

Análise Comparativa entre Plataformas para o Desenvolvimento da Indústria 4.0

Mateus Hanauer da Silva e Carine Geltrudes Webber

Resumo

A Indústria 4.0 é a nova era da manufatura. Com ela sistemas de manufatura e tecnologias são fortemente integrados permitindo a interação dos domínios físicos e digitais, as fábricas inteligentes utilizam-se desta integração para habilitar recursos de otimização, configuração e diagnóstico de maneira autônoma. As ferramentas tecnológicas para realizar a integração e controle dos dispositivos fabris são recursos de plataformas que tornam *smart factories* possíveis. O objetivo desta pesquisa é identificar e avaliar as principais plataformas disponíveis no mercado, indicando ao final do processo a melhor opção de acordo com uma série de critérios definidos. Para a construção da análise e geração de resultados foi utilizado o método AHP, que se caracteriza por ser um método de análise comparativo multicritério, que utiliza uma escala de pontuações que ao término determina a melhor alternativa baseada na nota final. Com esse estudo conclui-se qual a melhor plataforma para o desenvolvimento da Indústria 4.0 de acordo com os critérios definidos, somado a isso foi possível evidenciar a qualidade e a abrangência tecnológica das opções disponíveis no mercado.

Palavras-chave

Fábricas Inteligentes, Indústria 4.0, Sistemas Ciber Físicos, Plataformas IoT, Método Analítico Hierárquico.

Comparative Analysis Among Platforms for Industry 4.0 Development

Abstract

Industry 4.0 is the new era of manufacturing. With which manufacturing systems and technologies are tightly integrated allowing the interaction of the physical and digital domains, smart factories use this integration to enable optimization, configuration and diagnostic capabilities autonomously. The technological tools to carry out the integration and control of the manufacturing devices are platform resources that make smart factories possible. The objective of this research is to identify and evaluate the main platforms available on the market, indicating at the end of the process the best option according to a series of defined criteria. For the construction of the analysis and generation of results, the AHP method was used, which is characterized by being a method of comparative multicriteria analysis, which uses a scale of scores that at the end determines the best alternative based on the final grade. With this study it is concluded that the best platform for the development of Industry 4.0 according to the defined criteria, added to this it was possible to evidence the quality and the technological scope of the options available in the market.

Keywords

Smart Factories, Industry 4.0, Cyber-physical System, IoT Platforms, Analytic Hierarchy Process.

I. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 é considerada o novo estágio industrial no qual uma série de tecnologias emergentes convergem para fornecer soluções digitais [1]. O termo Indústria 4.0 foi cunhado na feira de Hannover de 2011. Entretanto ao contrário do que parece superficialmente, a quarta revolução industrial não se limita à conexão de equipamento e sistema inteligentes. Estudos com base nas tecnologias da Indústria 4.0 estão sendo desenvolvidos nas mais diversas áreas de conhecimento, e a quarta revolução industrial permite a interação entre os

domínios físicos, digitais e biológicos [2]. Tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Internet das Coisas Industriais (IIoT), Manufatura Baseada na Nuvem e Manufatura Inteligente estruturam o desenvolvimento das indústrias 4.0. Somado a isso, há outras ferramentas tecnológicas que fazem parte da indústria 4.0: Big Data, *Machine Learning*, Robôs Autônomos, Simulação, Integração de Sistemas, Sistemas de Segurança Cibernéticos, Computação em Nuvem, Manufatura Aditiva e Realidade Aumentada [3], [4], [5].

Dentre todas estas ferramentas, destaca-se que a essência da Indústria 4.0 é a utilização de tecnologias de dados para

Pós graduação em Engenharia 4.0 – Universidade de Caxias do Sul (UCS)

E-mails: mhsilva6@ucs.br; cgwebber@ucs.br

Data de envio: 06/09/2020

Data de aceite: 07/10/2020

<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v8iss2p115>

implementar Internet das Coisas (IoT) e outros serviços, de modo que os processos de negócios e os processos de engenharia se integrem profundamente. Neste cenário, o intuito é de tornar o processo produtivo mais flexível, eficiente e sustentável, aumentando assim constantemente a qualidade do produto e reduzindo o custo [6].

As principais características da Indústria 4.0 incluem a integração horizontal através da cadeia de valor para estimular a colaboração dentro da organização, a integração vertical dos subsistemas hierárquicos da fábrica para desenvolver flexibilidade e capacidade de adaptação do sistema de manufatura; e a engenharia integrada de ponta a ponta da cadeia de valor para apoiar a customização de produto [6]. Para atingir as expectativas dos clientes é necessário um processo produtivo cada vez mais flexível, até mesmo com customização em massa. Para alcançar este objetivo deve-se chegar a um novo nível de maturidade fabril, por meio de métodos como auto-otimização, autoconfiguração, autodiagnóstico, conhecimento e inteligência dos colaboradores. Estas características constituem o conceito de *Smart Factory* [7], [8], [9].

