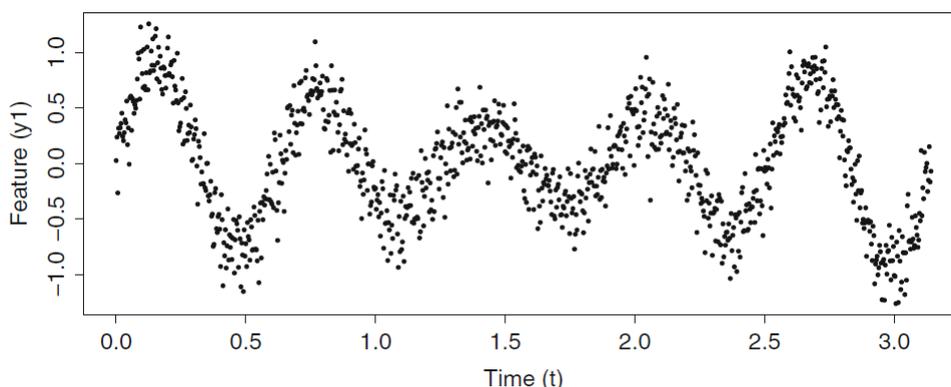


Figura 4.7. Exemplo de uma série temporal com dependência no tempo [Mello and Ponti 2018].

4.4.3. Teste de Hipóteses

Em Aprendizado de Máquina existe uma constatação geral, usualmente conhecida como *Free-Lunch Theorem* [Wolpert 1996], que declara que não existe um modelo universalmente melhor que todos os demais, uma vez que existem modelos que funcionam muito bem para alguns domínios e muito mal para outros. Entretanto, a pergunta que segue a partir desse teorema é como definir se um modelo é de fato melhor que o outro em um certo domínio. Esse mesmo questionamento surge ao se propor um novo método de aprendizado, seja ele genérico ou aplicado a um domínio específico. Para tanto, uma ferramenta comumente utilizada é a análise estatística de significância, realizada por meio de um teste de hipóteses que busca evidências para rejeitar uma suposição. Tal suposição é chamada de *hipótese nula* e usualmente é o oposto daquilo que se deseja comprovar. Por exemplo, se o que se quer provar é que um método A é igual a um método B , em termos de desempenho, então a hipótese nula é que A é igual a B . Para aplicar um teste estatístico, é necessário definir uma amostra de comparação. No caso de métodos de Aprendizado de Máquina, a amostra consiste nos resultados preditivos obtidos a partir do conjunto de teste, de acordo com alguma medida de desempenho. Caso o método de avaliação utilizado seja o *k-fold cross validation* e a medida de desempenho seja a acurácia, por exemplo, as amostras serão compostas pela acurácia obtida em cada uma das partições (*folds*) de teste.

Diversos testes estatísticos podem ser utilizados para prover mais evidências para a decisão de aceitar ou não uma hipótese, porém nem todos são pertinentes para todas as situações. Para decidir qual deles usar, primeiro deve-se observar se a comparação está sendo feita entre dois métodos em um mesmo domínio, entre dois métodos para múltiplos domínios, ou entre diversos métodos e diversos domínios [Japkowicz and Shah 2011b]. A seguir, descrevemos brevemente possibilidades de testes estatísticos para cada um dos casos elicitados.

Teste de hipóteses para comparar dois métodos em um mesmo domínio Para o primeiro caso, em que precisamos verificar se um método é melhor que o outro em um domínio, o mais comum é aplicar a estatística paramétrica de teste t . Por ser paramétrico, para utilizar o t-test alguns requerimentos devem ser respeitados: que as amostras seguem

a distribuição normal ou que seu tamanho é maior que 30; que a amostra é representativa da população; e que ambas as amostras (as amostras oriundas dos dois métodos) possuem variância igual. O t-test tem como objetivo verificar se a diferença nas médias e desvio padrão da métrica de desempenho de duas amostras correspondentes são iguais (p.ex., a acurácia média para cada conjunto de teste, considerando o mesmo conjunto para os dois métodos que se deseja comparar). Nesse caso, a hipótese nula é que a diferença entre as médias é zero. Para tanto, calcula-se a estatística t definida por [15](#)

$$t = \frac{\bar{D} - \mu_D}{\sqrt{\frac{s_d^2}{n}}} \quad (15)$$

onde \bar{D} é a diferença entre as médias dos valores de medida de desempenho observadas em n amostras (p.ex., as acurácias computadas para os n folds) e s_d^2 é a variância das diferenças amostrais. A hipótese nula declara que μ_D é zero e ela pode ser rejeitada com nível de significância 0.001 e $n - 1$ graus de liberdade se o valor de t for maior que uma constante α observada na tabela *t-student*. Por exemplo, com 9 graus de liberdade (correspondente a 10 folds), a hipótese nula pode ser rejeitada se t for maior que 4,781.

Um teste estatístico não paramétrico alternativo, ainda para o caso (1), é o teste de *McNemar*, que, por ser não-paramétrico, não assume nenhuma suposição sobre a natureza da distribuição das amostras. Diferente do teste t , aqui, observa-se como os dois métodos se comportam em termos de classificação discordante dos exemplos, ou seja, considerando (ci) o número de exemplos classificados incorretamente pelo primeiro método e incorretamente pelo segundo método e (cii) o número de exemplos classificados incorretamente pelo segundo método, mas classificados corretamente pelo primeiro método. Então, é aplicada a estatística χ^2 de McNemar computada como na equação [16](#).

$$\chi_{mcnemar}^2 = \frac{(|ci - cii| - 1)^2}{ci + cii} \quad (16)$$

Caso $ci + c2 \geq 20$ e $\chi_{mcnemar}^2$ exceda a estatística $\chi_{1,1-\alpha}^2$, então podemos rejeitar a hipótese nula com confiança $1 - \alpha$. Caso $ci + cii < 20$, então o teste de McNemar não pode ser utilizado. Observe, no entanto que, como o teste de McNemar é baseado em comparações de erros de classificação, ele somente é passível de ser utilizado com dados categóricos (problemas de classificação), mas não em amostras contínuas (problemas de regressão).

