

SISTEMA INTELIGENTE ÁGIL DE PROCESSO EVOLUTIVO - SIAPE: UM PROTÓTIPO BRASILEIRO DE SISTEMAS EPS

HIRAM CARLOS COSTA AMARAL*, RAFAEL DA SILVA MENDONÇA*, ANDRÉ LUIZ DUARTE CAVALCANTE*, VICENTE LUCENA DE FERREIRA JR.*

* *Universidade Federal do Amazonas*

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Av. General Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 6200, Setor Norte, Coroado I – Manaus, AM, Brasil

Emails: hiramamaral@ufam.edu.br, mendoncarms@ufam.edu.br, andrecavalcante@ufam.edu.br, vicente@ufam.edu.br

Abstract— One of the recurring problems in industrial environments, and especially with the advent of Industry 4.0, is the constant need to reconfigure assembly lines, where a product comes out and another goes in its place on the same line. There are relevant activities such as reprogramming of automation tools, robotic arms etc. Decreasing or eliminating the time required for reconfiguration requires more than flexible machines, it requires a new paradigm on the shop floor. Modern production paradigms such as EPS (Evolvable Production Systems) have contributed to numerous research and development work in industries in various fields. A company with characteristics of the Industry 4.0 has in its factory plant able to adapt and to evolve. The Industry Platform 4.0 recommendations indicate these properties of Evolutionary Systems. These are based on intelligent and autonomous agents that, interacting with each other, perform the cooperation of mechatronics agents for the execution of a well defined objective and has two fundamental capacities: the capacity for adaptation and evolution. This work aims at the development of a system of this type, the Agile Intelligent System of Evolutionary Process (SIAPE), which is formed by a plant composed of four parts that work in order to reproduce the two characteristics and can be analyzed using these four parameters. It is hoped that SIAPE will be able to help the designers of industrial automation systems in the use of agile paradigms, and particularly EPS.

Keywords— Evolvable Production Systems, Industry 4.0, Industrial Automation, Intelligent Systems, Automation Engineering.

Resumo— Um dos problemas recorrente em ambientes industriais, e principalmente com o advento da Indústria 4.0, é a constante necessidade de reconfiguração das linhas de montagem, no momento em que um produto sai e outro entra em seu lugar na mesma linha. Há atividades relevantes como reprogramação das ferramentas de automação, braços robóticos, entre outras. Diminuir ou eliminar o tempo necessário para a reconfiguração exige mais que máquinas flexíveis, requer um novo paradigma no chão de fábrica. Paradigmas modernos de produção como *EPS (Evolvable Production Systems)* tem contribuído com vários trabalhos de pesquisa e desenvolvimento em indústrias de várias áreas. Uma empresa com características da Indústria 4.0 dispõe em sua planta fabril sistemas capazes se adaptar e evoluir. As recomendações da Plataforma da Indústria 4.0 apontam para propriedades dos Sistemas Evolutivos. Esses são baseados em agentes inteligentes e autônomos que, interagindo entre si, realizam a cooperação de agentes mecatrônicos para a execução de um objetivo bem definido e tem duas capacidades fundamentais: a capacidade de adaptação e evolução. Este trabalho visa o desenvolvimento de um sistema deste tipo, o Sistema Inteligente Ágil de Processo Evolutivo (SIAPE) que é formado por uma planta composta de quatro partes que funcionam integradamente para reproduzir as duas características básicas dos sistemas EPS e pode ser analisado mediante estes quatro parâmetros. Espera-se que o SIAPE possa ajudar os projetistas de sistemas de automação industriais no uso dos paradigmas ágeis e, particularmente, EPS.

Palavras-chave— Sistemas Evolutivos de Produção, Indústria 4.0, Automação Industrial, Sistemas Inteligentes, Engenharia de Automação.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas flexíveis, aqui denominados de sistemas 3.0, até o final da década de 80 mantinham controle sobre o principal problema das empresas: a produção em lotes médios e pequenos. Contudo, a partir de 1989, principalmente, pela abertura dos mercados gerando uma desregulação, uma economia convergente, de progresso técnico acelerado, marcada pelo declínio cada vez maior do custo de transações, queda das barreiras comerciais intra e inter-blocos econômicos, redução das tarifas e uniões aduaneiras levou a uma aceleração econômica e a uma interligação cada vez maior das transações comerciais globais. Além disso, tecnologias como a Internet aproximaram mercados e consumidores de locais distantes. (Abele et al. (2008)).