Neste contexto, emerge a questão de como implantar as tecnologias da indústria 4.0, assumindo-se a diversidade da produção, das instalações e artefatos locais. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é identificar e avaliar as principais plataformas de software disponíveis para desenvolvimento e implantação dos componentes identificados na indústria 4.0. Para isso, este artigo está organizado em quatro seções, a seção II fundamenta o tema e objetivo do trabalho com o referencial teórico. A seção III apresenta plataformas para o desenvolvimento da indústria 4.0 que são os objetos de estudo. A seção IV apresenta o objetivo do trabalho e o método que será aplicado para o alcance deste. As conclusões e contribuições deste artigo são abordadas na seção V.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Visão Geral da Smart Factory

Smart Factory é uma planta fabril otimizada e conectada que tem o potencial de facilitar o lançamento de novos produtos de acordo com a dinâmica do mercado, tem capacidade para atender a demanda de produtos que já estão no portfólio, é capaz de produzir itens com custos menores [10]. Em seu interior existem equipamentos inteligentes, sensores e robôs integrados perfeitamente com o sistema de arquitetura de dados, sendo capaz de habilitar o processamento com um alto nível de automação. Ainda conta com análises de dados em tempo real que auxilia na minimização de paradas e no aumento da eficiência [10].

Ao viabilizar fábricas inteligentes a indústria 4.0 desenvolve a possibilidade de integração e cooperação de sistemas físicos e virtuais de fabricação [2]. *Smart Factory* cria um ecossistema com forte colaboração entre os agentes chave, são eles: logística, manufatura, TI, planejamento, vendas e os consumidores. Assim, todos trabalham juntos para atingir os objetivos da empresa [10]. As tecnologias capacitadoras de uma fábrica inteligente tem seis principais alvos: integração vertical, virtualização, automação, rastreamento, flexibilidade e por fim, gestão de energia [1].

A arquitetura de sistema para *Smart Factories* consiste em quatro camadas tangíveis que cumprem diferentes papéis para

a eficiência do sistema. As camadas são denominadas: a camada física, de dados, de nuvem e inteligência e a camada de controle [6]. Primeiramente, a camada física é formada por produtos, equipamentos e conversores inteligentes [6]. Eles realizam coleta de dados em tempo real e mantém comunicação entre dispositivos inteligentes provendo uma transmissão de dados em alta velocidade [5]. Na camada de dados a *Industrial Internet of Things* (IIoT) fornece suporte à novos protocolos e novos formatos de dados com alta flexibilidade e de forma escalável, somado a isso, a *Industrial Wireless Sensor Networks* (IWSNs) cria oportunidades para o desenvolvimento da rede de comunicação da planta [5].

A camada de nuvem e inteligência deve ser capaz de analisar dados provenientes de diferentes fontes e com diversos formatos, a análise destes dados pode fornecer as bases científicas para a tomada de decisão [5]. A quarta camada, a de controle, é onde acontece a conexão de pessoas com o sistema de *Smart Factory*. Neste momento os profissionais tomam as decisões de acordo com os dados disponíveis, com o intuito de aplicar diferentes configurações produtivas à fábrica, agendar manutenções ou realizar diagnósticos [5]. A Figura 1 ilustra cada uma das quatro camadas descritas anteriormente, fornecendo representações gráficas de componentes presentes em cada nível de funcionamento de *Smart Factories*.

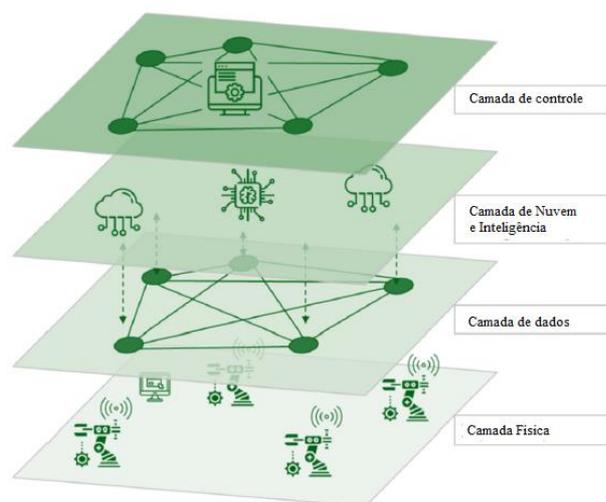


Figura 1 - As quatro camadas de Smart Factories [11].

B. Internet das Coisas (IoT)

Há um alto nível de complexidade em construir uma *smart factory*, pois ela envolve a união de sistemas conectados, automação, IoT e computação em nuvem [10]. A internet das coisas é a infraestrutura que interconecta equipamentos, em uma planta fabril cada dispositivo é equipado com softwares, sensores e atuadores, que sua por vez estão conectados à rede de internet da empresa [12]. A tecnologia de IoT possibilita que equipamentos fabris compartilhem informações entre si, entre fornecedores e clientes [13].

