

Arquiteturas de informação empresarial (AIEs), frameworks de interoperabilidade, modelos de maturidade: uma revisão de literatura

Jeanne Louize Emygdio¹

Resumo: O presente artigo tem por objetivo apresentar uma revisão de literatura acerca das arquiteturas de informação empresarial (AIEs) concebidas nas últimas 5 décadas e os *frameworks* de interoperabilidade mais relevantes que as sucederam, aplicados ao âmbito empresarial, governamental, industrial e de defesa militar. Buscou-se conhecer as particularidades de cada solução e as estratégias adotadas para possibilitar intercâmbio de dados, informações e conhecimento em domínios críticos para a sociedade, a partir de seu intermédio. Para efeito de sumarização, foram identificados 31 *frameworks* de interoperabilidade e 28 modelos de maturidade relacionados. A revisão ora apresentada é parte integrante de uma pesquisa doutoral realizada no campo da Ciência da Informação que investigou a interoperabilidade semântica orientada por ontologias em um estudo de caso no domínio de energia. O artigo inicia uma série de publicações onde se pretende discutir as contribuições que podem advir da adoção de ontologias formais para a concepção de *frameworks* ontológicos bem fundamentados em contraposição às soluções apresentadas nesta revisão.

Palavras-chave: Arquiteturas de Informação Empresarial. Frameworks de interoperabilidade. Modelos de maturidade para interoperabilidade. Insumos para gestão do conhecimento em ecossistemas de negócios.

Enterprise information architectures (EIAs), interoperability frameworks, maturity models: a literature review

Abstract: This article aims to present a literature review about enterprise information architectures (EIAs) designed in the last five decades and the most relevant interoperability frameworks that followed them, applied to the business, governmental, industrial, and military defense scopes. It was sought to know the particularities of each solution and the strategies adopted to enable the exchange of data, information, and knowledge in critical domains for society, from its intermediary. In summary, 31 interoperability frameworks and 28 related maturity models were identified. The review presented here is an integral part of doctoral research carried out in the field of Information Science that investigated ontology-oriented semantic interoperability in a case study in the energy domain. The article begins a series of publications where it is intended to discuss the contributions that

¹ Ph.D. in Management and Organization of Knowledge (UFMG). Researcher at Knowledge Representation, Ontologies and Language Laboratory (RECOL/UFMG) and at Decision making technologies Laboratory (LATITUDE/UnB). E-mail: jeanne.emygdio@gmail.com. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6849175974671037>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7329-4447>.

can come from the adoption of formal ontologies for the design of well-founded ontological frameworks in contrast to the solutions investigated in this review.

Keywords: Enterprise Information Architectures. Interoperability Frameworks. Maturity models for interoperability. Inputs for knowledge management in business ecosystems.

1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre interoperabilidade tratam dos desafios em se articular adequadamente uma profusão de recursos que suportam as práticas organizacionais com o objetivo de favorecer uma troca inteligível de informações e conhecimento nestes contextos. A partir de então, abrem-se perspectivas para a concepção de inovações em produtos, processos e serviços, culminando em inúmeros benefícios para a empresa e para a sociedade (TIGRE, 2011, SCHEEL *et al.*, 2014). Estes estudos tendem a ser revisitados durante os períodos de novas descobertas científicas ou na iminência delas, quando se torna necessária uma reavaliação das práticas em uso visando diagnosticar novos insumos de conhecimento que possam contribuir com a sua evolução.

Relevantes esforços vêm sendo realizados nos últimos 50 anos, para a concepção de soluções de interoperabilidade em múltiplos setores, como na Saúde, na Indústria, na Defesa Nacional, nas Bibliotecas Digitais, para citar alguns. Enquanto avanços no sentido da interoperabilidade técnica já podem ser observados a partir da adoção de padrões, no sentido da interoperabilidade semântica encontra-se ainda uma lacuna (KARRAY *et al.*, 2021; WALLACE *et al.*, 2018).

Ontologias formais têm sido consideradas alternativas promissoras para a concepção de soluções efetivas de interoperabilidade em função de suas peculiaridades: princípios filosóficos, rigor lógico, linguagens de representação formais e *expertise* para a articulação estratégica destes aspectos. Além disso, provém base formal para o mapeamento entre ontologias, padrões terminológicos e padrões de interoperabilidade. Estes fatores têm estimulado o desenvolvimento de projetos de sucesso na área da saúde, que atualmente já totalizam mais de 300 (SMITH, 2018) e começam a se direcionar para o setor industrial, defesa, jurídico, entre outros (SMITH *et al.*, 2019).

O presente artigo tem por objetivo apresentar uma revisão de literatura acerca das arquiteturas de informação empresarial (AIEs) concebidas nas últimas 5 décadas e os *frameworks* de interoperabilidade mais relevantes que as sucederam, aplicados ao âmbito empresarial, governamental, industrial e de defesa militar. Buscou-se conhecer as particularidades de cada solução e as estratégias adotadas para possibilitar intercâmbio de dados, informações e conhecimento em domínios críticos para a sociedade, a partir de seu intermédio. Para efeito de sumarização, foram identificados 31 *frameworks* de interoperabilidade e 28 modelos de maturidade relacionados.

A revisão ora apresentada é parte integrante de uma pesquisa doutoral realizada no campo da Ciência da Informação que investigou a interoperabilidade semântica orientada por ontologias em um estudo de caso no domínio de energia (EMYGDIO, 2021). O artigo inicia uma série de publicações onde se pretende discutir as contribuições que podem advir da adoção de ontologias formais para a concepção de *frameworks* ontológicos bem fundamentados (SMITH; CEUSTERS, 2010; SMITH *et al.*, 2007) em contraposição às soluções investigadas nesta revisão.

O restante do artigo encontra-se organizado da seguinte forma: na Seção 2 apresenta-se uma breve cronologia do desenvolvimento de AIEs; na Seção 3 apresenta-se um portfólio de *frameworks* e modelos de maturidade para interoperabilidade; na Seção 4 apresentam-se em detalhes os *frameworks* mais relevantes para o domínio de energia; na Seção 5 apresenta-se de forma breve uma visão sobre os modelos de maturidade para interoperabilidade existentes e na Seção 6 apresentam-se as considerações finais.