Para fazer frente a esses novos desafios, naturalmente houve o desenvolvimento de novas formas de se olhar a manufatura. As máquinas flexíveis originaram o paradigma Flexible Manufacturing System (FMS) (ElMaraghy (2006)) que tratou problema de lotes médios até a primeira metade da 3ª Revolução Industrial. Quando os lotes médios com alta variedade começaram a ser um problema para os sistemas flexíveis, surgem os paradigmas emergentes (Holonc Manufacturing System (HMS) (Christensen (1994)), Bionic Manufacturing System (BMS) (Ueda (1992)) e Reconfiguration Manufacturing System (RMS) (Koren and Brussel (1999)) , e tratam este problema por meio da agilidade das máquinas. Esses paradigmas inovaram ao desconsiderar os equipamento da manufatura como detentores da inteligência para

a montagem, isto é, o conhecimento do processo produtivo. Essas novas formas de se olhar a manufatura - conhecidas como os paradigmas da manufatura - estão ilustrados na Figura 1.



Figura 1: 1ª, 2ª, 3ª e 4ª revoluções industriais

Com a finalidade de facilitar a visualização os paradigmas foram historicamente identificados como sistemas artesanais, mecânicos, flexíveis, ágeis e emergente, todos esses, relacionados às suas respectivas 1ª, 2ª, 3ª e 4ª revoluções industriais. Nesses paradigmas e, em especial no paradigma Evolvable Production System (EPS) (Onori (2002)), (M. Onori and Frei (2006)), o foco da inteligência foi direcionado para o produto, que detém o conhecimento da montagem de si mesmo e não mais as ferramentas de montagem. Também os sistemas evolutivos passam a ter, atualmente, maior relevância no tratamento do problema da customização e estão sendo testados em plataformas inteligentes e seguindo as exigências da Indústria 4.0. (VDE (2014)). Este artigo está assim dividido: a seção II descreve as características dos sistemas EPS; a seção III o sistema é implementado e realiza-se uma experimentação; na seção IV os resultados são analisados e o sistema é validado; na seção V a conclusão e os trabalhos futuros são apresentados.

2 SISTEMAS EVOLUTIVOS DE PRODUÇÃO – EVOLVABLE PRODUCTION SYSTEM - EPS

Os sistemas evolutivos são baseados em agentes inteligentes e autônomos que são capazes de cooperarem entre si. Esta cooperação leva tais sistemas a possuírem a capacidade de adaptação e de evolução (Rosa (2013)). Na Figura 2 visualiza-se onde o paradigma EPS está localizado, em termos históricos, no conjunto dos paradigmas da manufatura. Para uma análise específica das pesquisas realizadas em EPS, dividiu-se a evolução do EPS em três fases distintas, a saber:

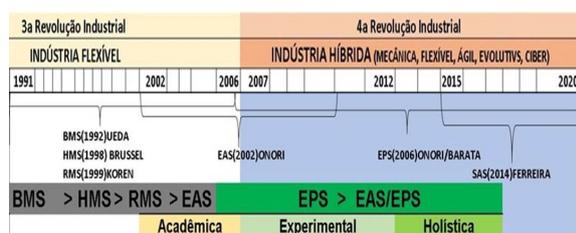


Figura 2: Fases do Paradigma EPS

A Fase Acadêmica aqui encontraram-se as pesquisas conceituais, simulações e primeiras provas de conceitos. Essa fase foi identificada entre os anos de 2002 quando surge a base dos siste-

mas evolutivos, o paradigma EAS e se estende até 2006 quando Onori estabelece as bases do paradigma EPS; A Fase Experimental onde o paradigma toma dimensões de testes e experimentos realizados por vários pesquisadores e dura até a prova de conceito do Projeto IDEAS (Onori et al. (2012)) em 2012;

A Fase Holística nesta fase o paradigma percebe na prática a complexidade gerada pela interdisciplinariedade, e nesse momento, o foco foi além do chão de fábrica e transcendeu os campos Engenharia e da Computação para o campo da Economia, dos Sistemas complexos, da Inteligência Artificial, da Biologia e outros campos do conhecimento humano.