Ao conectar equipamentos e pessoas, a IoT transfere e integra conhecimento entre e dentro das organizações. Por auxiliar na coleta da informação, a internet das coisas aumenta a eficiência e a efetividade do desenvolvimento e gestão do conhecimento na indústria 4.0. Com a IoT sendo aplicada na indústria, os consumidores estarão mais envolvidos com o processo de tomada de decisão referentes à qualidade e

customização dos produtos [14]. Há quatro áreas que participam da composição da arquitetura de IoT presente em uma fábrica conectada: aplicações de manufatura; aplicações na empresa; plataforma IoT e visualizações e controle de dados [10].

C. Big Data

Com as estruturas industriais se tornando mais complexas e gerando dados e conhecimento de maneira intensiva, dados massivos surgiram com a indústria 4.0 [15]. Com o desenvolvimento da tecnologia de IoT, tornou-se conveniente a coleta de dados. Atualmente, a otimização de processos tendo como base o *Big Data* é eficiente nos setores logísticos, de armazenagem e de envio. O *Big Data* Industrial, inclui principalmente, dados estruturados e semiestruturados. De acordo com a evolução da tecnologia de *data mining*, esta irá promover avanços na inteligência industrial [5].

D. Cyber-physical System (CPS)

A concretização do Big Data, o potencial de acessibilidade proveniente da IoT e a capacidade de análise de dados fabris para a tomada decisões fez possível a integração do digital com os processos físicos, resultando no que é chamado de CPS [13]. Espera-se que os CPS auxiliem na transformação da indústria, tornando-a digital, adaptativa, conectada e completamente baseada no conhecimento, tendo assim um impacto econômico, social e ambiental de longo prazo [16].

CPS gerem o *Big Data* e utilizam a interconectividade entre os elementos da manufatura para atingir os objetivos de inteligência, resiliência e componentes autogeridos [13]. Os CPS são o centro da infraestrutura industrial conectada, se utilizando de gêmeos digitais, digitalização de dados e informações em todas os âmbitos da manufatura, passando pelo produto, processos de engenharia, processos produtivos, fornecedores e clientes para realizar eficientemente a gestão, supervisão e operação do ecossistema industrial [16].

O modelo *Service Oriented Architecture* (SOA) vem sendo amplamente utilizados em projetos como e-commerce e computação em nuvem. SOA são sistemas de estruturas elásticas que utilizam serviços de descoberta e integram estes serviços para realizar operações específicas [17]. A estrutura de SOA permite a decomposição da aplicação em múltiplos serviços, o que atribui flexibilidade ao sistema, assim habilitando a utilização desta arquitetura para plataformas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 [18]

III. PLATAFORMAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA 4.0

Em uma perspectiva de implantação de modelos de *Smart Factory*, as indústrias necessitam rever sistemas de informações e recursos de armazenamento e processamento de dados. De acordo com a pesquisa realizada pelo Eclipse IoT Working Group, IEEE, Agile IoT e Open Mobile Alliance em 2018 [19], as plataformas mais utilizadas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 são a *Amazon Web Services* (AWS)¹; e a *Microsoft Azure*². Dentro do escopo do trabalho

de análise, inclui-se a plataforma o *IBM Watson*³. Nos próximos tópicos são apresentadas as plataformas mencionadas, destacando aspectos de seus usos e implementações na indústria 4.0.

A. Amazon Web Services (AWS)

As soluções da AWS, segundo a própria Amazon [23], têm como intuito otimizar as operações, aumentar a produtividade e aumentar a disponibilidade da planta industrial. O portfólio de soluções do software abrange áreas como: IoT, inteligência artificial e *machine learning*, *analytics*, *data lake* e, segurança dos dados fabris.

A Figura 2 apresenta a arquitetura de software da AWS para *smart factories* [24]. Nela nota-se a arquitetura dividida por etapas, primeiramente a coleta de dados de artefatos, onde são encaminhados para o centro de conectividade e controle, que contempla serviços de segurança de dados, sincronização e gestão de artefatos, ou encaminhados para o centro de gestão de dados, que coleta, organiza e analisa um grande volume de informações da manufatura. Por fim, a última divisão é composta pelo detector de ocorrência de eventos nos artefatos monitorados, e pela central de *analytics* do AWS, onde a *machine learning* gera *insights* para aumentar a produtividade da operação da empresa. O ponto forte da plataforma é a escalabilidade de acessos e coleta de informações, além da ampla oferta de software e serviços de terceiros no AWS Marketplace [24].

