

Explorando padrões e normas associados ao RAMI 4.0: Um estudo descritivo

Erick Douglas de Lima (PUCPR) erick.douglas@pucpr.edu.br

Ewerton Guthavo Gorski (PUCPR) ewerton.gorski@pucpr.br

Eduardo de Freitas Rocha Loures (PUCPR, UTFPR) eduardo.loures@pucpr.br

Fernando Deschamps (PUCPR, UFPR) fernando.deschamps@pucpr.br

Resumo:

A Indústria 4.0 (I4.0) é uma revolução tecnológica que está ocorrendo em diversos setores de negócio e até mesmo em segmentos como na automação residencial, tráfego de veículos, sensoriamento ambiental, agricultura de precisão, entre outros. Para que uma organização consiga lidar com toda a complexidade inerente às tecnologias e conceitos da I4.0 é necessário um planejamento cuidadoso e bem desenvolvido analisando aspectos internos e externos do ecossistema onde determinada empresa está inserida com foco em critérios técnicos, operacionais e estratégicos. Desta forma, para garantir um desenvolvimento promissor das organizações a curto, médio e longo prazo rumo à quarta revolução industrial é essencial que se tenha um esforço inicial na busca por padrões e modelos referenciais de conceitos e arquiteturas com tendências de consolidação internacional e ampla aceitação industrial. Com este propósito, esse trabalho visa explorar o RAMI 4.0 que é um *framework* de arquitetura referencial orientada a serviços que contempla a ideia de um ecossistema cibernético abrangendo toda a cadeia produtiva. O *framework* do RAMI 4.0 reuni uma série de normas de padronização nacional e internacional com o objetivo de guiar de forma segura e eficiente a transição que está ocorrendo em direção à I4.0. Por fim, este estudo discute sobre as principais características e dificuldades inerentes ao escopo propositivo da arquitetura bem como algumas lacunas existentes.

Palavras chave: Indústria 4.0, RAMI 4.0, arquitetura empresarial, normas de padronização.

Exploring standards and norms associated with RAMI 4.0: A descriptive study

Abstract

Industry 4.0 (I4.0) is a technological revolution that is occurring in several business sectors and even in segments such as home automation, vehicle traffic, environmental sensing, precision agriculture, among others. For an organization to deal with all the inherent complexity of I4.0 technologies and concepts, careful and well-developed planning is necessary, analyzing internal and external aspects of the ecosystem where a particular company is inserted, focusing on technical, operational and strategic criteria. Thus, in order to guarantee the promising development of organizations in the short, medium and long term towards the fourth industrial revolution, it is essential that an initial effort be made to search for reference patterns and models of concepts and architectures with trends of international consolidation and wide industrial acceptance. With this purpose, this work aims to explore RAMI 4.0, which is a framework of service-oriented reference architecture that contemplates the idea of a cybernetic ecosystem covering the entire production chain. The RAMI 4.0 framework brings together a series of national and international standardization with the goal of safely and efficiently guiding the transition that is taking place towards I4.0. Finally, this study discusses as main characteristics and disadvantages inherent to the proposed architecture scope as well as some existing gaps.

Key-words: Industry 4.0, RAMI 4.0, enterprise architecture, standardizations norms.

1. Introdução

A evolução industrial vem ocorrendo desde o século XVIII quando a Inglaterra iniciou a 1ª Revolução Industrial introduzindo a máquina a vapor e assim, efetuando a mecanização de processos que antes eram realizados de forma manual. Logo após, a 2ª Revolução Industrial trouxe a eletricidade para as empresas possibilitando o surgimento de tecnologias de produção em massa. Na 3ª Revolução Industrial surgiu a tecnologia da informação junto com softwares e hardwares dedicados à melhoria da gestão de recursos e custos das organizações. Atualmente estamos em um período de transição em direção a 4ª Revolução Industrial que formará uma rede virtual de informações com objetos físicos (KAGERMANN e HELBIG, 2013).

O termo indústria 4.0 (I4.0) trata de uma revolução tecnológica que está ocorrendo em diversos setores de negócio e até mesmo em segmentos como na automação residencial, tráfego de veículos, sensoriamento ambiental, agricultura de precisão, etc. A indústria 4.0, ou também chamada de quarta revolução industrial, busca integrar através de sistemas inteligentes os mais diversos setores da indústria, aplicando tecnologias como internet das coisas (IoT), computação em nuvem e *Big Data Analytics* (SHROUF et al., 2014).

Como indicativo de que os conceitos de I4.0 realmente alavancam melhoras significativas em processos de manufatura, de acordo com um *survey* realizado pela consultoria *McKinsey*™ em 2016, 89% dos respondentes acreditam que a I4.0 contribua diretamente em sua efetividade operacional. Além disso, 80% garantem que o conceito proporciona melhorias em seus modelos de negócio. Hermann et al. (2016) indicaram quatro princípios fundamentais que impulsionam a Indústria 4.0: interconexão, transparência na informação, decisões descentralizadas e gestão de manutenção eficiente.