Teste de hipótese para comparar dois métodos em vários domínios No segundo caso, quando queremos observar a diferença entre dois métodos em múltiplos domínios, costuma-se utilizar o teste não paramétrico de *Wilcoxon*. Para aplicar tal teste, primeiro é necessário calcular a diferença absoluta entre os valores observados na métrica de desempenho para o par de métodos, considerando cada domínio. Em seguida, tais valores de diferença são ordenados, onde o menor número de ordem (1) contempla a menor diferença que ainda seja maior que 1 (valores idênticos são descartados). Em seguida, os números de ordem recebem o sinal da diferença, para que, finalmente os valores positivos e negativos sejam somados entre si. O teste de Wilcoxon compara a soma dos números positivos com a soma dos números negativos, seleciona o menor deles (M), e o compara

com uma constante V_α . Se V_α for maior ou igual que M , então a hipótese nula pode ser rejeitada com confiança α .

Como esse teste demanda uma certa quantidade de passos, consideraremos um exemplo, para seu melhor entendimento. Suponha, então, que tenhamos cinco domínios $D1, D2, D3, D4$, e $D5$, e estamos induzindo modelos a partir dos métodos $M1$ e $M2$. A Tabela 4.4 apresenta os resultados obtidos em uma medida arbitrária pelos dois métodos para cada domínio, as diferenças entre as medidas, e a ordenação das diferenças. A partir da tabela, temos a soma de 11 para os valores positivos e 4 para os valores negativos, logo o valor mínimo é 4. Considerando 3 graus de liberdade (número de domínios - 1) e $\alpha = 0,05$, temos que $V_\alpha = 1$. Como $4 > 1$, não podemos rejeitar a hipótese que o desempenho de $M1$ é igual ao desempenho de $M2$.

Tabela 4.4. Exemplo para o teste de hipótese de Wilcoxon, considerando três domínios e dois métodos

	$M1$	$M2$	$ M1 - M2 $	$M1 - M2$	Ordem	\pm Ordem
D1	0,75	0,67	0,12	0,12	1	+2
D2	0,68	0,50	0,18	0,18	3	+4
D3	0,55	0,70	0,15	-0,15	2	-3
D4	0,49	0,53	0,04	-0,04	2	-1
D5	0,80	0,50	0,30	0,30	5	+5

Teste de hipótese para comparar diversos métodos em diversos domínios Neste terceiro caso, queremos observar se existe diferença significativa entre os resultados obtidos por métodos distintos, considerando múltiplos domínios. Assim como no caso anterior, nos focamos aqui em um teste não paramétrico, chamado de teste de *Friedman*, que é aplicável ao caso em questão. A hipótese nula é de que todos os métodos alcançam o mesmo desempenho e rejeitar essa hipótese significa que ao menos um par de métodos podem ser ditos como estatisticamente distintos, em termos de desempenho. Para computar a estatística de Friedman, os valores da métrica de desempenho são observados e, para cada domínio, os métodos são ordenados de acordo com os resultados obtidos. Assim, para cada domínio, o método com o melhor desempenho naquele domínio recebe um valor de 1, o método com o segundo melhor desempenho recebe o valor 2, e assim por diante. Os valores de ordenação são em seguida somados para cada método e tal soma é utilizada para computar a estatística de Friedman, como na Eq. 17, onde m é o número de métodos sendo comparados, n é quantidade de domínios e $soma_j$ é a soma dos valores de ordenação para cada método j .

$$\chi_F^2 = \left[\frac{12}{n \times m \times (m + 1)} \times \sum_{j=1}^m (soma_j)^2 \right] - 3 \times n \times (m + 1) \quad (17)$$

O valor da estatística de Friedman é então comparado a um valor crítico de acordo com a tabela de valores superiores de Friedman, observando um nível de significância. Se o valor computado for maior que o valor crítico, a hipótese nula pode ser rejeitada.

É importante notar que, caso a hipótese nula seja rejeitada, é ainda necessário identificar qual o par de classificadores que apresenta diferença estatisticamente significativa.

Vale ressaltar que alguns pesquisadores defendem um uso criterioso de testes estatísticos por achar que eles sobrevalorizam resultados quantitativos, em detrimento de análises qualitativas [Demšar 2008], ou ainda devido à falta de uma análise mais cuidadosa de medidas estatísticas adicionais, como o poder do teste e o tamanho do efeito [Neumann et al. 2018].

Teste de hipótese para comparar em um mesmo domínio diversos métodos Por último, temos a comparação na qual procuramos verificar se diversos métodos distintos (três ou mais) possuem origem em um mesmo domínio. Mais uma vez temos um teste não paramétrico, conhecido pelo nome de seus autores, o teste de *Kruskal – Wallis*, um teste que resumidamente seria uma extensão do *Wilcoxon – Mann – Whitney*. A hipótese nula ou H_0 é de que todos os métodos pertencem a uma mesma distribuição, sejam as amostras do mesmo tamanho ou não. Rejeitar H_0 significa que um método é estocasticamente dominante sobre outro. Porém, não verifica-se pelo teste onde ocorre esta dominância, independente do número de pares considerados. Também podemos utilizar a hipótese alternativa ou H_a , na qual é possível demonstrar que a mediana da população de um grupo de amostras é diferente da mediana da população de ao menos outro grupo de amostras. Na Eq. [18], devemos ignorar a que grupo cada dado pertence e classificar os dados de 1 até N e atribuir quaisquer valores que sejam repetidos a média dos *ranks* que eles teriam recebido, caso não fossem repetidos. O número total de observações incluindo todos os grupos é dado por N , n_i é o número de observações do grupo i , \bar{r}_i é a classificação média de todas as observações no grupo i (Eq. [19]), \bar{r} é a média de todos os r_{ij} (Eq. [20]) e finalizando, r_{ij} é a classificação de observação j do grupo i .

$$H = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (\bar{r}_i - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (r_{ij} - \bar{r})^2} \quad (18)$$

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}}{n_i} \quad (19)$$

$$\bar{r} = \frac{1}{2}(N + 1) \quad (20)$$

4.5. Análise Experimental em Conjuntos de Dados para Problemas de Predição e Previsão no Contexto de Cidades Inteligentes

O objetivo desta seção é apresentar três análises experimentais que envolvem a construção de modelos em lote e online em problemas de cidades. São utilizados conjuntos de dados reais, nos cenários de previsão de demanda e mobilidade urbana, para mostrar o funcionamento do framework de avaliação apresentado.

4.5.1. Previsão de Tarifas de Táxi

Com a tecnologia impulsionando cada vez mais o transporte alternativo, uma área em Nova York que está ficando para trás é a sua icônica Yellow Cab. Com o Uber, o Lyft, o Via e outros aplicativos que definem o ritmo do passeio, a Yellow Cab se uniu ao Google para se tornar mais centrada em dados, solicitando a previsão do valor estimado da tarifa usando alguns recursos para determinar o valor esperado da tarifa ¹.