2 OS PRIMÓRDIOS DO DESENVOLVIMENTO DE AIES

O início dos anos 80 marcou o surgimento das arquiteturas de informação empresarial (AIEs) heterogêneas, fundamentadas em abordagens sobrepostas, embasadas em conceitos sem fundamentos teóricos claros. Tal situação prejudicava a percepção dos usuários quanto às similaridades e diferenças entre tais estruturas, que contribuísse tanto para escolha visando adoção, quanto para harmonização entre elas. Uma AIE deve possibilitar raciocínio sobre a estrutura, propriedades e comportamento do sistema, ao mesmo tempo em que possibilita gerenciar a

complexidade e os riscos relacionados aos seus componentes: tecnologia, tamanho, interface, contexto e atores. Arquiteturas empresariais provêm uma visão das características mais essenciais de um sistema, enquanto a modelagem empresarial, é empregada para descrever e especificar o sistema em nível de detalhes (CHEN *et al.*, 2008).

Assim, dois tipos básicos de arquiteturas são observadas no escopo da AIE: i) as arquiteturas de sistemas, também denominadas de arquitetura técnica ou arquitetura de ICT, que provêm componentes técnicos que implementam as funções e estratégias de negócios, representando os sistemas e subsistemas em termos de estrutura e comportamento e; ii) os projetos de referência empresarial, também denominados arquiteturas funcionais ou de negócio, que são de fato *frameworks* para estruturar conceitos e tarefas necessárias ao projeto e construção de um sistema de *software* empresarial integrado. São exemplos de *frameworks* funcionais: o *Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture* (CIMOSA) e o *Zachman Framework*.

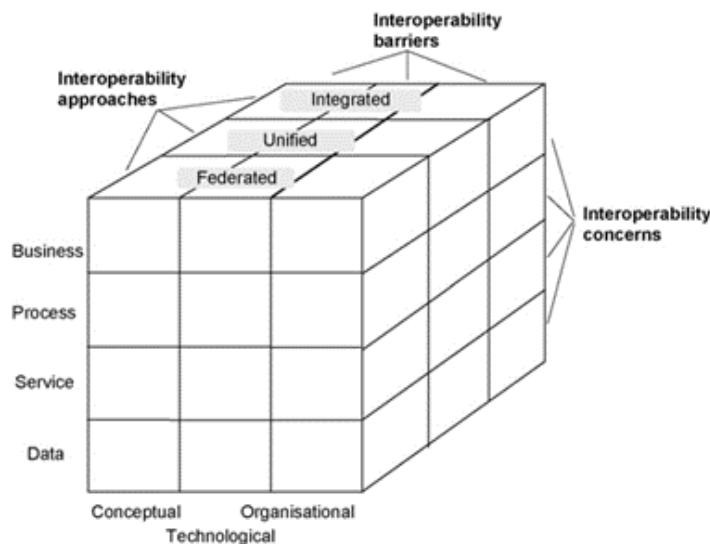
Três grupos se empenharam, de forma não colaborativa, no desenvolvimento de padrões para arquiteturas empresariais – ISO TC184/SC5, ISO/IUT-T e IEEE – visando integração dos *frameworks* desenvolvidos. No entanto as abordagens resultantes destes esforços não atingiram maturidade para reconhecimento e aceitação na indústria, ficando em aberto o mapeamento entre os *frameworks* para alcançar certo nível de interoperabilidade entre os modelos e sistemas desenvolvidos a partir destes padrões (CHEN *et al.*, 2008).

A partir dos anos 2000 emergem as iniciativas de pesquisa no âmbito do desenvolvimento de *frameworks* de interoperabilidade. O objetivo era prover mecanismos para que os conceitos, problemas e conhecimento em interoperabilidade organizacional pudessem ser representados de forma mais estruturada do que nos modelos anteriores. Para isso, foram adotados diagramas, textos e regras formais que relacionassem os componentes de uma entidade conceitual a cada uma das outras. Alguns modelos podem ser citados como exemplo desta fase: o *Levels of information systems interoperability* (LISI) desenvolvido em 1997 pelo *C4ISR Architecture Working Group* (AWG), o *IDEAS Interoperability Framework*, o *ATHENA interoperability framework*, que complementa o IDEAS, o

Ehealth interoperability framework do National E-Health Transition Authority (NEHTA) para área da saúde e o *European Interoperability Framework* (EIF) para a área governamental (CHEN *et al.*, 2008).

As tendências no desenvolvimento de *frameworks* de interoperabilidade já em 2008 apontavam para a concepção de soluções capazes de articular estratégias distintas de interoperabilidade (integração, unificação e federação) ao tratamento das barreiras ao alcance de interoperabilidade (tecnológicas, conceituais e organizacionais) nos níveis de negócios, processos serviços e dados. Quanto às tendências de pesquisa, sinalizava-se dentre outras, a necessidade da construção de ontologias de arquiteturas empresariais com definições precisas dos conceitos e propriedades do domínio da AIE. O motivo era evitar o desenvolvimento de propostas múltiplas e redundantes, como ocorreu no passado, além de possibilitar a interoperabilidade semântica entre diferentes AIEs (CHEN *et al.*, 2008). Na Figura 1, ilustra-se a tendência de arquiteturas tridimensionais de interoperabilidade que podem ser observadas em *frameworks* mais atuais.

Figura 1 - Fundamentos tri-dimensionais para construção de AIEs



Fonte: Chen *et al.* (2008, p.656).

Na próxima seção serão apresentados alguns dos *frameworks* mais referenciados na literatura, no entanto, uma consulta mais ampla pode ser realizada no *Enterprise Architecture Body of Knowledge* (EABoK)² (HAGAN, 2013).

² Disponível em: https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/04_0104.pdf. Acesso em: 06/07/2022.

3 UM PORTFÓLIO DE FRAMEWORKS

Nesta seção serão apresentados diversos *frameworks* encontrados na literatura acompanhados de suas características elementares, organizados por propósitos de aplicação, sendo: i) genéricos: de aplicação geral e; ii) industriais: aplicados ao setor elétrico. Ao final da seção apresenta-se uma relação de modelos de maturidade de interoperabilidade voltados aos domínios governamentais, empresariais e militares (defesa e segurança) identificados na literatura.

3.1 Frameworks genéricos

3.1.1 Zachman Framework

O Zachman *Framework* foi concebido no final dos anos 80 com o objetivo de definir uma estrutura lógica para especificar as interfaces e os componentes de sistema para empresas dentro de um ambiente de tecnologia da informação. A inovação do *framework* transformou-o na base para os futuros *frameworks* de arquiteturas empresariais, como o *Federal Enterprise Architecture Framework* (FEAF)³. Segundo Zachman (2014), seu *framework* pode ser descrito como:

Uma classificação bidimensional "normalizada" do conjunto total de representações descritivas relevantes para a descrição de uma empresa. A justaposição de duas classificações usadas pela humanidade há milhares de anos, os seis interrogativos primitivos e os seis estágios da reificação⁴. Arquitetura empresarial. A ontologia da empresa. (Zachman, 2014, on-line).