Embora a indústria 4.0 chame muita atenção devido às significativas melhoras que podem alavancar, sua implementação requer um planejamento estratégico e bem desenvolvido para que uma organização consiga lidar com toda a complexidade inerente as tecnologias e conceitos de I4.0. Muitos países têm investido pesadamente em pesquisa e desenvolvimento para não ficar para trás na quarta revolução industrial. Com isso, diferentes fabricantes criam tecnologias que não são compatíveis, gerando um cenário semelhante ao visto na época do surgimento das primeiras redes de dados, onde as empresas produziam diferentes computadores que não se comunicavam entre si. Para solucionar este problema a ISO criou o modelo OSI de referência, fazendo com que todos os fabricantes se baseassem neste modelo para criar seus dispositivos de acordo com esta padronização possibilitando que pudessem se comunicar com outros dispositivos de fabricantes distintos (TANENBAUM e WETHERALL, 2011). Este foi um esforço na busca de interoperabilidade - um dos requisitos em evidência em projetos de transformação digital (Liao et al., 2017) onde padrões e bases normativas representam um importante papel.

Na indústria 4.0, portanto, também deve haver padrões específicos que as empresas possam seguir, caso contrário, as organizações não poderão integrar efetivamente parceiros de negócios ou clientes se os padrões não forem seguidos. Com base nisso, este trabalho visa explorar o RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model for Industrie 4.0*) que é um *framework* de arquitetura referencial que associa conceitualmente diversas normas de padronização internacional que estão sendo desenvolvidas com o objetivo de guiar de forma segura e eficiente a transição que está ocorrendo rumo à quarta revolução industrial.

2. Arquiteturas empresariais e o RAMI 4.0

Com a meta de obter resultados satisfatórios a curto, médio e longo prazo, em termos de desempenho organizacional, é necessário analisar aspectos internos e externos do ecossistema onde determinada entidade industrial está inserida com foco em critérios técnicos, operacionais e estratégicos. Desta forma, para garantir um desenvolvimento promissor das organizações rumo à quarta revolução industrial é essencial que se tenha um esforço na busca por padrões e modelos referenciais, a fim de se obter uma linguagem comum entre as instituições e minimizar o risco de tomar decisões falhas e ineficientes. Com este propósito, existem diversos *frameworks* de arquitetura corporativa que podem ser utilizados para

determinar os princípios e padrões organizacionais que atuam de forma a auxiliar na execução e tomada de decisões.

Modelos de arquiteturas referenciais consagrados como o CIMOSA (*Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture*), GRAI-GIM (GRAI - *Integrated Methodology*), PERA (*Purdue Enterprise Reference Architecture*), GERAM (*Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology*) propõem mecanismos consistentes de integração e padronização de processos de negócio e tecnologias que moldam o funcionamento de uma empresa, sem, contudo revisitar aspectos que norteiam os objetivos de transformação digital incidentes sobre as organizações. Dentre os *frameworks* em evidência no cenário da quarta revolução industrial está o RAMI 4.0, construído e proposto pela *Plattform Industrie 4.0* e ZVEI. Sua estrutura pode ser vista na figura 1.

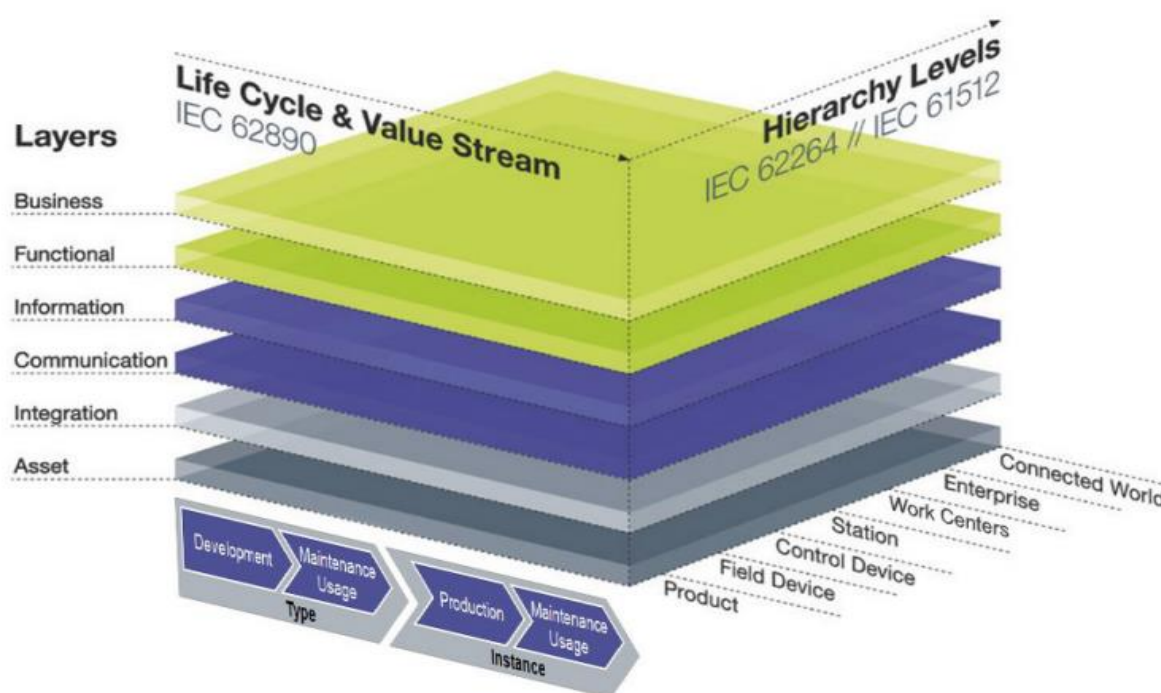


Figura 1 - Modelo RAMI 4.0 (Plattform Industrie 4.0 e ZVEI, 2015).