À primeira vista, pode parecer que depende simplesmente da distância percorrida. No entanto, os taxistas em Nova York cobram valores variados por outros fatores, como passageiros adicionais ou pagamento por cartão de crédito em vez de dinheiro.

Nesse sentido, prever o valor de uma corrida é importante no contexto da mobilidade urbana. Para mostrar o uso de aprendizado de máquina para este problema, utilizamos a um conjunto de dados da cidade de Nova Iorque ². Essa base foi tratada e pré-processada. A fim de reduzir o custo computacional, optou-se por utilizar apenas uma amostra desses dados (15485 registros, ou exemplos). Na Tabela 4.5 é possível ver um recorte do conjunto de dados utilizado.

Tabela 4.5. Recorte do dataset de previsão de tarifa de táxi

vendor id	rate code	passenger count	trip time (in secs)	trip distance	payment type	fare amount
CMT	1	2	1370	9.2	CSH	29.5
CMT	1	1	963	7.7	CSH	23
CMT	1	1	311	0.8	CSH	5.5

4.5.2. Previsão de Demanda de Energia Elétrica

Com uma crescente em direção aos padrões de consumo de energia, uma tarefa bastante desafiadora para os pesquisadores de Aprendizado de Máquina tem sido criar uma solução de modelagem para previsão de consumo de eletricidade para usuários individuais. Este tipo de problema é contextualizado no ambiente de cidades inteligentes, por isso será utilizado neste trabalho. Porém, o foco não será no desenvolvimento de novas técnicas, mas sim, saber avaliá-las do ponto de vista dos algoritmos de aprendizado utilizados para este tipo de problema.

O conjunto de dados escolhido nesse domínio [Kelly and Knottenbelt 2014], é de acesso público e contém informações sobre as potências de energia elétricas consumidas de cada canal (aparelhos eletrodomésticos) e os intervalos de tempo estão disponíveis em diversos arquivos que estão separados e são relativos à cada residência contida no conjunto. Nesse conjunto, há dados de 5 residências, com um total de 54 aparelhos eletrodomésticos conectados. Porém, também de forma a simplificar o custo computacional, optou-se por selecionar apenas uma faixa de tempo e apenas um canal (um eletrodoméstico), o que totalizou 14.172 exemplos. Na Tabela 4.6, é possível ver um recorte do conjunto de dado utilizado. Nessa tabela, o atributo Timestamp é relativo ao registro de

¹<https://nycdatascience.com/blog/student-works/predicting-nyc-yellow-cab-taxi-fare/>

²<https://www1.nyc.gov/site/tlc/about/tlc-trip-record-data.page>

data e hora do sistema operacional unix. Já o atributo Potência se refere à potência do eletrodoméstico em um determinado instante de tempo, dada em Watts.

Tabela 4.6. Recorte do dataset de consumo de energia

Timestamp	Potência (W)
1364796004	239
1364796010	239

4.5.3. Classificação de Comportamento de Tráfego Urbano na cidade de São Paulo

É de conhecimento comum que o tráfego de veículos na cidade de São Paulo é classificado como um dos piores do mundo, agravado pela grande dependência da malha rodoviária no Brasil. Assim, é de grande importância desenvolver soluções que consigam auxiliar o planejamento e roteamento de veículos. Com esse foco, foi utilizada uma base de dados da Universidade da Califórnia [Dheeru and Karra Taniskidou 2017].

Na base de dados supracitada, o atributo de classe foi definido como um valor real. Porém, para ilustrar um caso envolvendo um problema de classificação binária, que ocorre frequentemente em problemas decisórios reais, tal atributo foi discretizado em duas classes, usando o método de discretização em grupos $k - bins$ [Dougherty et al. 1995]. Assim, o valor de 0 indica baixa desaceleração, enquanto o valor de 1 indica alta desaceleração.

Além do atributo de classe, outros atributos foram definidos, considerando intervalos de 30 minutos. Alguns deles são: a quantidade de ônibus imobilizados; a quantidade de caminhões quebrados, quantidade de acidentes com vítimas, quantidade de incêndios, falta de luz (o que pode atrapalhar os semáforos), manifestações, alagamentos, semáforos com problemas, entre outros, totalizando 18 atributos (incluindo o de classe). A Tabela 4.7 apresenta um recorte da base de dados utilizada, onde tanto linhas de exemplos como colunas de atributos foram omitidas, para melhor visualização. É interessante notar que pode ocorrer *slowdown* não pelo acontecimento de algum evento, mas apenas por ser horário de pico, como pode ser observado no segundo exemplo da tabela.

Tabela 4.7. Recorte em linhas e colunas da base de dados de Classificação de Comportamento do Tráfego Urbano na Cidade de São Paulo

Hour	Immob_bus	Broken_Truck	Fire	Flooding	Manifest.	...	Slowdown
7:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0
			...				
9:30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	1
			...				
10:30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0

4.5.4. Ferramentas Utilizadas

Escolhemos o WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) [Hall et al. 2009] como ferramenta para construção dos modelos para classificação (classificador) e regressão (regressor). Tal ferramenta foi escolhida devido ao fato de permitir aos pesquisadores fácil acesso às técnicas mais avançadas em aprendizado de máquina. Além disso, o

WEKA não só é uma caixa de ferramentas contendo a implementação de diversos algoritmos de aprendizado consolidados na literatura, mas também é um framework que permite que pesquisadores e profissionais possam implementar novos algoritmos sem ter que se preocupar com a infraestrutura de suporte para manipulação de dados e avaliação do esquema. Além disso, a ferramenta possibilita a extração das principais métricas de avaliação dos algoritmos, descritas na Seção [4.4.1](#).

Para o aprendizado online ou *stream learning*, escolhemos uma ferramenta também desenvolvida pelos pesquisadores da Universidade de Waikato, o MOA (Massive Online Analytics) [\[Bifet et al. 2011\]](#). O MOA é um ambiente de software para implementar algoritmos e executar experimentos para aprendizado online a partir de fluxos de dados em evolução. O MOA foi projetado para lidar com os problemas desafiadores de ampliar a implementação de algoritmos de última geração para tamanhos de conjuntos de dados reais e tornar os algoritmos comparáveis nas configurações de fluxo de dados de referência. Ele contém uma coleção de algoritmos offline e online para classificação, agrupamento e mineração de gráficos, bem como ferramentas para avaliação. Para pesquisadores, a estrutura fornece insights sobre vantagens e desvantagens de diferentes abordagens e permite criação de conjuntos de dados de streaming de referência por meio de configurações armazenadas, compartilhadas e repetidas para os feeds de dados. Os profissionais podem usar a estrutura para comparar facilmente os algoritmos e aplicá-los aos conjuntos de dados e configurações do mundo real. O MOA suporta interação bidirecional com o WEKA, o Waikato Environment for Knowledge Analysis. Além de fornecer algoritmos e medidas para avaliação e comparação, o MOA é facilmente extensível com novas contribuições e permite a criação de cenários de referência.