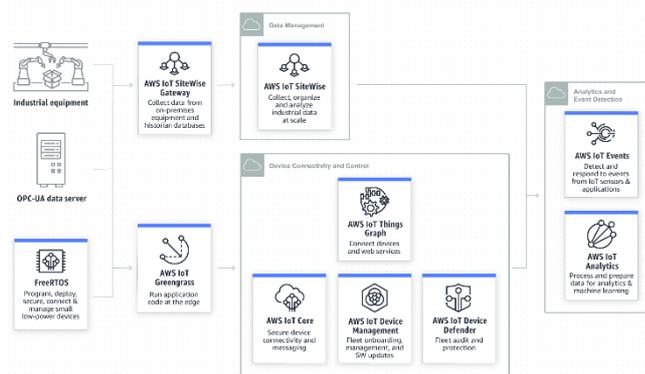


Figura 2 - Arquitetura AWS [25].

B. Microsoft Azure

A plataforma Microsoft Azure conta uma grande gama de serviços, tanto para empresas de manufatura quanto para companhias de outros setores [26]. A Microsoft afirma fornecer todas as soluções necessárias para manutenção preditiva, *smart cities* ou *smart factories* [27]. Ainda, segundo a Microsoft [27], a solução para fábricas conectadas é ágil e escalável, e completamente segura, tendo como padrão um ciclo de funcionamento que contempla a análise e monitoramento das coisas, a geração de *insights* sobre o processo de manufatura e a comunicação com o usuário alertando-o sobre a necessidade de uma ação.

A Figura 3 ilustra a arquitetura de software relativo à IoT para *smart factories* [28]. Nela nota-se a arquitetura dividida

¹ <https://aws.amazon.com/> [20]

² <https://azure.microsoft.com/en-us/> [21]

³ <https://www.ibm.com/watson> [22]

Cabe descrever cada um dos critérios listados na Tabela 1: O critério C1 é referente à oferta de ferramentas de software que permitam a coleta de dados nas coisas da manufatura da indústria. O critério C2 diz respeito ao suporte de diferentes tipos de protocolos e a integração com outros sistemas externos. O critério C3 refere-se ao potencial de funcionamento da plataforma quando um alto volume de dispositivos estiverem conectados e gerando dados. O critério C4 refere-se à dificuldade imposta pelo sistema ao usuário para a conexão de dispositivos com a plataforma.

Ainda, o critério C5 trata da oferta de métodos automatizados para a extração de conhecimento a partir aquisição de dados de baixo nível por parte do software. O critério C6 é referente à oferta de conectividade entre a planta física e a plataforma. O critério C7 refere-se à segurança ofertada pela plataforma sobre os dados coletados sobre a manufatura e os dispositivos.

Complementarmente, o critério C8 é referente à como os dados coletados são armazenados e facilidade para que estes sejam acessados e analisados pelo usuário. O critério C9 é referente à oferta de *machine learning* e se a ferramenta disponível é capaz da geração de *insights* para a otimização da manufatura. O critério C10 refere-se ao nível de controle disponível para o usuário na camada de controle, levando em consideração as opções de configuração fabril e possibilidade de diagnósticos. Por fim, o critério C11 refere-se ao custo que implica a contratação da plataforma e suas ferramentas.

B.Método Analítico Hierárquico

Para a realização da análise das plataformas foi selecionado o método multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*) [31]. O método AHP, desenvolvido pelo Prof. Thomas L. Saaty, é o mais utilizado para análises comparativas baseadas em múltiplos critérios.

O AHP é utilizado neste trabalho como método de avaliação dos softwares de apoio ao desenvolvimento da indústria 4.0. Desenvolvido em meados da década de 70 e fundamentado sob conceitos da Álgebra Relacional, da Pesquisa Operacional e da Psicologia, o AHP é atualmente um dos mais respeitados instrumentos para a tomada de decisões multicritério [32]. Este método é considerado simples e confiável, facilitando a tomada de decisões entre um número finito de alternativas baseado num conjunto de critérios selecionados com pesos diferentes [32].

O método AHP é fundamentalmente um processo de estruturação de fatores e avaliação multicritérios [33]. Um problema de decisão geralmente pode ser decomposto em níveis hierárquicos para auxiliar na sua compreensão e avaliação. Para este método pode-se utilizar tanto critérios qualitativos quanto quantitativos [33].

Em se tratando de avaliações de software, indica-se que deve-se assumir que as avaliações não são imutáveis, devendo ficar abertas para argumentações de lados opostos [34]. Ressalta-se que é essencial para o processo avaliativo de software que os critérios sejam selecionados de maneira coerente. Ainda, para que haja qualidade na avaliação, os critérios devem conter algumas características como: devem ser simples e de fácil entendimento; devem atender as noções intuitivas do avaliador; ser consistente e objetivo, sem espaço para conclusões ambíguas [34].

Para realizar uma análise multifatorial de maneira organizada e eficiente deve-se decompor o processo decisório nos passos a seguir: a) definição do problema e determinação de qual conhecimento está sendo buscado, b) estruturar a hierarquia do processo decisório, c) construir as matrizes de avaliação em pares, d) utilizar as prioridades definidas para avaliar os níveis hierarquicamente inferiores, e) obtenção de resultados [35].