2.1 ARQUITETURA EPS DE CAVALCANTE

A arquitetura EPS proposta por Cavalcante denominada de Arquitetura Baseada em Agentes e Auto-Organizável Para a Manufatura (Cavalcante (2012)) está ilustrada na Figura 3 e é descrita a seguir. A arquitetura é formada por dois tipos de agentes:

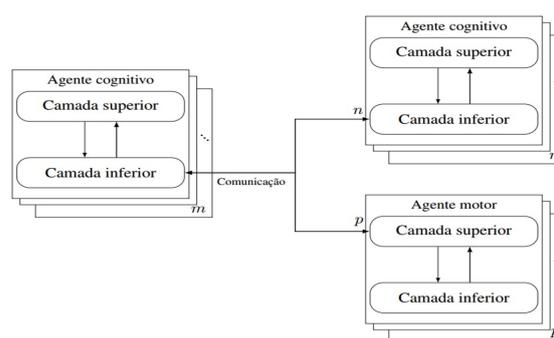


Figura 3: Arquitetura de Cavalcante

O agente cognitivo é o responsável pela lógica da aplicação empregada na situação e escolhe uma decisão a ser realizada, por outro agente cognitivo ou por um agente motor.

O agente motor por sua vez, tem sua camada superior funcionando como comunicação e a camada inferior como a aplicação do agente. A

”E”que pode ser usado quando solicitado) mecatrônicos(MotorL+Sensor).

O módulo Elétrico (E) é formado pelos componentes elétricos(transistores, foto-acopladores, registradores de deslocamento, RaspBerryPi, atuadores, sensores, etc) que são alimentados pelas fontes de 5, 16 e 24 volts.

O módulo de Software é formado pelos códigos de configuração do RaspBerryPI e suas bibliotecas GPIO, e de cada agente inteligente implementado em Java no Framework Jade.

O módulo de Comunicação é formado pelo Protocolo FIPA, IP, e por protocolos que completam a função de Gateway na comunicação com outros sistemas.

Quando o sistema é ligado os módulos mecatrônicos presentes na esteira são identificados. O RaspBerryPi inicia o monitoramento dos sensores. Caso um dos sensores identifique um palete com uma informação que deve ser produzido (carimbado), o sistema Multi-agente (MAS) envia comandos ao agente que tem a habilidade (k1, k2...) necessária para realizar a operação (Anagramas A,F,M,T,U) via RaspBerryPi. Esse comando é aplicado ao fotoacoplador (FotoAcop) que alimenta o relé, e esse, alimenta o motor do módulo respectivo. O módulo mecatrônico imprime, então o anagrama no papel que está sobre o palete na esteira. Esse processo se repete até que todos os anagramas sejam carimbados no papel.

Quando o anagrama ”E”, é solicitado, ele não se encontra instalado fisicamente no sistema. Os agentes param o sistema, o módulo ”E” é inserido fisicamente no sistema, os agentes reconhecem o módulo e processam a operação solicitada.

Para a realização do SIAPE foi criada uma metodologia denominada de Metodologia para Desenvolvimento de Sistemas Evolutivos (MeDSE). Essa seção descreve as três fases de desenvolvimento da MeDSE: Conceituação, Realização e Finalização. Essas fases são, por seu turno, subdivididas em 10 etapas necessárias para o desenvolvimento do SIAPE e são ilustradas na Figura 6 descritas a seguir:

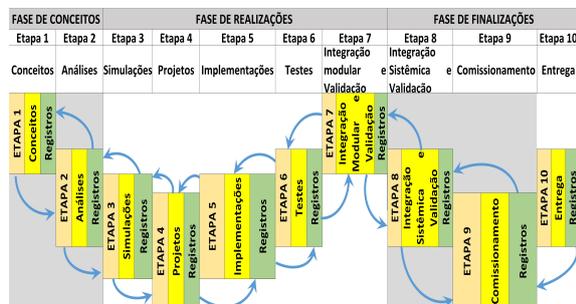


Figura 6: SIAPE: Fases e etapas

– Etapa 1 Conceitos:

Nesta etapa os conceitos, requisitos e restrições foram esquematizados para que o Problema

Global fosse definido e o desenvolvida a concepção do sistema, considerando-se as necessidades do cliente, a saber: a. Um sistema que consiga expressar as características dos sistemas evolutivos (EPS), baseado no Produto UFAM (sistema desenvolvido legado da Indústria Flexível) deve carimbar os anagramas UFAM, UTAM e UEA e deve estar preparado para as principais recomendações da Plataforma da Indústria 4.0:

– Etapa 2 Análises:

O Problema Global (PG) é convenientemente dividido em Problema Regional (PR) e Problema Local (PL) e são relacionados com as partes do sistema mecatrônico MESC, onde:

M - representa a parte mecânica do MESC principal e tem seus requisitos refinados e rotulados como RQRm;

E - representa a parte eletrônica do MESC principal e tem seus requisitos refinados e rotulados como RQRe;

S - representa a parte de software do MESC principal e tem seus requisitos refinados e rotulados como RQRs;

C - representa a parte comunicação do MESC principal e tem seus requisitos refinados e rotulados como RQRc; A Figura 7 ilustra os módulos de hardware e software que, juntos com a arquitetura, foram definidos para serem simulados ou verificados na Etapa 3 (simulações) e possam ser confirmados como especificações técnicas.

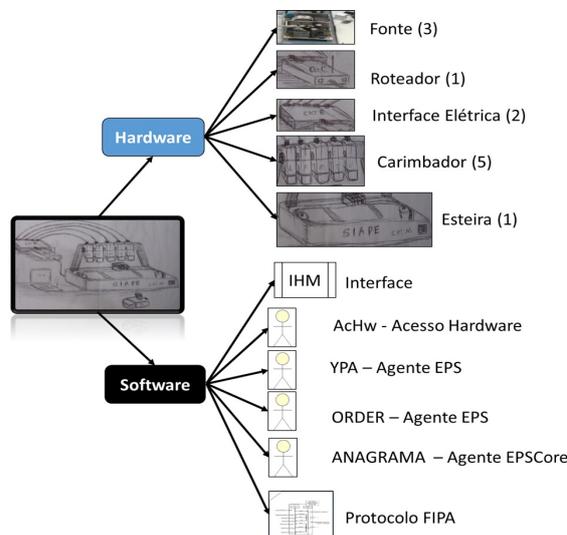


Figura 7: SIAPE: HW e SW

– Etapa 3 simulações:

As partes atômicas do MESC são submetidas ao processo de modelagem, seguidas por montagens dos modelos e posterior processo de simulação. Na parte de software são criados diagramas UML com o objetivo de facilitar o entendimento do sistema, seguidos por criações de classes e implementações dessas classes e posterior simulações em PC.

A Figura 8 ilustra o diagrama de seqüência de funcionamento do sistema do ponto de vista do operador. operador insere o pedido no sistema, carrega o palete na esteira e inicia a produção.

O sistema identifica a passagem do palete por meio do sensor, para a esteira e carimba o palete através do acionamento do atuador. Depois, volta a ligar a esteira e prossegue até o fim do plano. O sistema identifica o fim do plano e para a esteira. O operador retira o produto e desliga o sistema.

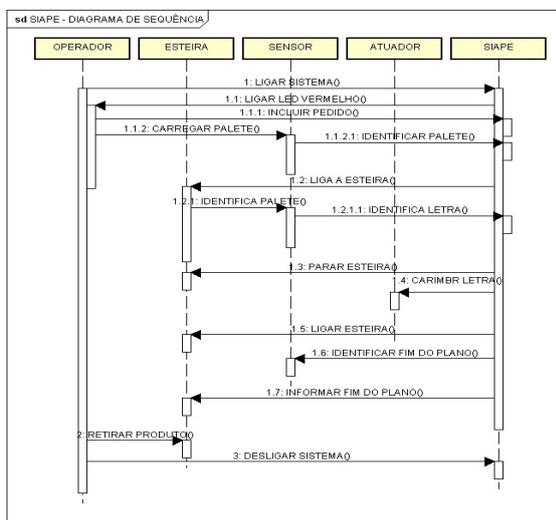


Figura 8: Diagrama de Sequência do SIAPE

A seguir são realizadas breves descrições dos processos de modelagem e simulação para evidenciar a realização do processo:

O *Módulo Esteira* foi submetida à modelagem eletro-mecânica e definiu-se a forma da esteira e realizou-se a montagem experimental das partes mecânicas. Na Figura 9 está ilustrada a modelagem de um dos motores da esteira, a simulação foi realizada e os resultados permitiram a inclusão dos requisitos refinados como especificações técnicas relativas às partes elétricas e mecânicas do módulo.

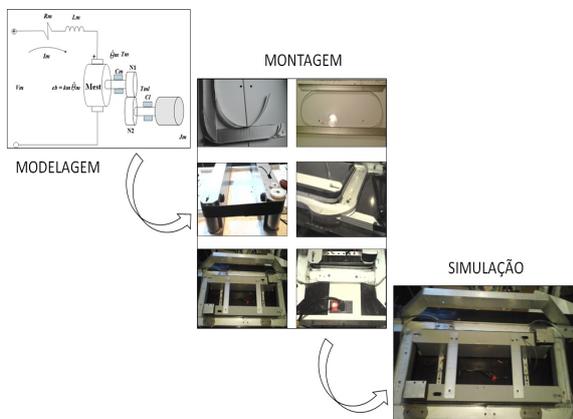


Figura 9: Módulo Esteira

O Protocolo FIPA foi utilizado na comunica-

ção entre os agentes do sistema. A Figura 10 ilustra a criação da classe OrderAgent, um trecho do código e a troca de mensagens capturada pelo agente Sniffer do Framework Jade. Ao fim desta etapa os requisitos refinados do sistema em forma de problema global, regional e local são modelados e simulados até que estes possam ser garantidos como Especificações Técnicas de cada problema local.

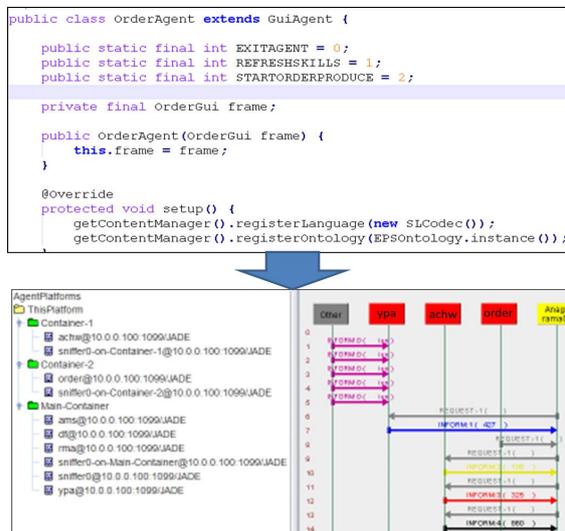


Figura 10: Protocolo FIPA

Na próxima etapa essas especificações foram organizadas no formato de projeto do sistema a ser implementado

– **Etapa 4 Projetos:**

As especificações técnicas das partes mecânica, elétrica, de software e de comunicação que serviram de base para a definição dos diagramas foram submetidos ao processo que as transformaram em diagramas de seqüência, de atividades e de estado. O resultado foi inserido no documento de projeto juntamente com as especificações técnicas de cada parte do sistema. Esses foram transformados em requisitos refinados, modelados e simulados para que as especificações pudessem ser garantidas como tal. Na Etapa 5 o Projeto de Sistema foi implementado.

– **Etapa 5 Implementações:**

A partir das especificações técnicas, os circuitos que atenderam às especificações foram desenvolvidos. Desses circuitos foram originados os esquemas elétricos, as placas de circuito impresso (PCI) e foram acoplados aos seus respectivos módulos. A especificação elétrica da interface elétrica definiu todos os componentes e circuitos elétricos que foram implementados no sistema; Cada módulo foi denominado com um nome de protótipo da parte específica do sistema.