4.5.5. Problemas Abordados e Resultados Obtidos

4.5.5.1. Aprendizado em Lote

Como visto anteriormente, utilizamos duas bases de dados para problemas de regressão — demanda de táxi (S_{DTaxi}) e consumo de energia ($S_{CEnergia}$) — e uma base de dados de um problema de classificação — classificação de comportamento de tráfego ($S_{CTrafego}$). O objetivo, nesta seção, é observar o comportamento de algumas métricas para cada conjunto de dados utilizando os algoritmos de aprendizado em lote. Utilizamos, no Weka, os algoritmos M5P e M5 Rules para os conjuntos de dados S_{DTaxi} e $S_{CEnergia}$ (regressão), e os algoritmos MLP e J48 para o conjunto de dados $S_{CTrafego}$. Como o objetivo aqui é ilustrar como se realiza a avaliação para cada domínio em específico, os resultados não são comparados entre os domínios.

Para a amostragem da base de dados, escolhemos a validação cruzada, conhecida como *k-fold*, com $k=10$, para o conjunto de dados de classificação e para o conjunto de dados de demanda de táxi. A técnica Holdout foi utilizada para o conjunto de dados de energia, respeitando a ordem de apresentação dos dados na divisão entre conjunto de treinamento e teste.

Resultados para o conjunto S_{DTaxi} : Carregamos o conjunto S_{DTaxi} , com 15485 instâncias, no WEKA, e executamos os algoritmos M5P e M5 Rules, uma implementação de árvores de regressão no Weka, utilizando os parâmetros *default* dos algoritmos.

O atributo utilizado para ser predito é *fare amount*. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 4.8. Pode-se observar, nesses resultados, que os erros relativos estão bem baixos. Nesse caso, o algoritmo M5 Rules apresentou os melhores resultados para metade das métricas. É interessante observar que os resultados das métricas normalizadas são mais fáceis de serem analisadas, pois o atributo *fare amount* não foi normalizado, e seu domínio é o intervalo numérico [2.5, 175]. No geral, é possível dizer que o modelo em questão obteve resultados satisfatórios, visto que suas métricas de avaliação estão baixas. No entanto, isso é esperado, já que para este problema, os dados estavam muito bem estruturados e seus atributos faziam sentido para a tentativa de predição de uma tarifa de táxi.

Tabela 4.8. Valores das métricas para o conjunto de dados S_{DTaxi}

Métrica	M5P	M5 Rules
<i>MAPE</i>	5,05%	4,80%
<i>MAE</i>	0,566	0,541
<i>RMSE</i>	2,76	2,81
<i>RRSE</i>	28,32%	28,80%

Resultados para o conjunto $S_{CEnergia}$: Carregamos o conjunto de dados $S_{CEnergia}$, com 14.173 instâncias, no WEKA e executado, usando a mesma técnica de amostragem e o mesmo algoritmo de regressão. O atributo a ser predito é o *potência*. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 4.9. Pode-se observar, nesses resultados, que os erros relativos também estão altos, porém menores que para o conjunto de dados anterior. Nesse caso, o algoritmo de árvore de regressão também apresentou os melhores resultados para todas as métricas. É interessante observar que os resultados das métricas normalizadas são mais fáceis de serem analisadas, pois o atributo *hour* não foi normalizado, e seu domínio é o intervalo numérico [163, 2642]. No geral, é possível dizer que o modelo em questão obteve resultados razoavelmente satisfatórios, visto que suas métricas de avaliação estão relativamente baixas. No entanto, outras possibilidades de modelagem do problema ainda podem ser consideradas. Além disso, técnicas de construção de atributos a partir dos atributos disponibilizados podem ser utilizadas, já que somente a hora da leitura foi utilizada como atributo de entrada.

Tabela 4.9. Valores das métricas para o conjunto de dados $S_{CEnergia}$

Métrica	M5P	M5 Rules
<i>MAPE</i>	3,71%	5,04%
<i>MAE</i>	12,315	14,9026
<i>RMSE</i>	41,3821	46,8329
<i>RRSE</i>	23,2402%	26,3014%

Resultados para o conjunto $S_{CTrafego}$: Para o problema de classificação de desaceleração (comportamento) de tráfego urbano, foi utilizado o procedimento de validação cruzada estratificada com 10 folds, e o software Weka. Existem 67 exemplos da classe 0 e 68 exemplos da classe 1, totalizando 135 exemplos. Tal divisão favorece a utilização

Tabela 4.10. Valores preditivos médios obtidos a partir da execução do algoritmo J48 para o problema de classificação de tráfego urbano

Métrica	Valor Médio Pesado
Acurácia	70,37 %
Precisão	0,707
Sensitividade	0,704
F-measure	0,703
AUC ROC	0,735

Tabela 4.11. Matriz de confusão obtida a partir do algoritmo J48 para o problema de classificação de comportamento de tráfego urbano

0	1	<- classificado como
51	16	0
24	44	1

de técnicas clássicas, sem termos que abordar métodos para lidar com problemas de desbalanceamento de classes. Aqui também são utilizadas variações dos mesmos métodos apresentados anteriormente: J48 (algoritmo para indução de árvores de decisão) e MLP (algoritmo para indução de rede neural com múltiplas camadas, do inglês, *multi-layer perceptron*), com os parâmetros padrão disponibilizados pelo software Weka. Apesar de serem métodos tradicionais e comumente utilizados, sua escolha favorece a abordagem de problemas tanto de classificação quanto de regressão.

A Tabela 4.10 apresenta os resultados preditivos médios obtidos a partir da execução do algoritmo J48, cuja árvore final possui 34 folhas. Tais valores estão acima de 70%, constituindo valores de acerto aceitáveis.

A Tabela 4.11 exhibe os valores da matriz de confusão, onde é possível perceber que a diagonal principal (exemplos classificados corretamente) possui os maiores valores, porém ainda existem um número relativamente alto de exemplos classificados como pertencentes à classe 0 embora sejam da classe 1 e vice-versa.