O RAMI 4.0 é uma arquitetura orientada a serviços que contempla a ideia de um ecossistema cibernético abrangendo toda a cadeia produtiva. O RAMI 4.0 é construído a partir de três dimensões: ciclo de vida e cadeia de valor (*life-cycle & value stream*), níveis de hierarquia (*hierarchy levels*) e camadas (*layers*) (Sino-German Industrie 4.0, 2018).

O ciclo de vida do produto (*life-cycle*) bem como os fluxos de valor (*value stream*) que ele contém é exibido ao longo do eixo horizontal à esquerda. O RAMI 4.0 utiliza a norma IEC 62890 como diretriz para a definição do ciclo de vida do produto, desde a pesquisa e desenvolvimento, até a sua assistência técnica. Os Níveis de Hierarquia (*hierarchy levels*) representados no terceiro eixo (horizontal à direita), define um modelo de interconexão de todos os elementos da produção, abrangendo informações, pessoas e máquinas e designando a localização das funcionalidades e responsabilidades de cada elemento dentro das fábricas. Esta arquitetura de hierarquia funcional segue os padrões IEC 62264 e IEC 61512 que classifica os níveis de função dentro da Indústria 4.0 tendo como objetivo ser flexível, interoperável e distribuída, provendo integração em todos os níveis hierárquicos. Por fim, as camadas (*layers*) são usadas no eixo vertical para representar as várias perspectivas em que projetos complexos são divididos em *clusters* de partes gerenciáveis. As camadas são usadas para representar perspectivas, como mapas de dados, descrições funcionais, comportamento de comunicação, hardware/ativos ou processos de negócios (Adolphs et al., 2015).

3. Padronizações e normas associadas ao RAMI 4.0

O RAMI foi desenvolvido para atuar na transição da I3.0 para a I4.0. Para implementar tal mudança o *framework* do RAMI dispõe de diversos padrões e normas de organizações internacionais que servem como base de sustentação de seus respectivos conceitos. De acordo com a *Plattform Industrie 4.0* e ZVEI a figura 2 (adaptada de Industry 4.0 Standards, 2017) exhibe algumas das principais normas que compõe o RAMI 4.0 seguindo uma orientação associativa a elementos pertencentes ao escopo conceitual da indústria 4.0 (Liao et al., 2017). Cada uma destas normas será detalhada e explicada, para que sua função dentro do RAMI 4.0 seja melhor compreendida.