O Zachman *Framework* estabelece o cruzamento entre duas classificações históricas: i) os fundamentos da comunicação encontrados nos interrogativos primitivos: "o quê", "como", "quando", "quem", "onde" e "por que" e, ii) classificações derivadas da reificação: identificação, definição, representação, especificação, configuração e instanciação. Estabelece uma matriz 6 x 6, onde os interrogativos primitivos são as colunas e as transformações de reificação são as linhas. Como resultado obtém-se 36 categorias de classificação que possibilitam uma distinção entre os elementos classificados em cada célula de cruzamento dos eixos (ZACHMAN, 2008).

³ Maiores informações em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/omb/e-gov/FEA>. Acesso em 06/07/2022.

⁴ Transformação de uma ideia abstrata em uma instanciação, postulada por filósofos gregos antigos.

Um conjunto de artefatos que descrevem a empresa sob perspectivas distintas, de acordo com o grupo de interesse e pontos de vista. Estes compreendem:

- i. Visão dos planejadores (contexto do escopo);
- ii. Visão dos proprietários (conceitos de negócios);
- iii. Visão dos *designers* (lógica do sistema);
- iv. Visão dos implementadores (tecnologia física);
- v. Visão dos subconstrutores (montagem de componentes) e;
- vi. Visão dos usuários (classes de operações).

As interrogativas referem-se a questões que devem ser respondidas pelas empresas e são enumeradas no Quadro 1.

Quadro 1 - Interrogativas do Zachman Framework

INTERROGATIVA	QUESTÃO A SER RESPONDIDA PELAS EMPRESAS
O que (dado)	O que são dados do negócio, informação ou objetos?
Como (função)	Como o negócio funciona? Quais são os processos de negócio?
Onde (rede)	Onde ocorrem as operações de negócio?
Quem (pessoas)	Quais são as pessoas que executam os negócios? Quais são as unidades de negócios e sua hierarquia?
Quando (tempo)	Quando os processos de negócio são executados? Quais são as agendas de negócio e os fluxos?
Por que (Motivação)	Por que a solução foi escolhida? Como isso foi derivado? O que motiva o desempenho de certas atividades?

Fonte: Visual Paradigm (2020).

Quatro regras norteiam as classificações no *framework*:

- i. Cada célula deve ser alinhada com as células imediatamente acima e abaixo delas;
- ii. Todas das células em cada linha devem ser alinhadas umas com as outras;
- iii. Cada célula é única e;
- iv. A combinação das células em uma linha provê uma descrição completa da empresa a partir do ponto de vista relacionada à linha em que se observa a combinação.

Por fim, destaca-se que, dentre outras notações, o *framework* é aderente à UML⁵ e BPMN⁶ para representações gráficas (VISUAL PARADIGMA, 2020).

3.1.2 O Padrão TOGAF

O Padrão TOGAF®⁷, desenvolvido em 1995 e mantido pelo *The Open Group Architecture Forum*, foi inspirado na *Technical Architecture Framework for Information Management* (TAFIM). Desde então vem evoluindo, constituindo uma metodologia e arquitetura⁸ corporativa utilizada para incrementar a eficiência de negócios. O padrão suporta quatro níveis arquiteturais de domínios:

- i. Negócios: estratégia, governança, organização e processos-chave;
- ii. Dados: estruturas lógicas e físicas de dados ativos e sistemas de gestão;
- iii. Aplicações: plano de implantação, interações e relacionamentos com os processos-chave da organização, e;
- iv. Tecnologia: infraestrutura de TI, *middleware*, redes, comunicação, processamento e padrões (THE OPEN GROUP, 2018).

Para prover a construção das arquiteturas, o TOGAF utiliza o Método de Desenvolvimento de Arquitetura ou *Architecture Development Method* (ADM). Composto de atividades cíclicas e iterativas de definição e evolução das arquiteturas, o objetivo é acompanhar as tendências de mercado. O método é organizado em 10 fases (THE OPEN GROUP, 2018):

- i. Preliminar;
- ii. Fase A - Visão da arquitetura;
- iii. Fase B - Arquitetura do negócio;
- iv. Fase C - Arquitetura dos sistemas de informação;
- v. Fase D - Arquitetura tecnológica;
- vi. Fase E - Oportunidades e soluções;
- vii. Fase F - Planejamento de migração;
- viii. Fase G - Governança de implementação;

⁵ *Unified Modeling Language*, desenvolvida pela empresa *Rational Software* em 1997.

⁶ *Business Process Model and Notation*, padrão para modelagem de processos de negócios.

⁷ Maiores informações em: <https://www.opengroup.org/togaf>. Acesso em: 06/07/2022.

⁸ Conceito de arquitetura do TOGAF: “A estrutura dos componentes, suas inter-relações, os princípios e diretrizes que governam seu design e evolução ao longo do tempo” (The Open Group, 2019).

- ix. Fase H - Gerenciamento de mudanças na arquitetura e;
- x. Gerenciamento de requisitos.

O ciclo de desenvolvimento da arquitetura é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Ciclo de desenvolvimento da arquitetura do TOGAF



Fonte: The Open Group (2018).

Embora o TOGAF ADM estabeleça uma metodologia em fases e etapas sequenciais para desenvolvimento de uma arquitetura, o escopo deve ser estabelecido pelas próprias organizações. O motivo para isso é que o processo é iterativo, apresentando aumento na profundidade e amplitude de escopo e entregas em cada interação. Durante o desenvolvimento de uma arquitetura três tipos de produtos são gerados:

- i. Entregáveis: produtos especificados contratualmente e formalmente revisados (geralmente documentos);
- ii. Artefatos: catálogos, matrizes e diagramas;
- iii. Blocos de construção: componentes reutilizáveis da capacidade da empresa, que podem ser combinados com outros elementos básicos para fornecer arquiteturas nomeadas *Architecture Building Blocks (ABBs)* e soluções *Solution Building Blocks (SBBs)*⁹, a partir do módulo denominado *Enterprise Continuum*.

⁹ Maiores informações em: <https://pubs.opengroup.org/architecture/togaf92-doc/arch/>. Acesso em: 07/07/2022.