Ademais, o uso da árvore de decisão favorece a interpretabilidade do modelo aprendido. Podemos, por exemplo, obter a seguinte regra a partir de um dos ramos da árvore: se Hour = 9:30 e Immobilized_bus <= 1, então classe = 0; senão se Immobilized_bus > 1, então classe = 1. Esse tipo de conhecimento extraído do modelo favorece o entendimento do especialista da aplicação sobre possíveis erros do modelo, para que ele seja eventualmente melhorado, e ainda para que os órgãos reguladores saibam com exatidão como basear seu processo decisório.

Para esse problema, o algoritmo MLP obteve resultado piores que a árvore de decisão, como pode ser observado nos resultados exibidos na Tabela 4.12 e em sua matriz de confusão, na Tabela 4.13. Apenas o valor de área sob a curva ROC teve um resultado ligeiramente melhor do que o obtido pelo J48. Embora o MLP obtenha resultados muito bons em diversos problemas, aqui vemos uma instância do *Free-Lunch Theorem*: Não existe um método que seja melhor que os demais em todos os tipos de problemas.

Tabela 4.12. Valores preditivos médios obtidos a partir da execução do algoritmo MLP para o problema de classificação de tráfego urbano

Métrica	Valor Médio Pesado
Acurácia	66,67 %
Precisão	0,667
Sensitividade	0,667
F-measure	0,667
AUC ROC	0,753

Tabela 4.13. Matriz de confusão obtida a partir do algoritmo MLP para o problema de classificação de comportamento de tráfego urbano

0	1	<- classificado como
44	23	0
22	46	1

Teste de Hipóteses para o problema de classificação: Para verificar se os resultados preditivos obtidos eram estatisticamente diferentes, foram executadas as análises estatísticas t-test e McNemar, a partir do software online *GraphPad*². No caso do t-test, foram executadas as análises para as medidas de acurácia e F1, computadas a partir do conjunto de teste. Para o caso da análise de McNemar, foram observados as predições concordantes e discordantes nos conjuntos de testes. Considerando um p -value de 0,05, nenhuma das duas análises apontou diferença significativa para os resultados observados. Nesse caso, o especialista da aplicação poderia se sentir confortável em utilizar quaisquer um dos modelos, ou aprofundar a escolha de forma qualitativa, observando, por exemplo, qual a classe mais relevante e qual modelo consegue obter melhores resultados em tal classe.

Como foi visto ao decorrer dos problemas abordados, utilizar métricas para analisar o seu conjunto de dados, gera uma visão mais completa do desempenho do mesmo. O importante é entender o que cada medição significa e quais são suas restrições, para então decidir que ação tomar.

4.5.5.2. Testes Online

Muitos tipos de dados são adquiridos sequencialmente ao longo do tempo. Em vez de esperar que os dados sejam coletados, as análises de streaming permitem identificar padrões e tomar decisões com base neles à medida que os dados começam a chegar. Quando os dados não são estacionários e os padrões mudam com o tempo, as análises de streaming se adaptam. E em escalas em que o armazenamento de dados brutos se torna impraticável, as análises de streaming permitem persistir apenas representações menores e mais direcionadas. Com base nisso, este trabalho apresentará o comportamento dos dois datasets, previamente avaliados com a ferramenta WEKA, em uma outra ferramenta, o MOA. Diferente do WEKA, o MOA avalia os dados a partir de uma simulação de *streaming* de dados, utilizando o conjunto de dados completo.

²<https://www.graphpad.com/>

No MOA é necessários inserir alguns parâmetros antes da execução propriamente dita do modelo. Utilizamos somente o algoritmo FIMT-DD por questão de tempo de execução. Para o aprendizado utilizamos o algoritmo da seguinte maneira no MOA: `trees.FIMTDD -s VarianceReductionSplitCriterion`, que é denominado *learner* na ferramenta. Para o *streaming* foi utilizado o padrão `ArffFileStream`, e por fim, para a avaliação foi utilizado o `BasicRegressionPerformanceEvaluator`. A frequência de amostragem utilizada foi de 10 (a performance do modelo é calculada a cada 10 exemplos lidos).

Resultados para o conjunto S_{DTaxi} : O conjunto de dados de demanda de táxi S_{DTaxi} , com 15485 instâncias foi carregado no MOA, e o algoritmo FIMT-DD foi executado. O atributo a ser predito é o *fare amount*. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 4.14. O MAE médio foi de 1,28, ou seja, o algoritmo errou 1,28 (para mais ou para menos) em média o valor do atributo *fare amount*. O RMSE médio foi de 2,62, ou seja, os valores que estão fora da curva de melhor ajuste estão a uma distância média de 2,62 dos valores contidos na curva de melhor ajuste. Percebe-se então que no caso deste conjunto de dados, o modelo construído a partir do WEKA é melhor que o feito pelo MOA, uma vez que as métricas de comparação foram melhores (menores).

Tabela 4.14. Valores das métricas para o conjunto de dados S_{DTaxi}

Métrica	FIMT-DD
MAE	0,72
RMSE	1,66

Resultados para o conjunto $S_{CEnergia}$: Após a análise do dataset de demanda de táxi, o dataset de consumo de energia, com 14173 instâncias foi carregado no MOA e executado, usando a mesma frequência de amostragem e o mesmos parâmetros. O atributo a ser predito é o *potência*. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 4.15. Com isso, pode-se fazer uma avaliação quanto às métricas. O MAE médio foi de 16,99, ou seja, o algoritmo errou 16,99 (para mais ou para menos) em média o valor do atributo *potência*. O RMSE médio foi de 58,14, ou seja, os valores que estão fora da curva de melhor ajuste estão a uma distância média de 58,14 dos valores contidos na curva de melhor ajuste. Observa-se que no caso deste conjunto de dados, o modelo construído a partir do WEKA é muito melhor que o feito pelo MOA, uma vez que as métricas de comparação foram melhores. Um corte do gráfico do MAE ao longo das amostras pode ser visto na Figura 4.8 abaixo.

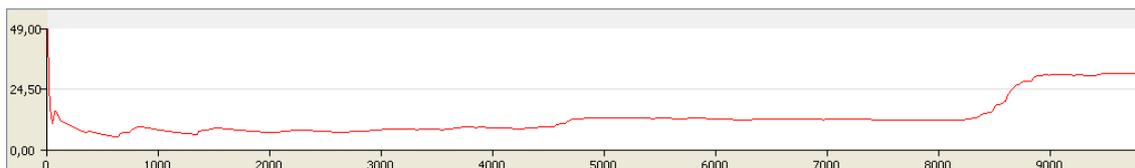


Figura 4.8. Gráfico do MAE ao longo das amostras para o conjunto de dados $S_{CEnergia}$.