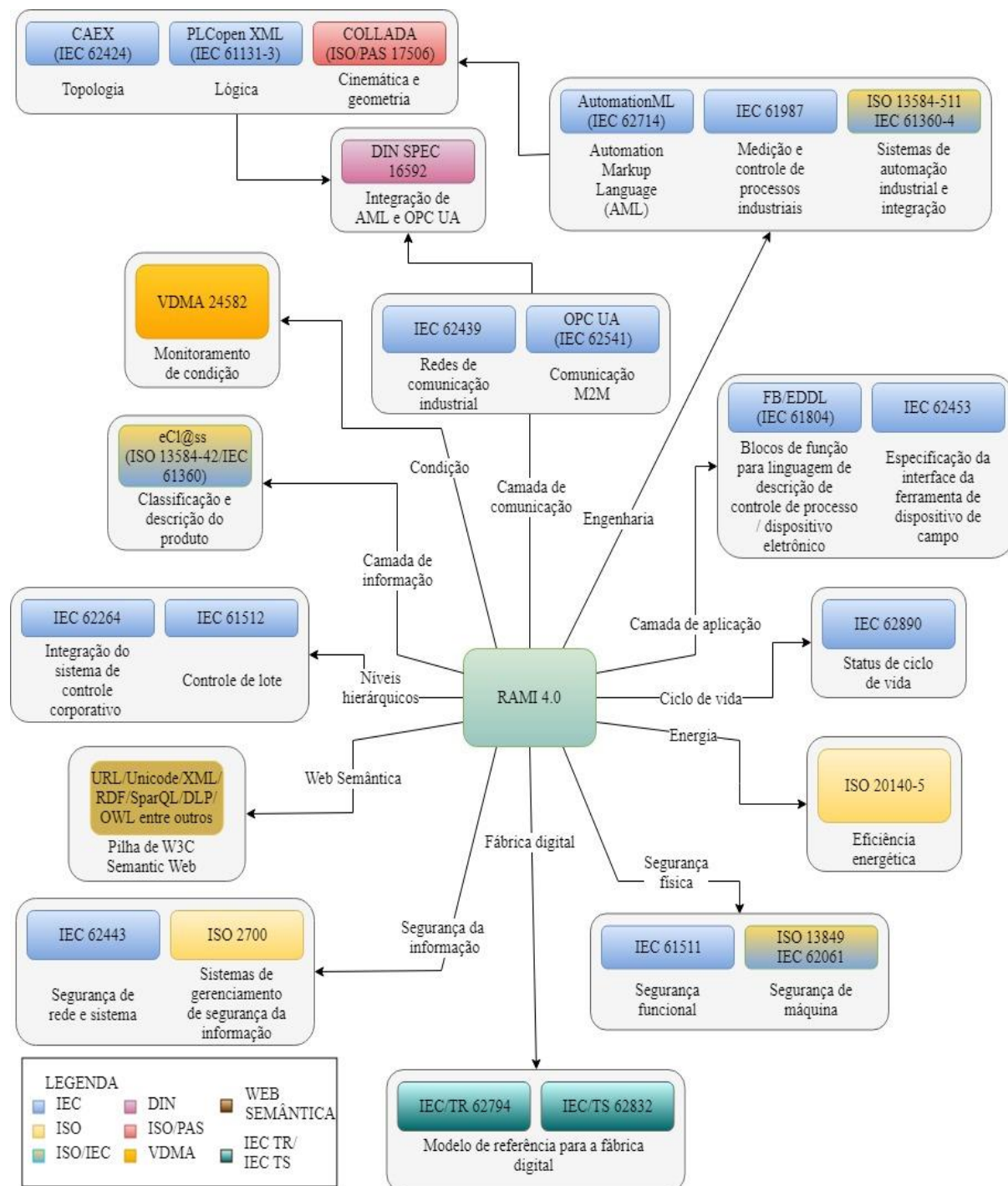


Figura 2 - Normas e padrões relacionados ao RAMI 4.0.

3.1 Fábrica digital

Para o *design* de fábricas digitais em relação a medição, controle e automação de processos industriais o RAMI se baseia nas seguintes normas:

IEC 62832 Estrutura de fábrica digital: Este padrão fornece um *framework* utilizado para construir e manter representações de sistemas de produção, incluindo os elementos, as relações entre esses elementos e a troca de informações sobre esses elementos. Esta norma busca reduzir as deficiências de interoperabilidade para a troca de informações nos sistemas de produção (IEC, 2016).

IEC TR 62794 Modelo de referência para representação de instalações de produção: Esta norma propõe um modelo de referência para representação de fábrica digital que compreende uma descrição abstrata para ativos de automação (máquinas, dispositivos e softwares) e relações estruturais e operacionais (IEC, 2012).

3.2 Camada de aplicação

A camada de aplicação tem como objetivo criar uma base de recursos de dados dinâmicos com informações coletadas a partir de diversas fontes de dados advindas da cadeia produtiva de determinada organização (Trappey et al., 2016). Os principais padrões desta camada são:

IEC 62453 (FDT – Field Device Tool): Esta norma é usada para a padronização de interfaces de configuração e comunicação entre equipamentos de campo e servidores. O equipamento pode ser configurado, operado e mantido através das interfaces de usuário (Trappey et al., 2016).

IEC 61804 (EDDL - Electronic Device Description Language): É usada para descrever as características de comunicação digital e parâmetros do equipamento. A tecnologia EDDL permite que diversos equipamentos de fabricantes diferentes se comuniquem, ou seja, o EDDL funciona como um protocolo de comunicação entre diferentes dispositivos (Trappey et al., 2016).

3.3 Segurança do trabalho

Para segurança no trabalho as normas presentes no RAMI 4.0 são as seguintes:

IEC 61508 Segurança funcional de sistemas elétricos/eletrônicos relacionados à segurança: A norma IEC 61508 define os padrões para sistemas relacionados à segurança elétrica/eletrônica para garantir que os sistemas sejam projetados, implementados, operados e mantidos de maneira que o nível de integridade de segurança (SIL) necessário seja provido. O SIL tem 4 níveis, sendo o nível mais alto usado como requisito de proteção para os maiores riscos.

IEC 61511 Segurança funcional - Sistemas de segurança instrumentados para o setor da indústria de processo: O IEC 61511 é um padrão internacional que fornece requisitos para a especificação, projeto, instalação, operação e manutenção de um sistema instrumentado de segurança, para que este possa garantir um funcionamento seguro de toda a cadeia produtiva.

ISO 13849 Segurança de máquinas: Fornece requisitos e orientação para o dimensionamento de comandos de segurança voltados à segurança de máquinas baseado em probabilidades de ocorrência de riscos. Esta norma estabelece diferentes níveis de desempenho de segurança.

3.4 Segurança da informação

Como o RAMI 4.0 é um *framework* que tem como foco sistemas ciber-físicos abrangendo toda a cadeia produtiva realizando a aquisição, propagação e manuseio de diversas informações extremamente importantes e sigilosas, ele dispõe de rígidos padrões e normas que tem como objetivo minimizar as vulnerabilidades dos sistemas computacionais utilizados tornando-os mais robustos e confiáveis. Para isto, as seguintes normas são utilizadas:

ISA/IEC 62443 Segurança para automação industrial e sistemas de controle: Este padrão apresenta uma série de normas, relatórios técnicos e informações que especificam procedimentos necessários para o provimento de segurança em sistemas de controle e automação industrial (SIGC). A ISA/IEC 62443 define os requisitos de ciclo de vida para o desenvolvimento de produtos destinados ao uso no ambiente de SIGC de maneira a atender aos requisitos de *cyber* segurança descritos para cada elemento. A descrição do ciclo de vida inclui a definição de requisitos de segurança, *design* seguro, implementação segura (incluindo diretrizes de codificação), verificação e validação, gerenciamento de defeitos, gerenciamento de *patches* e final de vida útil do produto (IEC, 2018).

ISO/IEC 27000 Padrão para gerenciamento de segurança de sistemas de informação: Fornece recomendações de boas práticas e uma visão geral sobre o gerenciamento, controle e riscos dentro do contexto de um sistema geral de gerenciamento de segurança de informações. A norma também oferece um glossário com termos e definições fundamentais usados em toda a família ISO/IEC 27000 (IEC, 2018).