A primeira etapa consiste em definir o problema, objetivo a ser atingido através do cruzamento e comparação de todos os critérios entre as diversas alternativas em análise. A segunda etapa trata da estruturação hierárquica do problema representada por meio de um diagrama composto por diferentes níveis. O nível mais externo da estrutura é identificado pela Meta Final. Nos níveis intermediários são elencados os critérios de avaliação, denominados Objetivos e Subobjetivos. Por fim, essa estrutura é interligada a cada uma das alternativas em análise de maneira a garantir que todas alternativas serão avaliadas segundo todos os critérios estabelecidos [32].

A terceira etapa, da construção das matrizes de avaliação, consiste no cruzamento dos critérios de avaliação definidos com todas as alternativas em análise. Nela devem ser elaborados dois conjuntos de matrizes nas quais são estabelecidas os pesos dos critérios e o impacto das alternativas sobre os critérios. A partir do cruzamento dessas matrizes são realizadas comparações binárias visando chegar a Meta Final [32].

No AHP os pesos são atribuídos de acordo com a Escala Fundamental de Comparações apresentada na Figura 5. Identifica-se na figura que quanto maior o peso de uma alternativa, maior é o valor atribuído a célula correspondente [32].

Intensidade da Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Fraca importância	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Muito forte importância	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6 e 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição e compromisso entre duas definições.
Recíproco dos valores	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.

Figura 5 – Tabela de Pesos do Método AHP [36].

Cada célula de uma Matriz de Avaliação recebe um valor que representa o peso do critério em comparação com aos demais. Veja um exemplo na Figura 6. Se o item definido na linha for melhor avaliado em relação ao item disposto na coluna, a célula equivalente recebe um valor elevado. Se o item da coluna obtiver melhor avaliação do que o item definido na linha, a célula recebe um valor proporcionalmente inferior. Caso ambos os itens possuam a mesma avaliação, é

atribuído o valor 1. No caso de cruzamento entre linha e coluna do mesmo item o resultado sempre é 1 [32].

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	1	1/6
Alternativa 2	6	1

Figura 6 – Exemplo de Comparação entre Critérios [37].

No caso deste trabalho, definiu-se o grau de importância absoluta, identificado pelo número 9. Assim, considera-se as pontuações 1 e 9, respectivamente 1 para o software que não atender as necessidades do usuário frente aos requisitos exigidos para a implantação da Indústria 4.0 e 9 para aquele que se mostrar superior ao software do qual está sendo comparado. Assume-se que se em uma dada comparação ambos os softwares avaliados atenderem o usuário no critério em questão, suas notas são 1, refletindo igual relevância em relação ao critério. As últimas etapas, de normalização e obtenção dos resultados, concluem a aplicação do AHP.

V.RESULTADOS

Para a realização do análise multicritério proposta, prosseguiu-se com a aplicação do AHP, conforme detalhamento. Na primeira etapa retomou-se a meta da análise. Na segunda etapa, estruturou-se hierarquicamente o problema. Para melhor compreensão dos critérios elencados, deve-se partir da estrutura em quatro camadas que constituem o conceito de Smart Factory (Figura 1) [11]. Dela extraiu-se onze critérios para realizar a avaliação de softwares para o desenvolvimento da Indústria 4.0. Cada um se relaciona com as camadas representadas, uma vez que elas precisam estar operacionais para que o ecossistema de uma *Smart Factory* esteja completo. Por isso foi determinado que, no ponto de vista da aplicação do método AHP, todos os critérios teriam o mesmo peso e importância.

De modo a exemplificar, a Tabela 2 representa a comparação par-a-par referente ao critério 4. A Figura 7 representa a hierarquia da análise em questão, apresentando o objetivo do estudo na primeira coluna, os critérios definidos para análise na segunda coluna e os softwares que serão avaliados na terceira coluna.

C4	AWS	Azure	Watson
AWS	1	1	9
Azure	1	1	9
Watson	1/9	1/9	1

Tabela 2 – Comparações Critério 4

O processo de obtenção dos dados necessários para a realização da análise de cada uma das plataformas com o método AHP, aconteceu pesquisando em uma série de fontes, como por exemplo: no site de cada uma das empresas [20], [21], [22], em documentações referentes a detalhamento das soluções [38], [39], [40], artigos de pesquisa com objetivos similares [41], [42], [43], em páginas de suporte das plataformas [44], [45], e por fim, em arquivos construídos pela comunidade de usuários profissionais que utilizam as plataformas [46], [47], [48], [49].

Após a definição dos critérios realizou-se as análises comparativas de peso de critérios e análises de priorização entre cada um dos critérios frente às alternativas. Tanto a definição de pesos de critérios quanto a priorização entre

critérios são comparativos numéricos par-a-par [33]. Uma vez que as matrizes de comparação foram finalizadas, realizou-se uma avaliação de consistência, que tem o intuito identificar possíveis inconsistências nas priorizações, garantindo desta maneira a estabilidade e confiabilidade da análise multicritério [33].