O *framework* provê também um metamodelo de conteúdo que disponibiliza uma definição para todos os tipos de blocos de construção que possam existir na arquitetura, as inter-relações que podem ser estabelecidas entre eles e os artefatos adequados para descrevê-los. Por fim, o módulo *Capability Architecture* é aplicado à análise da capacidade da empresa em se modularizar em estruturas arquiteturais (THE OPEN GROUP, 2018).

3.1.3 O Framework Governamental EIF

Na esfera governamental, destaca-se o EIF, desenvolvido e mantido pelo Programa ISA2 com o propósito de prover soluções digitais que beneficiem serviços públicos “interoperáveis, transfronteiriços e intersetoriais” (EC, 2020, p.1). O *framework* suporta três tipos de interações entre os *stakeholders*¹⁰: entre administrações públicas (*Administration-to-Administration - A2A*), entre administração pública e empresas (*Administration-to-Business - A2B*) e administração pública e cidadãos (*Administration-to-Citizens - A2C*). Doze princípios dirigem as ações, observando aspectos comportamentais sobre o contexto de ações de interoperabilidade da União Europeia, princípios centrais de interoperabilidade, necessidades dos usuários e expectativas e princípios básicos de cooperação entre as administrações públicas. O modelo de interoperabilidade proposto abrange (EC, 2017):

- i. Quatro camadas de interoperabilidade: jurídica, organizacional, semântica e técnica;
- ii. Um componente transversal das quatro camadas: governança integrada do serviço público;
- iii. Uma camada em segundo plano: governança da interoperabilidade.

Um modelo conceitual foi estabelecido para promover reuso de informações e serviços existentes, tornando-os recuperáveis e de formatos interoperáveis, independente da fonte original em que tiverem sido disponibilizados, dentro ou fora do contexto das administrações públicas. A estrutura do modelo abrange (EC, 2017):

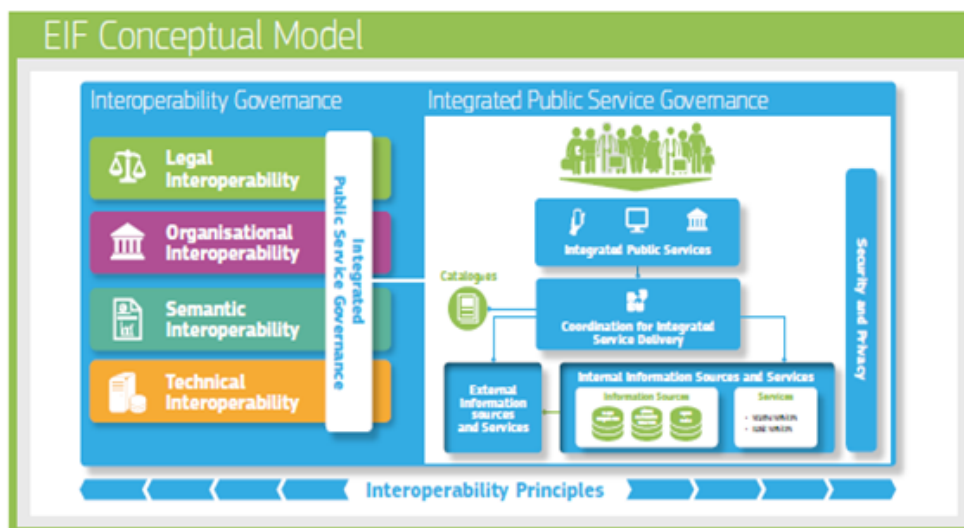
- i. Disponibilização de serviços integrados para mitigar a complexidade do usuário final;

¹⁰ “Qualquer indivíduo ou grupo identificável do qual a sobrevivência de uma organização dependa” (FREEMAN e REED, 1983, p.91).

- ii. Uma política de entrega de serviços disponibilizando opções e canais alternativos, assegurando a disponibilidade de canais digitais (por padrão);
- iii. Reutilização de dados e serviços para reduzir custos e aumentar a qualidade e a interoperabilidade do serviço;
- iv. Catálogos de serviços reutilizáveis e outros ativos para aumentar localização e uso;
- v. Governança integrada do serviço público;
- vi. Segurança e privacidade.

Uma visão geral do *framework* e as relações com o modelo conceitual é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Visão geral do *Framework* EIF



Fonte: EC (2017).

Além do Zachman *Framework*, do Padrão TOGAF e do *Framework* Governamental EIF, foram identificados outros 28 *frameworks* que seguem apresentados no Quadro 2, organizados por ordem cronológica de concepção dentro de seus respectivos domínios de aplicação.

Quadro 2 - *Frameworks* para interoperabilidade

FRAMEWORKS PARA ÓRGÃOS DE DEFESA E SEGURANÇA		
Nº	ANO	FRAMEWORK
1	---	<i>NATO Architecture Framework</i> (NAF)
2	2001	Agate (Departamento de Defesa do Reino Unido)
3	2008	<i>Ministry of Defence Architecture Framework</i> (MoDAF) British - United Kingdom

FRAMEWORKS EMPRESARIAIS		
4	1987	Zachman Framework
5	1988	Enterprise Architecture Model (NIST)
6	1992	Purdue Enterprise Reference Architecture (PERA)
7	1995	The Open Group Architecture Forum (TOGAF)
8	2000	Treasury Enterprise Architecture Framework (TEAF)
9	2001	Extended Enterprise Architecture Framework (EEAF) Institute EA Developments, The Netherlands
10	2003	IDEAS: Interoperability Developments for Enterprise Application and Software
11	2003	Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology (GERAM)
12	2005	Enterprise Architecture Framework (FDIC) Federal Deposit Insurance Corporation – USA
13	2006	ISO 19439 Framework for enterprise modelling
14	2006	The Framework for Enterprise Interoperability (FEI)
15	2006	Connection, Communication, Consolidation, Collaboration Interoperability Framework (C4IF)
16	2007	Athena Interoperability Framework (AIF)
17	2007	Enterprise Architecture Framework for Agile and Interoperable Virtual Enterprises
18	2007	SAP Enterprise Architecture Framework (SAP) – UK
19	2015	European Space Agency Architectural Framework (ESA AF)
FRAMEWORKS GOVERNAMENTAIS		
20	1989	Unified Profile for DoDAF/MoDAF (UPDM)
21	1999	Federal Enterprise Architecture (FEAF)
22	2003	DoD Architecture Framework (DoDAF) – US
23	2004	e-Government Interoperability Framework (e-GIF)
24	2004	European Interoperability Framework (EIF)
25	2004	Government Enterprise Architecture (GEA) –(Australia)
26	2006	Nederlandse Overheid Referentie Architectuur (NORA) - (Netherlands)
27	2008	Arcon Modeling Framework
28	2017	European Interoperability Reference Architecture (EIRA©)
FRAMEWORKS PARA O SETOR DE ENERGIA		

29	1999	<i>Common Information Model (CIM)</i>
30	2004	<i>GridWise Architecture Council (GWAC)</i>
31	2007	<i>Smart-Grid Architecture Model (SGAM)</i>

Fonte: Emygdio (2021).