3.5 Web Semântica

A Web Semântica é uma arquitetura proposta pela W3C que engloba ontologias, padrões e protocolos que descrevem uma série de camadas e tecnologias onde cada uma destas deve obrigatoriamente ser complementar e compatível com as camadas inferiores, de modo que nenhuma camada dependa das camadas superiores, permitindo uma estrutura efetivamente escalável (Ramalho et. al., 2010). De acordo com Berners-Lee et al. (2001): “A Web Semântica é uma extensão da Web atual, onde a informação possui um significado claro e bem definido, possibilitando uma melhor interação entre computadores e pessoas”.

3.6 Níveis hierárquicos

Integração do sistema de controle corporativo: A integração do sistema de controle administrativo pode trazer uma série de vantagens para o negócio, dentre eles, otimização de processos, redução de retrabalho, diminuição de erros, controle de métricas e indicadores. O IEC 62264 é um padrão baseado em ANSI/ISA-95 que define os termos e modelos entre os sistemas de negócios corporativos e os sistemas de controle de chão de fábrica. É um padrão internacional para integração de sistemas de controle corporativo. O padrão pode ser usado para reduzir o esforço associado à implementação de novas ofertas de produtos. O objetivo é ter sistemas corporativos e sistemas de controle que interajam e se integrem facilmente (Chuang, 2016).

Controle de lote: Dentro das indústrias, o controle dos lotes é essencial. Lotes são compostos de produtos que são fabricados dentro de determinado período e na mesma linha de produção. A IEC 61512 definiu os modelos para controle de batelada (lotes) conforme utilizados nas indústrias de processo e termos que ajudam a explicar as relações entre esses modelos e terminologias. O padrão IEC 61512 buscou resolver os seguintes problemas: falta de um modelo universal para controle de lotes, dificuldade em comunicar a necessidade do usuário, integração entre fornecedores de automação de batelada, dificuldade na configuração do controle de batelada (Chuang, 2016).

3.7 Camada de informação

Classificação e descrição do produto: Para diferenciar os produtos cria-se padrões que os caracterize como únicos, ou seja, dados exclusivos. A eCl@ss é um desses sistema de classificação e está diretamente associada aos padrões ISO 13584 e IEC 61360, que caracterizam o que é um sistema para classificação e descrição do produto. Para o eCl@ss como um sistema de classificação, o elemento estrutural mais fundamental é a categoria de classificação. Com a ajuda de categorias de classificação, os produtos são divididos em certas classes de produtos similares, os chamados grupos de produtos. Cada grupo de produtos é encontrado apenas uma vez na estrutura hierárquica da árvore. Cada classe de

classificação tem um identificador único (ID), um nome preferido e um nome codificado que representa a estrutura de classificação (Hepp et al., 2007).

3.8 Camada de comunicação

Redes de comunicação industriais: As redes de comunicação industriais surgiram devido à demanda de segurança de informação e pela velocidade das informações, pois são totalmente dedicadas. Várias redes *Ethernets* industriais são padronizadas na IEC 61158 - IEC 61784. As redes de automação baseadas em *Ethernet* desfrutam de uma crescente popularidade e estão substituindo cada vez mais os tradicionais barramentos de campo (*fieldbus*). Neste contexto, a IEC 61784 descreve um conjunto de tecnologias de rede de automação que têm em comum os quadros IEEE 802.3 e a camada física. A maioria das redes *Ethernet* industriais não possui muitos dos recursos encontrados nas tradicionais *fieldbus*, muitas vezes sem redundância. Para fornecer redundância independente de protocolo em redes de automação, o grupo de trabalho IEC SC65C 15 produziu a série padrão IEC 62439 que define métodos de redundância em redes *Ethernet* comutadas aplicáveis a uma variedade de redes industriais, com diferentes soluções dependendo do comportamento em tempo real e no nível de redundância desejado (Kirmann et al., 2011).

Comunicação *machine to machine*: O padrão de Arquitetura Unificada OPC (OPC UA) foi desenvolvido para resolver problemas de interoperabilidade, caracterizando-se especial interesse à comunicação M2M (*machine to machine*). A aplicação M2M remete ao uso da IEC 62541 (Chuang, 2016). O objetivo da fundação para o OPC UA era fornecer um caminho a partir do modelo de comunicações OPC original para uma arquitetura orientada a serviços (SOA) multi-plataforma para melhorar a segurança e fornecendo um modelo de informação.

3.9 Engenharia

Sistemas de automação industrial e integração: Para estabelecer uma linguagem comum entre os sistemas e os fornecedores (*supply chain*) criou-se o Dicionário Comum de Dados IEC (IEC CDD). Este dicionário é um repositório comum de conceitos para todos os domínios eletrotécnicos, baseado na metodologia e no modelo de informações da série IEC 61360. Tanto os catálogos eletrônicos quanto bancos de dados de engenharia incluem não apenas dados de componentes, mas também sua própria ontologia. Os principais padrões internacionais para ontologia no ramo de sistemas de automação industrial e integração são a ISO 15926-5 e IEC 61360-4: 1998 (Bellatreche et al., 2006).