Uma análise interessante é que um pouco depois da amostra de número 8000, o erro absoluto começa a aumentar. Isso se dá pelo fato do conjunto de dados escolhido ter

uma variação muito grande no atributo *potência* nessa faixa, o que faz com que o algoritmo prediga de forma errada as amostras subsequentes. Isso não acontece no WEKA, pois quando separamos o conjunto de dados em 2/3 para treinamento (por volta de 9448 amostras), o algoritmo aprende essa variação no atributo *potência* durante a fase de treinamento, e portanto, consegue prever de forma correta, o restante das amostras.

Tabela 4.15. Valores das métricas para o conjunto de dados $S_{CEnergia}$

Métrica	FIMT-DD
MAE	16,99
RMSE	58,14

Resultados para o conjunto $S_{CTrafego}$: Para analisar o problema de classificação de comportamento de tráfego urbano de forma online, podemos considerar que os valores seriam inseridos a cada meia hora, para prever a classe da próxima meia hora. Para manter o padrão na utilização dos métodos, também optamos por fazer uso de um algoritmo online adaptativo baseado em árvore e outro baseado em um algoritmo que faça uso do método de gradiente para otimização dos parâmetros, assim como é feito com redes neurais. Para o treinamento da árvore de decisão, utilizou-se como aprendiz o algoritmo `trees.HoeffdingAdaptiveTreeClassifier`. Esse método utiliza o algoritmo de janelas de tamanho adaptativo ADWIN para substituir as folhas por novas folhas, quando necessário devido à natureza do stream. O tamanho das janelas é calculado estatisticamente, para que não haja mudança no valor médio da variável de classe dentro da janela [Bifet and Gavalda 2007]. Para a avaliação (*evaluator*) foi utilizado o método `WindowClassificationPerformanceEvaluator`, avaliando os dados de forma *prequential*. A frequência de amostragem utilizada foi de 1. Os valores de medidas de avaliação obtidos podem ser observados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16. Valores das medidas de avaliação para o aprendizado online de árvore de decisão, para o problema de classificação de comportamento de tráfego

Métrica	Valor
Acurácia	63,70 %
Kappa	27,74 %
Kappa temporal	-226,67
Kappa M	26,87 %

Para o treinamento online de um método que use o gradiente como otimizador, optou-se pelo aprendiz `functions.SGD`. Os demais parâmetros permaneceram com seus valores default, como antes. Os valores de medidas de avaliação obtidos podem ser observados na Tabela 4.17.

Em ambos os casos, a medida reportada comparável com o treinamento offline, a saber, a acurácia, obteve aqui valores piores do que ambos os algoritmos offline. Embora o método que aprende função tenha obtido um resultado ligeiramente melhor do que o método que aprende árvore, ele ainda apresenta um valor pior do que o pior método offline. Uma das razões é o baixo número de exemplos para esse problema, que afeta mais a abordagem online, pois os exemplos são considerados "aos poucos".

Tabela 4.17. Valores das medidas de avaliação para o aprendizado online de uma função, com otimização baseada em gradiente, para o problema de classificação de comportamento de tráfego

Métrica	Valor
Acurácia	65,19 %
Kappa	30,40 %
Kappa temporal	-213, 33
Kappa M	29,85 %

Dessa forma, deve-se avaliar cuidadosamente quando é necessário utilizar um algoritmo online e quando uma abordagem offline é suficiente. No caso de problemas em que todos os exemplos estejam disponíveis de antemão, ou que a chegada de novos exemplos não acarrete uma mudança na distribuição original da amostra, uma abordagem offline pode ser suficiente. Em outros casos, em que os exemplos de fato sejam disponibilizados como streams de dados, ou que aconteça mudança na distribuição de acordo com os novos exemplos, torna-se necessário recorrer a uma abordagem online. Para o problema aqui abordado, todos os exemplos estavam disponíveis de antemão e não foi observado mudança de distribuição com o tempo. Sendo assim, a abordagem offline já seria suficiente e nos valem da abordagem online meramente por questões ilustrativas.

4.6. Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentados conceitos de aprendizado de máquina em lote e online, potencialmente utilizáveis em diversos problemas no contexto de Cidades Inteligentes. Foram exploradas duas ferramentas para as tarefas de aprendizado — a ferramenta Weka, para aprendizado em lote, e o MOA, para aprendizado online. Observa-se que, para os problemas de regressão, o algoritmo online apresentou melhores resultados, e para o problema de classificação, os algoritmos em lote apresentaram melhores resultados. Como esses estudos foram para ilustrar a aplicação do framework de avaliação apresentado, esses resultados mostram, na prática, que não há um método ou algoritmo de aprendizado que seja melhor em todos os casos. Além disso, mostramos também que em diferentes ferramentas, diferentes métricas estão disponíveis para serem analisadas. Entretanto, os resultados podem ser melhor avaliados por meio da análise da saída dos modelos obtidos. Entendemos que este capítulo é importante pois, a avaliação de modelos construídos utilizando aprendizado de máquina ainda se apresenta como um desafio, fonte de muitas dúvidas, em diversas aplicações. Assim, ao apresentar um framework que pode ser utilizado em diferentes cenários, pode trazer uma melhor visão na comunidade de Sistemas de Informações do Brasil em como realizar essas avaliações.

Referências

- [Andrade et al. 2017] Andrade, E. O., Viterbo, J., and Nader, C. V. (2017). Um levantamento do uso de aprendizado profundo em análise de sentimentos. In *14th National Meeting on Artificial and Computational Intelligence (ENIAC)*, pages 85–96. Brazilian Conference on Intelligent Systems.
- [Anlauf and Biehl 1989] Anlauf, J. and Biehl, M. (1989). The adatron: an adaptive per-