Na impossibilidade de se detalhar todos os modelos identificados, serão apresentados na próxima seção os *frameworks* aplicáveis ao setor elétrico por se relacionarem ao contexto da pesquisa doutoral realizada.

3.2 Frameworks industriais: aplicáveis ao setor elétrico

3.2.1 GridWise Architecture Council (GWAC)

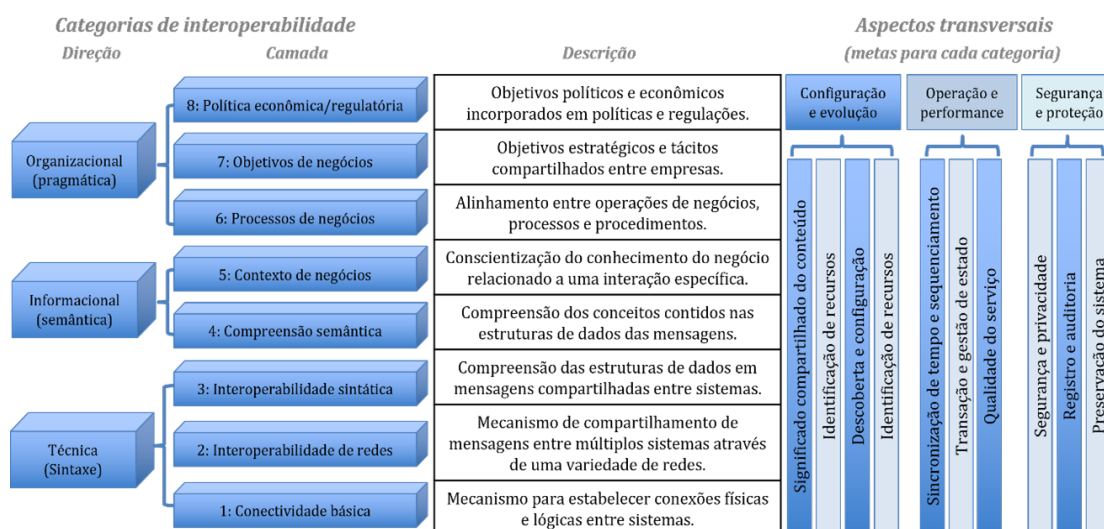
O *GridWise Architecture Council (GWAC)*¹¹, formado pelo Departamento de Energia dos EUA, mantém um *framework* de interoperabilidade com uma abordagem de alto nível de categorização em oito camadas. Tais camadas, conhecidas por “pilhas GWAC”, estruturam um eixo vertical de graus de interoperação essenciais às interações e transações em uma Rede Inteligente.

As funcionalidades e recursos do *framework* são organizados por camadas, em ordem crescente de complexidade e sofisticação. Funcionalidades mais simples como as relacionadas aos equipamentos físicos e *software* para transmissão de dados estão limitadas às camadas mais baixas, os protocolos e aplicativos de comunicação residem em níveis mais altos. A funcionalidade comercial reside nos níveis superiores. Cada camada depende, e é ativada, pelas camadas abaixo dela.

Um conjunto de metas para prover qualidade ao *framework* são estabelecidas sob o âmbito de configuração e evolução, operações e performance, segurança e proteção (GWAC, 2011). Uma visão geral do *framework* é apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Arquitetura do Framework GWAC

¹¹ Maiores informações em: <https://www.gridwiseac.org>. Acesso em: 07/07/2022.



Fonte: Baseado em GWAC (2011) e NIST (2014), adaptado e traduzido pela autora.

3.2.2 Smart-Grid Architecture Model (SGAM)

Outro padrão de interoperabilidade para o setor é o Modelo de Arquitetura para Redes Inteligentes ou *Smart-Grid Architecture Model* (SGAM), mantido pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST) dos EUA, desde 2007¹², e baseado no *framework* da GWAC. O SGAM possibilita interações entre as camadas técnicas, os requisitos dos *stakeholders* e os requisitos das unidades de negócios, tendo por base um modelo conceitual para governança dos recursos da rede inteligente. O modelo conceitual estabelece 7 domínios, assim como as regras e serviços a eles relacionados, sendo: i) consumidores; ii) mercados; iii) provedores de serviço; iv) operações; v) geração; vi) transmissão e; vii) distribuição (NIST, 2014).

As interações entre a arquitetura tecnológica e os requisitos de negócios permitem compreender como os requisitos da rede inteligente são atendidos em cada interação da arquitetura e realizam-se a partir de quatro níveis tecnológicos: i) conceitual, ii) lógico, iii) físico, iv) implementação; e quatro camadas: i) negócio; ii) informação; iii) automação e iv) técnica. A fim de se estabelecer o ciclo de vida da arquitetura completa do SGAM, cada nível da arquitetura tecnológica é representado por um plano e o modelo conceitual original pode ser decomposto em domínios e zonas. No Quadro 2, apresenta-se brevemente os níveis tecnológicos e

¹² Por meio da Lei de Independência e Segurança Energética - EISA 2007.

camadas de interação, com exceção da etapa de implementação, por ser única para cada empresa (NIST, 2014).