Medição e controle de processos industriais: Engloba as estruturas de dados e elementos em catálogos de equipamentos de processo. A IEC 61987, que está diretamente ligada a medição de controle de processos industriais, define um padrão para facilitar a compreensão da medição do processo e controlar as descrições de equipamentos quando transferidos de uma parte para outra (Lu et al., 2006).

Linguagem de marcação de automação: A criação de linguagens comuns para automação industrial, foi necessária para facilitar a programação de sistema e dispositivos para automação, afim de diferenciar das linguagens já utilizadas em softwares. O *AutomationML*, como citado anteriormente, associa-se a uma série de padrões abertos (IEC 62714) para descrever plantas de produção ou componentes de plantas. Esses padrões fornecem um formato de troca de dados para uso em engenharia de sistemas de automação industrial (Henben et al., 2014).

Cinemática e geometria: A ISO/PAS 17506 descreve o esquema COLLADA. COLLADA é uma atividade de design colaborativa que define um esquema baseado em XML para permitir que aplicativos de criação em 3D troquem livremente ativos digitais sem perda de informações, permitindo que vários pacotes de software sejam combinados em cadeias de ferramentas extremamente poderosas. O objetivo da ISO/PAS 17506 é fornecer uma especificação para o esquema COLLADA com detalhes suficientes para permitir que desenvolvedores de software criem ferramentas para processar recursos COLLADA (Mazak et al., 2017).

Lógica: A *PLCopen* é uma organização independente que fornece eficiência em automação industrial com base nas necessidades dos usuários. Os membros da *PLCopen* concentraram-se nas especificações técnicas em torno da IEC 61131-3, criando especificações e implementações para reduzir os custos em engenharia industrial. O IEC 61131-3 é um padrão de programação aceito industrialmente, muitas empresas de software e hardware industriais oferecem produtos baseados nesse padrão que no final são usados em diversos tipos de máquinas e outros campos de aplicação (Chuang, 2016).

Topologia: Topologia é o ramo da matemática que estuda os espaços topológicos, sendo considerado como uma extensão da geometria. O centro da *AutomationML* (AML) é o formato de dados de nível superior CAEX, um formato de dados neutro de acordo com IEC 62424, que interconecta formatos de dados estabelecidos para os aspectos de engenharia relacionados a topologia, geometria, cinemática, comportamento e informações de sequenciamento. Portanto, uma característica básica da AML é uma arquitetura de documento distribuída inerente focando nos aspectos de engenharia mencionados acima (Yim, 2006).

Integração de AML e OPC UA: Foi publicada uma especificação complementar OPC UA, assim como uma especificação DIN SPEC 16592, que define um mapeamento de modelos *AutomationML* para um modelo de informação OPC UA. Uma engenharia conduzida por modelo de um componente I4.0 pode ser realizada a partir de um modelo *AutomationML* expressando as propriedades e capacidades de um componente I4.0. Desta forma, um servidor OPC UA pode ser gerado permitindo atuar como interface para uma implementação AAS (*Asset Administration Shell*) para o componente I4.0 (Diedrich et al., 2017).

3.10 Energia

Eficiência energética: A eficiência energética é uma atividade que procura melhorar o uso das fontes energéticas e para esta finalidade a ISO 20140 estabelece uma visão geral e princípios gerais de um método para avaliação da influência ambiental de sistemas de manufatura (Lu et al., 2006). A manufatura sustentável refere-se à criação de produtos que empregam processos não poluentes, conservadores de recursos energéticos e naturais, e economicamente viáveis para a organização de manufatura e consumidores. A manufatura sustentável concentra-se em três áreas principais de impacto: ambiental, econômica e social (3BL - *triple bottom line*).

3.11 Condição

Condição de monitoramento: A especificação VDMA 24582 descreve uma abordagem para o desenvolvimento de uma arquitetura de referência neutra em *fieldbus* para o sistema de monitoramento de condições. Os pontos de partida para essa abordagem são as informações sobre condições atualmente disponíveis em sistemas e dispositivos de campo de fabricantes de componentes de tecnologia relevantes para a automação e a questão básica de como esses componentes podem receber uma estrutura uniforme para permitir a comunicação entre eles (Wollschlaeger et al., 2015).

3.12 Ciclo de vida

Status do ciclo de vida: O gerenciamento do ciclo de vida de sistemas e produtos usados na medição, controle e automação de processos industriais consiste em elaborar um modelo de dados durante todo o ciclo de vida, para que esses dados possam ser usados no fluxo de valor e no nível de ciclo de vida do RAMI 4.0 (Chuang, 2016). O relatório de status do RAMI 4.0 é centrado em torno dos padrões IEC 62890 para estruturar o ciclo de vida e o fluxo de valor, combinados com os dois padrões IEC 62264 (ISA-95) e IEC 61512 (ISA-88) para estruturar os níveis hierárquicos (Carlsson et al., 2016).

4. Discussões

Os padrões de interoperabilidade de equipamentos são a chave para que a IoT possa ser colocada em prática de forma mais efetiva, atualmente ainda não existe um padrão seguido por todas as fabricantes de dispositivos, isso implica muitas vezes em ter de usar soluções alternativas que nem sempre funcionam de maneira ideal. Num futuro próximo, com a constante transição rumo a I4.0 os fabricantes de dispositivos devem começar a utilizar padrões como a IEC 61804 (EDDL - Electronic Device Description Language) que é uma linguagem de descrição de dispositivos eletrônicos que possibilita a comunicação entre diferentes equipamentos. Outro fator problemático para o RAMI 4.0 é a questão de segurança da informação, pois mesmo seguindo normas internacionais de qualidade e controle, devido a rápida evolução tecnológica, muitos sistemas computacionais e dispositivos possuem brechas de segurança das quais as normas não possuem mecanismos de preveni-las. Isto impacta profundamente em uma convergência de padronizações técnicas globais, dificultando a adoção de normas e fazendo com que cada sistema de informação seja produzido com base em padrões de segurança diferentes ou até mesmo proprietários.