A Tabela 3 apresenta os resultados das análises comparativas dos softwares critério a critério e ao fim a somatória das notas, sinalizando qual dentre os softwares estudados teve a maior nota. O resultado demonstra equilíbrio de desempenho, ferramentas e funções disponíveis, e de avaliações de usuário pertencentes às comunidades referentes a plataformas para o desenvolvimento da Indústria 4.0

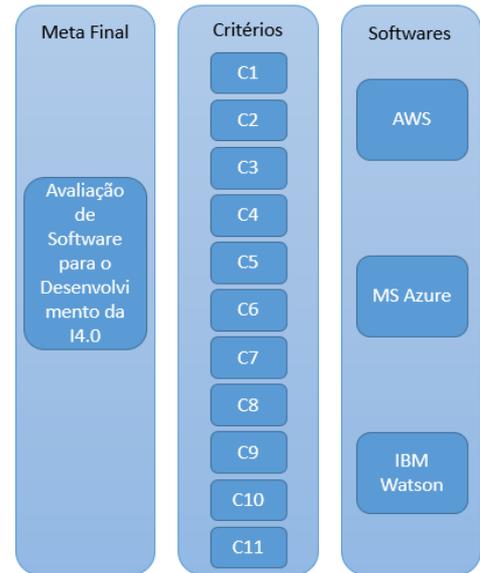


Figura 7 - Hierarquia Método AHP.

A plataforma Microsoft Azure obteve a melhor nota entre as três plataformas após a avaliação dos critérios estabelecidos, completando o resultado, tanto o software AWS da Amazon quanto o IBM Watson obtiveram a mesma nota final. O Microsoft Azure se sobressaiu principalmente no critério C6, a plataforma possui ferramentas próprias para a criação e simulação digital da manufatura com o software *Digital Twin*, com ótimos *reviews* e notas de usuários nas comunidades.

A plataforma AWS se destacou no critério C8, este software entre os três avaliados é o mais aberto à comunidade e desenvolvedores independentes, com as propostas de melhorias indicadas pela comunidade, o AWS se tornou um software intuitivo, de fácil utilização e com métodos acessíveis para visualização e análise dos dados coletados na manufatura. O IBM Watson teve um ótimo resultado na avaliação do critério C10, a empresa IBM tem como um dos seus focos o desenvolvimento de Inteligência Artificial, esse *know how* com AI gerou ótimas avaliações da comunidade no quesito de geração de *insights*, configurações fabris e diagnósticos direcionados à manufatura. Critérios como o C1; C2; C3; C5; C7 e C9 apresentaram pontuações iguais para as três plataformas avaliadas, demonstrando o alto nível de tecnologia e consistência disponíveis no mercado de softwares para o desenvolvimento da Indústria 4.0.

Critérios	Softwares		
	AWS	MS Azure	IBM Watson
C1	0,33	0,33	0,33
C2	0,33	0,33	0,33
C3	0,33	0,33	0,33
C4	0,47	0,47	0,05
C5	0,33	0,33	0,33
C6	0,09	0,82	0,09
C7	0,33	0,33	0,33
C8	0,82	0,09	0,09
C9	0,33	0,33	0,33
C10	0,09	0,09	0,82
C11	0,05	0,47	0,47
Soma	3,53	3,95	3,53

Tabela 3 – Tabela Comparativa.

A Figura 8 demonstra graficamente o desempenho final das comparações par-a-par realizadas para cada critério definido.

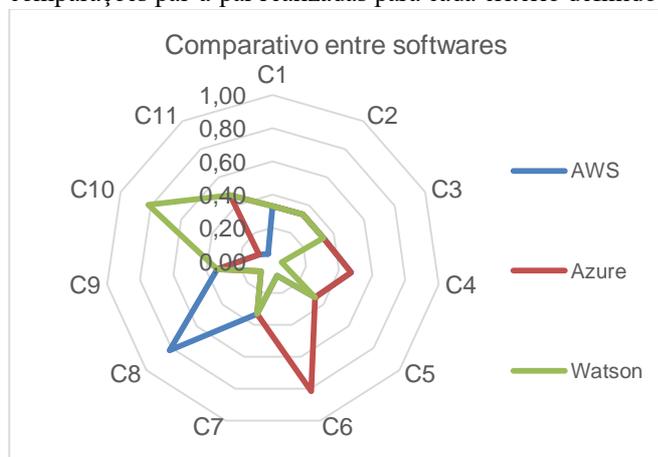


Figura 8 - Gráfico Radar Desempenho das Plataformas.