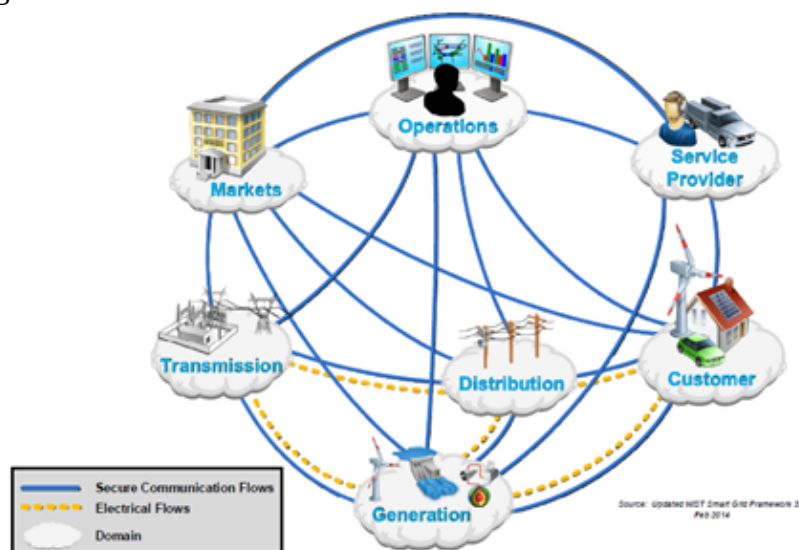
Quadro 2 - Níveis tecnológicos em que as interações ocorrem no SIGAM

PLANO	ASPECTOS
Conceitual (modelos de negócios)	Domínios: Produção, Transporte, Consumidor Zonas: Processo, Operação, Empresa
Lógico (modelo dos serviços)	Domínios: Geração, Transmissão, Distribuição, DER e Consumidor Zonas: Processo, Monitoramento e Entidades de controle, Operações, Empresa e Mercado.
Físico (especificação das aplicações e processos)	Domínios: Geração, Transmissão, Distribuição, DER e Consumidor Zonas: Sistema de força, Equipamento de campo, Pontos de concentração (subestações), Operações, Empresas e Mercado.

Fonte: NIST, 2014.

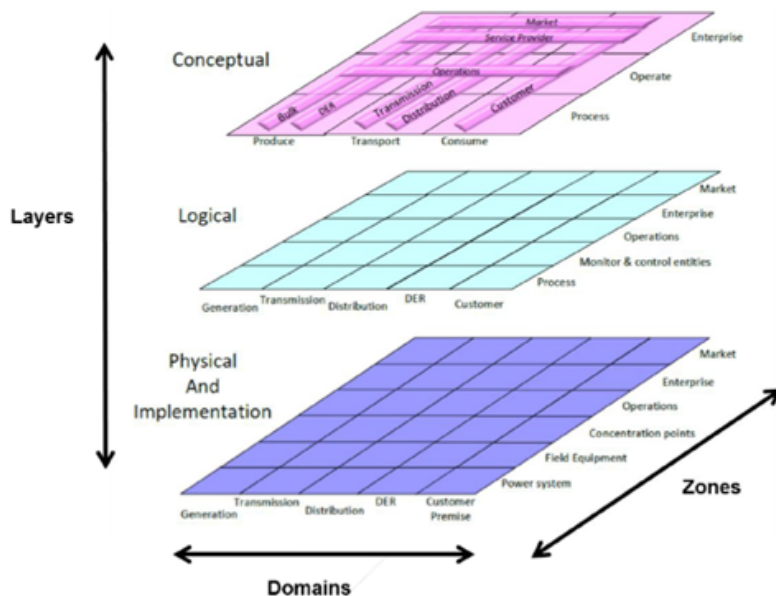
O Modelo conceitual (a) é composto de domínios e interações que possibilitam a funcionalidade da rede, conforme ilustrado na Figura 5a.

Figura 5a - Ciclo de vida do *Framework* SGAM: Modelo conceitual



Fonte: Adaptado de NIST (2014, p.132).

O modelo conceitual (Figura 5a), acompanhado das camadas, planos e zonas do SGAM, ilustrado na Figura 5b, define o ciclo de vida proposto pelo *framework*.

Figura 5b - Ciclo de vida do *Framework* SGAM: Camadas, Domínios e Zonas

Fonte: Adaptado de NIST (2014, p.132 e p.135).

O NIST tem como princípio aplicável às interações, a harmonização de padrões dentre as múltiplas organizações provedoras, sendo elencados em NIST (2014), 71 padrões para a área de energia.

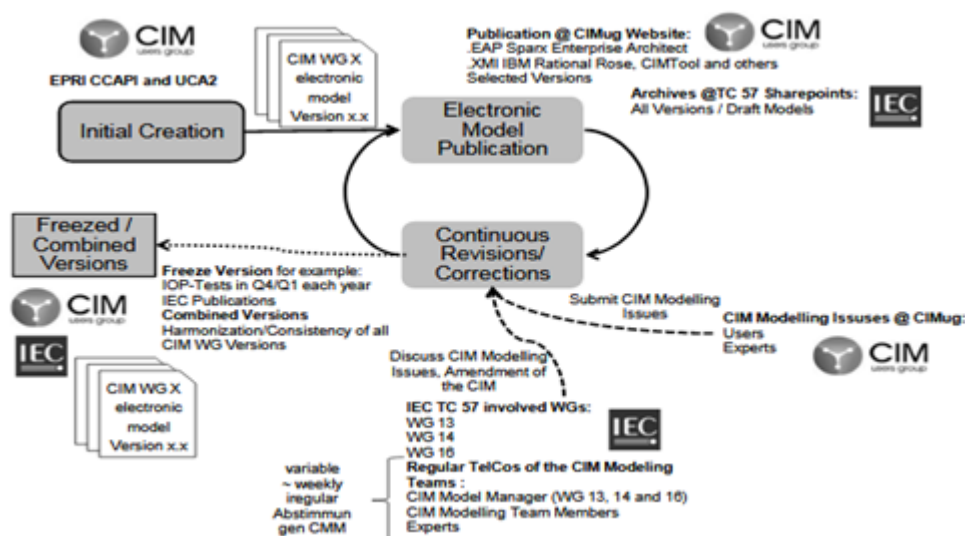
3.2.3 Common Information Model (CIM)

O *Common Information Model* (CIM) teve sua origem em meados dos anos 90, possuindo um propósito inicial de prover um esquema relacional para sistemas EMS e SCADA. No entanto, ao longo do tempo e ao adotar uma abordagem orientada a objetos, teve sua aplicabilidade ampliada, possibilitando a modelagem de todos os objetos relevantes e suas relações, no âmbito da distribuição, transmissão e geração de energia elétrica (USLAR *et al.*, 2012). Possui uma ontologia de domínio capaz de cobrir aspectos voltados às subpartes do modelo, como geração, interrupção, documentação, transmissão, fios, medições etc. Tem por foco a interoperabilidade semântica e, além de fornecer um modelo de dados semântico comum nas normas IEC 61970, 61968 e 62325, fornece também um conjunto de perfis, descrições de interfaces e casos de uso. O desenvolvimento do modelo de dados IEC CIM compreende várias etapas, desde a sua criação inicial até o provisionamento de uma nova versão do modelo eletrônico.