- ceptron algorithm. *EPL (Europhysics Letters)*, 10(7):687.
- [Anthopoulos 2015] Anthopoulos, L. (2015). Understanding the smart city domain: A literature review. In Rodríguez-Bolívar, editor, *Transforming City Governments for Successful Smart Cities, Public Administration and Information Technology*, pages 9–21.
- [Barcellos et al. 2017] Barcellos, R., Viterbo, J., Miranda, L., Bernardini, F., Maciel, C., and Trevisan, D. (2017). Transparency in practice: using visualization to enhance the interpretability of open data. In *Proc. 18th Annual International Conference on Digital Government Research, DG.O 2017*, pages 139–148.
- [Ben-David et al. 1997] Ben-David, S., Kushilevitz, E., and Mansour, Y. (1997). Online learning versus offline learning. *Machine Learning*, 29(1):45–63.
- [Bernardini 2006] Bernardini, F. (2006). Combinação de classificadores simbólicos utilizando medidas de regras de conhecimento e algoritmos genéticos. Tese de Doutorado — ICMC/USP.
- [Bifet and Gavalda 2007] Bifet, A. and Gavalda, R. (2007). Learning from time-changing data with adaptive windowing. In *Proceedings of the 2007 SIAM international conference on data mining*, pages 443–448. SIAM.
- [Bifet et al. 2018] Bifet, A., Gavaldà, R., Holmes, G., and Pfahringer, B. (2018). *Machine Learning for Data Streams With Practical Examples in MOA*. MIT Press.
- [Bifet et al. 2011] Bifet, A., Holmes, G., Pfahringer, B., Read, J., Kranen, P., Kremer, H., Jansen, T., and Seidl, T. (2011). MOA: a real-time analytics open source framework. In *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*, pages 617–620. Springer.
- [Choi and Choi 1992] Choi, J. Y. and Choi, C.-H. (1992). Sensitivity analysis of multi-layer perceptron with differentiable activation functions. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 3(1):101–107.
- [Demšar 2008] Demšar, J. (2008). On the appropriateness of statistical tests in machine learning. In *Workshop on Evaluation Methods for Machine Learning in conjunction with ICML*, page 65.
- [Dheeru and Karra Taniskidou 2017] Dheeru, D. and Karra Taniskidou, E. (2017). UCI machine learning repository.
- [Domingos and Hulten 2000] Domingos, P. and Hulten, G. (2000). Mining high-speed data streams. In *Proceedings of the sixth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, pages 71–80. ACM.
- [Dougherty et al. 1995] Dougherty, J., Kohavi, R., and Sahami, M. (1995). Supervised and unsupervised discretization of continuous features. In *Machine Learning Proceedings 1995*, pages 194–202. Elsevier.

- [Ernst et al. 2005] Ernst, D., Geurts, P., and Wehenkel, L. (2005). Tree-based batch mode reinforcement learning. *Journal of Machine Learning Research*, 6(Apr):503–556.
- [Faceli et al. 2011] Faceli, K., Lorena, A. C., Gama, J., Carvalho, A. C. P. d. L., et al. (2011). Inteligência artificial: Uma abordagem de aprendizado de máquina.
- [Giffinger 2016] Giffinger, R. (2016). Smart cities — ranking of european medium-sized cities. Final report, Centre of Regional Science, Vienna University of Technology, October 2007. Available at http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf.
- [Gil-Garcia et al. 2015] Gil-Garcia, J. R., Pardo, T., and Nam, T. (2015). What makes a city smart? identifying core components and proposing an integrative and comprehensive conceptualization. *Information Polity*, 20(1):61–87.
- [Guedes et al. 2018] Guedes, A., Alvarenga, J., Goulart, M., Rodriguez, M., and Soares, C. (2018). Smart cities: The main drivers for increasing the intelligence of cities. *Sustainability*, 10:1–19.
- [Hall et al. 2009] Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., and Witten, I. H. (2009). The weka data mining software: an update. *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 11(1):10–18.
- [Harrison and Donnely 2011] Harrison, C. and Donnely, I. (2011). A theory of smart cities. In *Proc. 55th Annual Meeting of the International Society for the Systems Sciences*.
- [Haykin 2008] Haykin, S. (2008). *Neural Networks and Learning Machines*. Prentice Hall, 3rd edition.
- [Ikonomovska et al. 2011] Ikonomovska, E., Gama, J., and Džeroski, S. (2011). Learning model trees from evolving data streams. *Data mining and knowledge discovery*, 23(1):128–168.
- [Japkowicz and Shah 2011a] Japkowicz, N. and Shah, M. (2011a). *Evaluating learning algorithms: a classification perspective*. Cambridge University Press.
- [Japkowicz and Shah 2011b] Japkowicz, N. and Shah, M., editors (2011b). *Evaluating Learning Algorithms: A Classification Perspective*. Cambridge University Press.
- [Kelly and Knottenbelt 2014] Kelly, J. and Knottenbelt, W. (2014). Uk-dale: A dataset recording uk domestic appliance-level electricity demand and whole-house demand. *ArXiv e-prints*, 59.
- [Lima et al. 2018] Lima, P. C. R., Barcellos, R., Bernardini, F., and Viterbo, J. (2018). Using geocoding and topic extraction to make sense of comments on social network pages of local government agencies. In *Electronic Government — 17th IFIP WG 8.5 International Conference, EGOV 2018*, pages 263–274.
- [Mello and Ponti 2018] Mello, R. F. and Ponti, M. A. (2018). *Machine Learning: A Practical Approach on the Statistical Learning Theory*. Springer.

- [Neumann et al. 2018] Neumann, N. M., Plastino, A., Pinto Junior, J. A., and Freitas, A. A. (2018). Is p -value <0.05 enough? two case studies in classifiers evaluation. *Anais do Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional (ENIAC)*, pages 94–103.
- [Oliveira and Campolargo 2015] Oliveira, A. and Campolargo, M. (2015). From smart cities to human cities. In *48th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, pages 2336–2344. IEEE.
- [Osojnik et al. 2016] Osojnik, A., Panov, P., and Džeroski, S. (2016). Modeling dynamical systems with data stream mining. *Computer Science and Information Systems*, (00):9–9.
- [Pinto et al. 2018] Pinto, H. D. S., Bernardini, F., and Viterbo, J. (2018). How cities categorize datasets in their open data portals: an exploratory analysis. In *Proc. 19th Annual International Conference on Digital Government Research, DG.O 2018*.
- [Quinlan 1986] Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine learning*, 1(1):81–106.
- [Quinlan 1993] Quinlan, J. R. (1993). *C4. 5: programs for machine learning*. Elsevier.
- [Riedmiller 1994] Riedmiller, M. (1994). Advanced supervised learning in multi-layer perceptrons-from backpropagation to adaptive learning algorithms. *Computer standards and interfaces*, 16(3):265–278.
- [Rosenblatt 1958] Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*, 65(6):386.
- [Srinivasan et al. 2002] Srinivasan, N., Ravichandran, V., Chan, K., Vidhya, J., Ramakrishnan, S., and Krishnan, S. (2002). Exponentiated backpropagation algorithm for multilayer feedforward neural networks. In *Neural Information Processing, 2002. ICONIP'02. Proceedings of the 9th International Conference on*, volume 1, pages 327–331. IEEE.
- [Wibisono et al. 2016] Wibisono, A., Jatmiko, W., Wisesa, H. A., Hardjono, B., and Mursanto, P. (2016). Traffic big data prediction and visualization using fast incremental model trees-drift detection (fimt-dd). *Knowledge-Based Systems*, 93:33–46.
- [Wolpert 1996] Wolpert, D. H. (1996). The lack of a priori distinctions between learning algorithms. *Neural computation*, 8(7):1341–1390.
- [Wooldridge 2015] Wooldridge, J. M. (2015). *Introductory econometrics: A modern approach*. Nelson Education.