VI. CONCLUSÕES

Esta pesquisa apresentou conceitos e ferramentas que fazem parte da Indústria 4.0, tendo como objetivo definir e indicar, dentre três plataformas escolhidas pelos pesquisadores, qual era o software mais completo para o desenvolvimento da Indústria 4.0. A análise das plataformas ocorreu utilizando dados e avaliações provenientes dos sites de cada uma das empresas, em documentações referentes a detalhamento das soluções, artigos de pesquisa com objetivos similares, em páginas de suporte das plataformas, e por fim, em arquivos construídos pela comunidade de usuários profissionais que utilizam as plataformas.

O método de avaliação selecionado foi o AHP, um método multicritério de priorização de alternativas [35], desenvolvido

pelo Prof. Thomas L. Saaty na década de 70 [32]. Utilizando-se da escala de 1 a 9 padrão do método AHP, foi proposto a execução com a pontuação 1 para os critérios que não atendessem o esperado pelo cliente, 9 para aqueles que atendessem o cliente, somado a isso, quando duas plataformas tivessem desempenhos similares suas pontuações originárias de comparações par-a-par também seriam 1.

A análise multicritério resultou em pontuações próximas entre os três as plataformas estudadas, entretanto o MS Azure se sobressaiu, concluindo o estudo com a maior nota. Pôde-se concluir que as plataformas das três empresas analisadas apresentam opções de serviços bem desenvolvidas e que entregam o que o cliente necessita para a manufatura 4.0. AWS, MS Azure e IBM Watson demonstraram estabilidade na avaliação de critérios, apesar de haver pontos em que as plataformas se destacam. Desta maneira, a empresa que determinou contratar o serviço de um software para *smart factory* deve entender sua necessidade e seu foco no desenvolvimento da indústria 4.0

Para pesquisas futuras, sugere-se ampliar a análise de softwares para o desenvolvimento da Indústria 4.0, sendo possível aumentar a quantidade de plataformas que serão avaliadas, requisitando juntamente com a empresa desenvolvedora períodos *free trial*, somado a isso sugere-se a segmentação da pesquisa, avaliando e definindo as melhores plataformas de acordo com o porte da companhia.

VII. BIBLIOGRAFIA

- [1] Alejandro Germán Frank; Lucas Santos Dalenogare; Néstor Fabián Ayala, "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies", *International Journal of Production Economics*, vol 210, pp.15-26, 2019.
- [2] Klaus Schwab, *A quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro, 2016.
- [3] Selim Erol et al., "Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production" *Procedia CIRP*, vol 54, pp. 13-18, 2016.
- [4] Navid Shariatzadeh et al., "Integration of digital factory with smart factory base on Internet of Things," *ScienceDirect*, vol 50, pp. 512-517, 2016.
- [5] Baotong Chen et al., "Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges," *IEEE Access*, 2017.
- [6] Shiyong Wang et al., "Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook," *International Journal of Distributed Sensor Network*, vol 12, 2016.
- [7] Frank Herrmann, "The Smart factory and Its Risks" *Systems*, vol 6, 2018.
- [8] Hitoshi Komoto; Keijito Masui "Model-based desing and simulation of smart factory from usage and functional aspects" *CIRP Annals*, vol. 67, pp. 133-136, 2018.
- [9] Anna Rymaszewska; Petri Helo; Angappa Gunasekaran, "IoT powered servitization of manufacturing – an exploration case study" *International Journal of Production Economics*, vol. 192, pp. 92-105, 2017.
- [10] Prasana Kumar Illa; Nikhil Padhi, "Practical Guide to Smart Factory Transition Using IoT, Big Data and Edge Analytics", *IEEEAccess*, vol. 6, 2018.
- [11] Philipp Osterrieder; Lukas Budde; Thomas Friedli. "The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review," *International Journal of Production Economics*, vol 221, 2020.
- [12] Amy J. Trappey et al, "IoT patent roadmap for smart logistic service provision in the context of Industry 4.0", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol 40, pp. 593-602, 2017.
- [13] Mohammed M. Mabkhot et al, "Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective", *Machines*, vol 6, 2018.
- [14] Lane Thames; Dirk Schaefer, "Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0", *Procedia CIRP*, vol 52, pp. 12-17, 2016.
- [15] Yang Lu, "Industry 4.0 A survey on technologies, applications and open research issues" *Journal of Industrial Information Integration*, vol 6, pp. 1-10, 2017.
- [16] Armando W. Colombo et al "Industrial Cyberphysical Systems: A Backbone of the Fourth Industrial Revolution" *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol 11, pp. 6-16, 2017.
- [17] M. Chiang, C. Huang, C. Wu and C. Tsai, "Analysis of a Fault-Tolerant Framework for Reliability Prediction of Service-Oriented Architecture