O CIM é um padrão aberto de modelagem de informações conceituais para descrever propriedades de gerenciamento independente de uma implementação específica.

Ele permite a troca de informações de gerenciamento entre sistemas e aplicativos através do (*Common Information Model Object Manager* (CIMOM), um mecanismo de gestão de objeto que existe entre o sistema gerenciado e o aplicativo de gerenciamento. O CIM apresenta as descrições de modelo reais e um conjunto de classes com propriedades e associações fornecendo uma estrutura conceitual dentro da qual é possível organizar as informações disponíveis sobre o ambiente gerenciado (USLAR *et al.*, 2012). O ciclo de vida do CIM é ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Ciclo de vida do Modelo CIM



Fonte: Adaptado de Uslar *et al.* (2012, p.43).

4 MODELOS DE MATURIDADE PARA INTEROPERABILIDADE

Por fim, uma revisão de literatura realizada por Jabin *et al.* (2019) revela 28 modelos de maturidade para interoperabilidade, concebidos no período de 1980 a 2017 para os domínios governamentais, empresariais e militares (defesa e segurança).

Os autores investigam a relevância dos testes de conformidade para avaliar a capacidade de uma ferramenta de *software* do tipo BIM¹³ interoperar dados com um padrão de troca de dados. Os resultados sinalizam que as certificações de *software* não têm garantido um alinhamento satisfatório entre um processo de interoperabilidade de dados consistente (sem perdas ou falhas), a manutenção da qualidade dos dados intercambiados e a satisfação das expectativas dos usuários na tomada de decisão. Os autores indicam a deficiência de fundamentação teórica nos

¹³ *Building Information Modeling.*

modelos atuais para interoperar aspectos sintáticos e semânticos relevantes para ferramentas do tipo BIM e propõem a inclusão de métricas provenientes da teoria de medição. Uma relação dos modelos de maturidade estudados pelos autores organizados por âmbito de aplicação pela autora é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - Modelos de maturidade para interoperabilidade em *frameworks*

NOME DO MODELO		SIGLA
MILITARES (DEFESA E SEGURANÇA)		
1	<i>Quantification of Interoperability Methodology</i>	QoIM
2	<i>Interoperability Assessment Methodology</i>	IAM
3	<i>Organizational Interoperability Maturity Model for C2</i>	OIM
4	<i>Stoptlight</i>	SL
5	<i>System-of-Systems Interoperability</i>	SoSI
6	<i>The Layered Interoperability Score</i>	i-Score
7	<i>Spectrum of Interoperability Model</i>	SoIM
8	<i>Military Communications and Information Systems Interoperability</i>	MCSI
9	<i>Levels of Information System Interoperability</i>	LISI
10	<i>Layers of coalition interoperability</i>	LCI
11	<i>Levels of Conceptual Interoperability Model</i>	LCIM
12	<i>Non-Technical Interoperability Framework</i>	NTI
13	<i>Organizational Interoperability Agility Model</i>	OIAM
EMPRESARIAIS		
14	<i>Enterprise Interoperability Framework</i>	EIF
15	<i>Maturity model for enterprise interoperability</i>	MMEI
16	<i>A novel approach IMA of interoperability measurement</i>	IMA
17	<i>Business Interoperability Quotient Measurement</i>	BIQMM
18	<i>Semantic interoperability assessment</i>	SIA
19	<i>A reliability-based measurement of interoperability for systems of systems</i>	RBMoL
20	<i>INTERO - an Interoperability Model for Large Systems</i>	INTERO
21	<i>Ultra-large-scale systems interoperability framework</i>	ULSSIF
22	<i>Interoperability assessment in the deployment of technical processes</i>	IADTP

23	<i>Customizable interoperability assessment methodology</i>	CIAM
24	<i>Semantic interoperability evaluation model for devices in automation systems</i>	SIEMoD
25	<i>Testing VM interoperability at an OS and application level</i>	TIOSA
GOVERNAMENTAIS		
26	<i>Disaster Interoperability Assessment Model</i>	DIAM
27	<i>Government interoperability maturity matrix</i>	GIMM
28	<i>GridWise Interoperability Context-Setting Framework</i>	GwICSF

Fonte: Jabin *et al.* (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve por objetivo apresentar uma revisão de literatura acerca das arquiteturas de informação empresarial (AIEs) concebidas nas últimas 5 décadas, os *frameworks* de interoperabilidade mais relevantes que as sucederam, e os modelos de maturidade para interoperabilidade existentes. Buscou-se conhecer as particularidades de cada solução e as estratégias adotadas para favorecer o intercâmbio de dados, informações e conhecimento em domínios críticos da sociedade, visando reunir aportes para contrastá-los, em futuras publicações, às características das soluções contemporâneas de interoperabilidade baseadas em ontologias formais.

Para tanto, na Seção 2 apresentou-se os primórdios das AIEs e a evolução dos esforços de concepção ao longo do tempo. No início dos anos 80: distintas quanto ao tipo: *frameworks* técnicos e conceituais; desenvolvidas sob processos não colaborativos; fundamentação teórica pouco clara e abordagens sobrepostas; não possibilitaram interoperar os sistemas concebidos por seu intermédio. A partir dos anos 2000: enfoque no desenvolvimento de *frameworks* de interoperabilidade com maior atenção à estrutura de representação dos conceitos, problemas e conhecimento em interoperabilidade organizacional. A partir de 2008: enfoque na concepção de soluções capazes de articular estratégias distintas de interoperabilidade ao tratamento de barreiras ao alcance deste propósito nos níveis de negócios, processos, serviços e dados; passa-se a considerar o uso de ontologias de arquiteturas empresariais para prover interoperabilidade semântica.

Na Seção 3 apresentou-se um portfólio de 31 *frameworks* de interoperabilidade, organizados de acordo com o âmbito de aplicação: genéricos, governamentais,

industriais e militares. O conhecimento de seus detalhes favoreceu a compreensão das diferentes estratégias adotadas nas estruturas contemporâneas tridimensionais de AIEs para comportar as demandas mais avançadas de interoperabilidade, as evoluções tecnológicas constantes, a complexidade das operações inerentes a cada contexto e as interações humanas que ocorrem no microambiente e no macroambiente organizacional.

Na Seção 4 apresentou-se de forma breve, para efeito de registro, uma lista de 28 modelos de maturidade para interoperabilidade, elencados em estudo de avaliação da capacidade de determinadas ferramentas em interoperar dados com um padrão de troca de dados. A partir dos resultados obtidos a pesquisa sugere a inclusão de métricas capazes de sanar deficiências de fundamentação teórica existentes em modelos atuais para interoperar aspectos sintáticos e semânticos relevantes.