Outro ponto importante de se observar é que o RAMI 4.0 destaca a organização, funções e interatividade dos elementos envolvidos na arquitetura, mas os detalhes de sua implementação ainda não estão evidenciados (Langmann e Rojas-Pena, 2016). Também não mostra explicitamente os detalhes sobre a comunicação entre máquinas e “coisas” para orientar os produtos no processo de fabricação de acordo com suas operações necessárias (Pisching et. al., 2017).

Segundo Ray et al. (2017) os conceitos e métodos descritos nas normas necessitam de revisões para determinar até que ponto eles são adequados para aplicações no ambiente da I4.0. A adoção do RAMI 4.0 facilita a implementação de sistemas e arquiteturas voltadas a I4.0 por meio de soluções não proprietárias de sistemas existentes, permitindo que as indústrias possam acompanhar a transição dos sistemas legados para sistemas com foco na I4.0. Conforme o estudo de Ray et al. (2017), o RAMI 4.0 de fato considera a flexibilidade para a descrição e implementação da I4.0 levando em conta a migração dos sistemas atuais para sistemas da I4.0.

5. Conclusão

A adoção de Arquiteturas Empresariais (EA) pode oferecer grandes benefícios organizacionais como melhorias no alinhamento organizacional, redução do tempo de desenvolvimento, redução dos riscos, maior agilidade estratégica, plataforma operacional mais confiável, entre outros benefícios. Neste artigo, foram exploradas as principais normas de padronização que fazem parte do RAMI 4.0, pois no cenário atual em que as indústrias estão em processo de transição da I3.0 para a I4.0 é essencial que existam normas de adoção global. Estas normas fazem com que as tecnologias e processos internos e externos a uma organização tenham menos chances de fracasso bem como proveem agilidade na cadeia de produção e se tornam uma referência para a avaliação do nível de maturidade de uma empresa frente aos seus objetivos cruciais. É importante ressaltar que muitos padrões relevantes da I4.0 estão no estágio de desenvolvimento e devem ser incorporados pelo RAMI 4.0 ao longo do tempo. Este estudo discute apenas algumas normas principais, porém fica latente a ampliação da análise de outros padrões pertencentes ao cenário de transformação digital que estão surgindo, bem como quais são os impactos causados nas organizações onde estas normas já foram implementadas.

Este trabalho tem a finalidade de explorar as normas e padrões, tendo em vista também, demonstrar que elas estão em constante evolução. A proposta de adoção do RAMI 4.0 como modelo de referência é nortear as organizações no processo de transição para a 4ª revolução industrial, pois é evidente que as necessidades e objetivos de cada empresa são diferentes, porém todas podem obter excelentes resultados se empregarem de forma correta tecnologias de I 4.0 que estão surgindo como *Big Data Analytics*, IoT, *Machine Learnign*, *Cloud computing*, etc. Estas tecnologias e conceitos devem estar alinhadas com uma proposta de arquitetura empresarial com tendência de consolidação internacional como o RAMI 4.0.

Assim, as chances de sucesso de uma organização obter êxito em suas decisões rumo a 4ª revolução certamente serão maiores.

Referências

ADOLPHS, P., BEDENBENDER, H., DIRZUS, D., EHLICH, M., EPPLE, U., HANKEL, M., HEIDEL, R., HOFFMEISTER, M., HUHLE, H., KÄRCHER, B., KOZIOLEK, H., PICHLER, R., POLLMEIER, S., SCHEWE, F., WALTER, A., WASER, B., WOLLSCHLAEGER, M. Status Report - Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Technical report, DKE – German Commission for Electrical, Electronic and Information Technologies of DIN and VDE/ZVEI: Die Elektroindustrie (2015).

BELLATRECHE, L., DUNG, N.X., PIERRA, G., HONDJACK, D. Contribution of ontology-based data modeling to automatic integration of electronic catalogues within engineering databases. *Computers in Industry*, vol. 57, issues 8–9, pp 711-724, 2006.

BERNERS-LEE, T. Semantic Web Concepts. 2005. Disponível em: Disponível em: <<https://www.w3.org/2005/Talks/0517-boit-tbl/>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

CARLSSON, O., VERA, D., DELSING, J., AHMAD, B., HARRISON, R. Plant descriptions for engineering tool interoperability. *IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 2016.

CHUANG, A.C.C. Discuss the standard of Industry 4.0. Department of Industrial Engineering and Engineering Management, National Tsing Hua University, Taiwan, 2016.

DA ROSA, Antônio José; DE OLIVEIRA, Eduardo Gomes. Arquitetura Empresarial - uma ferramenta para promover o alinhamento da ti com a área de negócios das organizações. *Revista de Sistemas e Computação*, Salvador, v. 5, n. 1, p. 15-25, jun. 2015.