- Systems," in IEEE Transactions on Reliability, 2020.
- [18] Service-Oriented Architecture, Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/architect-microservice-container-applications/service-oriented-architecture>, Access at: 14 Aug. 2020.
- [19] IoT Developer Survey 2018, Available at: <https://iot.eclipse.org/community/resources/iot-surveys/assets/iot-developer-survey-2018.pdf>, Access at: 25 Jul. 2020.
- [20] Amazon Web Services (AWS), Available at: <https://aws.amazon.com/>, Access at: 06 Aug. 2020.
- [21] Microsoft Azure, Available at: <https://azure.microsoft.com/en-us/>, Access at: 06 Aug. 2020.
- [22] IBM Watson, Available at: <https://www.ibm.com/watson>, Access at: 06 Aug. 2020.
- [23] Soluções da AWS, Available at: https://aws.amazon.com/pt/solutions/?nc2=h_ql_sol&solutions-all-sort-by=item.additionalFields.sortDate&solutions-all.sort-order=desc, Access at: 25 Jul. 2020.
- [24] The Connected Factory Solution with AWS IoT, Available at: <https://aws.amazon.com/pt/iot/solutions/ConnectedFactoryOffering/>, Access at: 25 Jul. 2020.
- [25] Internet das Coisas Industrial, Available at: <https://aws.amazon.com/pt/iot/solutions/industrial-iot/?c=i&sec=uc1>, Access at: 25 Jul. 2020.
- [26] Azure Global Infrastructure, Available at: <https://azure.microsoft.com/en-us/global-infrastructure/>, Access at: 06 Aug. 2020.
- [27] Building IoT Solution with Azure: a developer's guide, Available at: <https://discover.microsoft.com/azure-iot-building-solutions-dev-guide/>, Access at: 25 Jul. 2020.
- [28] Azure IoT Reference Architecture, Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/reference-architectures/iot>, Access at: 25 Jul. 2020.
- [29] Explore IoT, Available at: <https://www.ibm.com/internet-of-things/explore-iot/industrial-equipment>, Access at: 25 Jul. 2020.
- [30] Product Architecture, Available at: <https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSQP8H/iot/overview/architecture.html>, Access at: 25 Jul. 2020.
- [31] Luiz Flávio A. M. Gomes, Carlos F. S. Gomes, "Princípios e métodos para tomada de decisão: enfoque multicritério", 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- [32] F. Guglielmetti, F. A. S. Marins, V. A. P. Salomon, "Comparação Teórica entre Métodos de Auxílio à Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios", 2003.
- [33] Thomas L. Saaty, "Making and Validating Complex Decisions with the AHP/ANP", Journal of System Science and System Engineering, vol. 14, pp. 1-36, 2005.
- [34] Roger S. Pressman, "Engenharia de Software", 6. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- [35] Thomas L. Saaty, "Decision Making with the Analytic Hierarchy Process", International Journal Services Sciences, vol. 1, pp. 83-98, 2008.
- [36] Thomas L. Saaty, "Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World", University of Pittsburgh, 1990.
- [37] Bruno M. C. Jordão, Susete R. Pereira, "A Análise Multicritério na Tomada de Decisão - O método Analítico Hierárquico de T. L. Saaty", 2006.
- [38] Documentação da AWS, Available at: https://docs.aws.amazon.com/index.html?nc2=h_ql_doc_do_v, Access at: 02 Aug. 2020.
- [39] Azure Documentation, Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/?product=featured>, Access at: 02 Aug. 2020.
- [40] Documentation Watson, Available at: <https://cloud.ibm.com/docs>, Access at: 02. Aug. 2020.
- [41] P. Pierleoni, R. Concetti, A. Belli and L. Palma, "Amazon, Google and Microsoft Solutions for IoT: Architectures and a Performance Comparison," in IEEE Access, vol. 8, pp. 5455-5470, 2020.
- [42] Pranay Dutta, Prashant Dutta, "Comparative Study of Cloud Services Offered by Amazon, Microsoft & Google", International Journal of Trend in Scientific Research and Development, vol. 3, pp. 981-985, 2019.
- [43] Daniel . Mercadé, "Comparison of different Internet of Things platforms", Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2018.
- [44] Support Forums, Available at: https://www.ibm.com/mysupport/s/forumshome?language=en_US, Access at: 15 Aug. 2020.
- [45] Discussion Forums, Available at: <https://forums.aws.amazon.com/index.jspa>, Access at: 17 Aug. 2020.
- [46] AWS to Azure services comparison, Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/aws-professional/services>, Access at: 15 Aug. 2020.
- [47] G2 Compare, Available at: <https://www.g2.com/compare>, Access at: 15 Aug. 2020.
- [48] AWS vs. Azure vs. Google: Cloud Comparison, Available at: <https://www.datamation.com/cloud-computing/aws-vs-azure-vs-google-cloud-comparison.html>, Access at: 17 Aug. 2020.
- [49] Available at: <https://www.altexsoft.com/blog/datascience/comparing-machine-learning-as-a-service-amazon-microsoft-azure-google-cloud-ai-ibm-watson/>, Access at: 17 Aug. 2020.