É importante mencionar que, embora tenha sido registrada na literatura a necessidade de se adotar ontologias para a concepção destes *frameworks*, dentre os padrões estudados, não se observou o emprego de teorias para fundamentar ontologicamente os modelos concebidos a partir destes *frameworks*. Adota-se, no modelo CIM, por exemplo, a Linguagem de Modelagem Unificada (UML), que possibilita a concepção de modelos para bancos de dados relacionais.

Conforme mencionado anteriormente, não se pretende esgotar as análises sobre estes *frameworks* em apenas uma publicação. Este artigo inicia uma série de publicações onde se pretende discutir contribuições que podem advir da adoção de ontologias formais para a concepção de *frameworks* ontológicos bem fundamentados, em contraposição às soluções apresentadas nesta revisão.

REFERÊNCIAS

CHEN, D.; DOUMEINGTS, G.; VERNADAT, F. Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future. *Computers in Industry*, v.59, n.7, 647–659, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.12.016>.

EUROPEAN COMISSION (EC). *New European Interoperability Framework*. European Union, Luxembourg, 2017. Disponível em: <https://ec.europa.eu/isa2/sites/isa/files/eif_brochure_final.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2022.

_____. *ISA² - Interoperability solutions for public administrations, business and citizens*. European Commission, 2020. Disponível em: <https://ec.europa.eu/isa2/isa2_en>. Acesso em: 07 jul. 2022.

EMYGDIO, J. L. *Interoperabilidade semântica orientada por ontologia para a Ciência da Informação: a metodologia Onto4All-Interoperability como resultado de estudo de caso no domínio de energia*. 2021. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

FREEMAN, R.; REED, D. I. Stockholders and Stakeholders: A New Perspective on Corporate Governance. *California Management Review*, v. 25, n. 3, 1983.

GRIDWISE ARCHITECTURE COUNCIL (GWAC). *Smart Grid Interoperability Maturity Model Beta Version*, December. 2011. Disponível em: <https://www.gridwiseac.org/pdfs/imm/sg_imm_beta_final_12_01_2011.pdf>. Acesso em: 20, mar. 2020.

HAGAN, P. J. Guide to the (Evolving) *Enterprise Architecture Body of Knowledge*. The MITRE Corporation, 8 set. 2013. Disponível em: <<https://www.mitre.org/publications/technical-papers/guide-to-the-evolving-enterprise-architecture-body-of-knowledge>>. Acesso em: 07 jul. 2022.

JABIN, J.; DIMYADI, J.; AMOR, R. Systematic literature review on interoperability measurement models. *Technical Report*, University of Auckland, 2019. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/332929374_Systematic_literature_review_on_interoperability_measurement_models>. Acesso em: 07 jul. 2022.

KARRAY, M. H. *et al.* The Industrial Ontologies Foundry (IOF) perspectives. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEROPERABILITY FOR ENTERPRISE SYSTEMS AND APPLICATIONS, TARBES. *CEUR Workshop Proceedings*. Online: 2021. Disponível em: <<https://www.nist.gov/publications/industrial-ontologies-foundry-iof-perspectives>>. Acesso em: 07 jul. 2022.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). Special Publication 1108r3. *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards*, Release 3.0. US Department of Commerce: National Institute of Standards and Technology, 2014, 239p. (Special. Publication. 1108r3)

SCHEEL, H. V. *et al.* Phase 1: Process Concept Evolution. In: ROSING, M. V.; SCHEEL, H. V.; SCHEER, A.-W. (eds.). *The Complete Business Process Handbook: Body of Knowledge from Process Modeling to BPM*. Elsevier: Amsterdam, 2014.

SMITH, B. Building Ontologies with Basic Formal Ontology. In: PROCEEDINGS OF THE 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOLOGICAL ONTOLOGY (ICBO 2018). Corvallis, Oregon, 7 ago. 2018. 1 vídeo (1:17:56). Disponível em: <<https://youtu.be/joC4NZgLtqA>>. Acesso em: 07 jul. 2022.

SMITH, B.; CEUSTERS, W. Ontological realism: A methodology for coordinated evolution of scientific ontologies. *Applied ontology*, v. 5, n. 3–4, p. 139–188, nov. 2010.

SMITH, B. *et al.* The OBO Foundry: coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. **Nature biotechnology**, v. 25, n. 11, 2007.

_____. A First-Order Logic Formalization of the Industrial Ontologies Foundry Signature Using Basic Formal Ontology. *CEUR - Workshop Proceedings, JOWO 2019 - The Joint Ontology Workshops*. p. 13, 2019.

THE OPEN GROUP STANDARD. *TOGAF® Standard, Version 9.2*. The Open Group, 2018. Disponível em: <<https://pubs.opengroup.org/architecture/togaf92-doc/arch/index.html>>. Acesso em: 07 jul. 2022.

_____. *The TOGAF® Standard, Version 9.2 Translation Glossary: English – Italian*. [s.l.] The Open Group, 2019.

TIGRE, P. B. *Gestão da Inovação: A Economia da Tecnologia no Brasil*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

USLAR, M.; *et al.* *The Common Information Model CIM: IEC 61968/61970 and 62325 - A practical introduction to the CIM (Power Systems)*. Berlin: Springer-Verlag, 2012.

VISUAL PARADIGM. *What is Zachman Framework*. 2020. Disponível em: <<https://www.visual-paradigm.com/guide/enterprise-architecture/what-is-zachman-framework/>>. Acesso em: 07 jul. 2022.

WALLACE, E. *et al.* The Industrial Ontologies Foundry Proof-of-Concept Project. *In: IFIP WG5.7 INTERNATIONAL CONFERENCE, APMS 2018. Proceedings [...] Part II*. Seoul, Korea, 2018. Disponível em: <<https://hal.inria.fr/IFIP-AICT-536/hal-02177875>>. Acesso em: 07 jul. 2021.

ZACHMAN, J. A. *The Concise Definition of The Zachman Framework by: John A. Zachman*. 2008. Disponível em: <<https://www.zachman.com/about-the-zachman-framework>>. Acesso em: 07 jul. 2022.

_____. *Zachman Glossary*. 2014. Disponível em: <<https://www.zachman.com/resource/ea-articles/171-zachman-glossary>>. Acesso em: 07 jul. 2022.