Biografia dos Autores

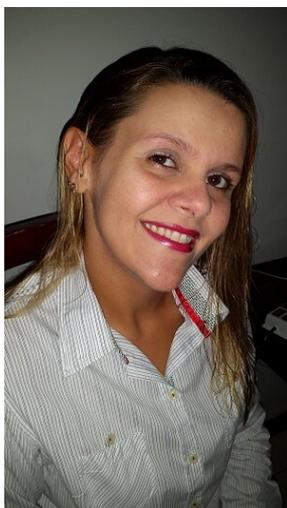
Igor Garcia Ballhausen Sampaio - <http://lattes.cnpq.br/0452937415654599>



Aluno de mestrado em Computação pela Universidade Federal Fluminense. Graduado em Engenharia de Telecomunicações pela mesma universidade, membro associado e representante estudantil da Sociedade Brasileira de Computação. Foi representante discente no Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense. Bolsista (CNPq) de Iniciação Científica em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação no período de graduação, desenvolvendo sistemas para o monitoramento e análise de consumo energético sob a orientação do Prof. Dr. José Viterbo Filho. Atualmente trabalha com técnicas de aprendizado de máquina para problemas de local

lização indoor e identificação e classificação de objetos. Conhecimento em operações de rede de acesso móvel de telecomunicações. Possui 7 anos de experiência no ensino de matemática e física para alunos do ensino médio e fundamental.

Flavia Cristina Bernardini - <http://lattes.cnpq.br/5935862634033333>



Flavia Bernardini possui graduação em Ciência da Computação UNESP (1999) e mestrado e doutorado em Ciência da Computação pelo ICMC/USP (2002 e 2006). É professora associada do Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense (UFF). É uma das responsáveis pelo Núcleo de Análise de Dados para a Cidadania (D4Ctz), e atua como colaboradora no ADDLabs e no LabESI. Tem experiência na coordenação e execução de projetos de pesquisa e desenvolvimento desde 2007, envolvendo principalmente o desenvolvimento de sistemas que utilizam Inteligência Artificial, com maior ênfase em Aprendizado de Máquina, para diversos problemas em diferentes domínios de aplicação. Nos últimos 5 anos, tem voltado seus interesses para a temática de Cidades Inteligentes. Nesse contexto, possui diversos trabalhos publicados, com diversas orientações de graduação, mestrado e doutorado concluídas e em andamento. Participa

do grupo de Indicadores para Cidades Inteligentes da Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas. Também, coordena um projeto de ensino voltado para a educação básica, envolvendo programação, pensamento computacional e robótica educativa.

Aline Marins Paes Carvalho - <http://lattes.cnpq.br/0506389215528790>



Aline Paes é professora adjunta do Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense (UFF). É mestre e doutora em Engenharia de Sistemas e Computação, com ênfase em Inteligência Artificial, pela COPPE-Sistemas, UFRJ, tendo feito estágio de doutoramento (sanduíche) por um ano no Imperial College London, UK, sob a supervisão do Professor Stephen Muggleton. Foi bolsista do CNPq de pós-doutorado júnior na COPPE-Sistemas, UFRJ, sob a supervisão do professor Valmir Carneiro Barbosa. Aline Paes atua na área de Ciência da Computação, com ênfase em Inteligência Artificial, com interesses e contribuições nos seguintes temas: aprendizado de máquina relacional, integrado a técnicas neurais, estatísticas e lógicas, atualização e adaptação de modelos por aprendizado online, revisão de teorias e aprendizado por transferência, IA explicável, indução de programas, processamento de linguagem natural, jogos e IA social. Seu nome era Aline Marins Paes até 2010.

Eduardo de Oliveira Andrade - <http://lattes.cnpq.br/3122564652271949>



Aluno de mestrado em Computação pela Universidade Federal Fluminense. Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2015). Atualmente realiza pesquisas na área de Segurança da Informação, Aprendizado de Máquina e Aprendizado Profundo. Foi membro do Grupo de Resposta a Incidentes de Segurança (GRIS), onde atuou na detecção, resolução e prevenção de incidentes de segurança na UFRJ. Além disso, ofereceu suporte acadêmico aos estudantes de computação e demais alunos interessados nos assuntos relacionados à segurança na UFRJ. Ministrou workshops e cursos aos novos membros do próprio GRIS, apoiado pelo prof. Dr. Gabriel P. Silva. Em 2011 foi bolsista do Programa de Atividades Extracurriculares de Apoio aos Laboratórios de Informática de Graduação (PAEALIG), apoiado pela prof. Dr. Claudine P. Dereczynski. Executou o gerenciamento da rede e máquinas dos laboratórios e deu suporte aos alunos e professores de Geografia, Geologia e Meteorologia com a instalação de softwares de suas respectivas áreas e configuração de controle de acesso dos diversos usuários.

José Viterbo Filho - <http://lattes.cnpq.br/8721187139726277>



José Viterbo é graduado em Engenharia Elétrica (com ênfase em Computação) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, possui Mestrado em Computação, pela Universidade Federal Fluminense, e doutorado em Informática, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Atualmente é Professor Adjunto no Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense (IC/UFF). É coordenador do Laboratório de Sistemas de Tempo Real e Embarcados (LabTempo) e pesquisador colaborador no Laboratório de Documentação Ativa e Design Inteligente (ADDLabs) e no Laboratório de Gestão em Tecnologia da Informação e Comunicação (GTecCom), na mesma universidade. Além

disso, é Diretor de Publicações da Sociedade Brasileira de Computação (SBC). Atua no Programa de Pós-Graduação em Computação da UFF (PPGC/UFF), onde desenvolve pesquisas na área de computação ubíqua, inteligência coletiva, análise e gestão de dados abertos.