DIEDRICH, C., BELYAEV, A., SCHRÖDER, T., VIALKOWITSCH, J., WILLMANN, A., USLÄNDER, T., KOZIOLEK, H., WENDE, J., PETHIG, F., NIGGEMANN, O. Semantic interoperability for asset communication within smart factories. *22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies And Factory Automation*, Limassol, Cyprus, 2017.

DIN SPEC 16592-2016-12, Combining OPC Unified Architecture and Automation Markup Language, Beuth Verlag, December 2016.

HENBEN, R., SCHLEIPEN, M. Interoperability between OPC UA and AutomationML. *Procedia CIRP*, vol. 25, pp 297-304, 2014.

HEPP, M., LEUKEL, J., SCHMITC, V. A quantitative analysis of product categorization standards: content, coverage, and maintenance of eCl@ss, UNSPSC, eOTD, and the RosettaNet Technical Dictionary. *Knowledge and Information Systems*, vol. 13, n. 1, pp 77-144, Germany, 2007.

Industry 4.0 Standards (2017). Disponível em: <http://i40.semantic-interoperability.org/>. Acessado em 29/06/2018.

International Electrotechnical Commission, Geneva. IEC61784-2, Additional profiles for ISO/IEC 8802.3 based communication networks in real-time applications, 2006.

J. WETHERALL, DAVID, TANENBAUM, ANDREW. “Redes de Computadores”. Tradução da 5a.edição, 2011. PEARSON EDUCATION - BR

KAGERMANN, HENNING, WOLFGANG WAHLSTER, AND JOHANNES HELBIG. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0. Berlin: Industrie 4.0 Working Group of Acatech, 2013.

KIRRMANN, H., KLEINEBERG, O., WEBER, K., WEIBEL, H. Seamless and low-cost redundancy for substation automation systems (high availability seamless redundancy, HSR). *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1–7, 2011.

LANGMANN, R., & ROJAS-PENA, L. F. A PLC as an Industry 4.0 component. In *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, IEEE. pp. 10–15, 2016.

LIAO, Y., LOURES, E. R., DESCHAMPS, F., RAMOS, L. F. P. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research* (Print), v. 1, p. 1-21, 2017.

LU, Y., MORRIS, K., FRECHETTE, S. Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems. National Institute of Standards and Technology, NISTIR 8107, 2016.

MARCOS A. PISCHING, MARCOSIRIS A.O. PESSOA, FABRÍCIO JUNQUEIRA, DIOLINO J. DOS SANTOS FILHO, PAULO E. MIYAGI. An architecture based on RAMI 4.0 to discover equipment to process operations required by products, Computers & Industrial Engineering, 2018.

MAZAK, A., WIMMER, M., HUEMER, C., KAPPEL, G., KASTNER, W. Rahmenwerk zur modellbasierten horizontalen und vertikalen Integration von Standards für Industrie 4.0. In: Vogel-Heuser B., Bauernhansl T., ten Hompel M. (eds) Handbuch Industrie 4.0 Bd.2. Springer Reference Technik. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2017.

Platform Industrie 4.0. (2016). Referencial Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Disponível em: <http://www.plattformi40.de/I40/Navigation/EN/InPractice/Online-Library/online-library.html>. Acessado em 20/06/2018.

RAMALHO, R. A. S., VIDOTTI, S. A. B. G., FUJITA, M. S. L. Web semântica: uma investigação sob o olhar da Ciência da Informação. Revista de Ciência da Informação, Rio de Janeiro, v.8, n.6, dezembro 2007.

RAY, Y., ZHONG, XUN XU, KLOTZ, E., STEPHEN, T. NEWMAN. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review, Engineering, Volume 3, Issue 5, 2017, P 616-630.

SHROUF, F.; ORDIERES, J.; MIRAGLIOTTA, G. Smart Factories in Industry 4.0: A Review of the Concept and of Energy management Approached in Production Based on the Internet of Things Paradigm. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Selangor, Malásia, 697-701, dezembro de 2014.

Sino-German Industrie 4.0/Intelligent Manufacturing Standardisation Sub-Working Group. Alignment Report for Reference Architectural Model for Industrie 4.0/ Intelligent Manufacturing System Architecture. 2018. Disponível em: <https://www.plattform_i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/hm-2018manufacturing.pdf;jsessionid=57BEE97B684F0671356C0952D3656229?__blob=publicationFile&v=2>. Acesso em: 16 jun. 2018.

The Institute of Electrical and Electronic Engineers. CSMA/CD access method and physical layer specifications. IEEE Std 802.3, 2005.

TRAPPEY, AMY J.C.; TRAPPEY, CHARLES V.; HAREESH GOVINDARAJAN, USHARANI; CHUANG, ALLEN C.; SUN, JOHN J. A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0, Advanced Engineering Informatics, Volume 33, Pages 208-229, Agosto de 2017.

VERMESAN, OVIDIU; FRIESS, PETER. Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment. Dinamarca: River Publishers, 2014. 143 p.

YIM, S. Y. Using process topology in plant-wide control loop performance assessment. Computers & Chemical Engineering, vol. 31, pp 86-99, 2006.

WOLLSCHLAEGER, M., THEURICH, S., WINTER, A., LUBNAU, F., PAULITSCH, C. A Reference Architecture for Condition Monitoring. Proceedings World Conference on Factory Communication Systems Systems (WFCS), 2015.

ZVEI. 2015. The Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Frankfurt: German Electrical and Electronic Manufacturers' Association.