– **Etapa 6 Testes:**

Os protótipos funcionais foram submetidos aos testes especificados, individualmente, com o objetivo de testar sua funcionalidade e verificar os requisitos refinados e as

especificações.

O resultado dessa etapa é o conjunto de partes individuais do sistema testadas e aprovadas para serem submetidas ao processo de integração na Etapa 7.

– **Etapa 7 Integração modular e validação:** Os protótipos testados e aprovados foram submetidos ao processo de integração de suas partes atômicas. Os protótipos M e E originaram a parte integrada ME com suas características específicas, por exemplo, a parte mecânica é móvel e pode ser movida manualmente. A parte elétrica montada fornece as tensões para alimentar o motor. Ao se integrar essas partes, M e E produz-se uma entidade que pode ser alimentada eletricamente para que seja gerado um movimento eletromecânico. Ao se integrar a parte S à entidade ME, têm-se uma entidade MES automatizada. E finalmente, ao se integrar a parte C, ter-se-á uma entidade MESC mecatrônica com suas características específicas.

– **Etapa 8 Integração e validação sistêmica:** O protótipo MESC validado modularmente foi submetido ao processo de validação sistêmica, aqui entendida como a validação que realizou o experimento preparado pela equipe de desenvolvimento com o objetivo de evidenciar as funcionalidades e performance do sistema. Após a aprovação desse procedimento o MESC recebeu o status de SIAPE e foram validados os documentos do Sistema necessários para evidenciar o atendimento, ou não das necessidades do cliente, e nesta validação e experimentação todas funções do sistema foram exaustivamente verificadas com o objetivo de comprovar a realização de todas as solicitações feitas pelo cliente e seus especialistas.

– **Etapa 9 Comissionamento:** Nesta etapa, conforme ilustra o SIAPE foi submetido ao processo de comissionamento, aqui definido como o processo que objetiva assegurar que as partes do sistema estejam projetados, instalados, testados, operando e mantidos de acordo com as necessidades e requisitos operacionais do cliente. Por meio destes testes é que o equipamento foi liberado para a etapa de entrega ao cliente final.

– **Etapa 10 Entrega:** O Produto SIAPE aprovado foi submetido à Etapa de Entrega. Essa etapa se configura pela realização do teste de aceitação do cliente sob a orientação da equipe de desenvolvimento. No momento da realização dos testes, todas as observações devem ser anotadas para que se verifique a sua inclusão, se estiver fora do escopo, neste caso, uma nova negociação deve ser realizada. A finalização do processo de desenvolvimento foi evidenciado por meio da entrega do Produto SIAPE ao cliente conforme ilustrado na Figura 11. Neste momento, o experimento utilizado na Fase de Finalização é realizado pelo cliente, e seus especialistas, sob a orientação da equipe de desenvolvimento.



Figura 11: Arquitetura SIAPE

4 Produto UFAM

O Produto UFAM é um sistema de carimbos de letras para a montagem de anagramas a partir de um CLP com programação em Ladder e módulos pneumáticos, tal como os sistemas de automações de montagem atuais, isto é, sistemas *i3.0*. É o resultado da integração dos quatro subsistemas: microcontrolador, que utiliza entradas analógicas e digitais sistema; atuador, composto por um motor DC, lâmpadas e eletroválvulas controladas por solenóides; sensor composto por sensores magnéticos e capacitivo; um subsistema de ar comprimido com cinco ramificações.

A Figura 12 mostra o Produto UFAM. Este sistema foi a plataforma básica para o desenvolvimento do hardware do SIAPE – isso, com as devidas melhorias e restrições impostas pelo cliente – que são controladas por uma programação em Java por meio do Framework para agentes inteligentes JADE, e que roda numa plataforma Raspberry Pi. Então, as características do SIAPE são herdadas tanto de ambientes *i3.0*, quanto de ambientes *i4.0*.



Figura 12: Produto UFAM

4.1 EXPERIMENTO SIAPE X PRODUTO UFAM

Os dois sistemas têm o mesmo número de módulos e serão submetidos ao mesmo experimento de um plano de produção. O cenário do experi-

mento está ilustrado na Figura 13 e será detalhado a seguir:

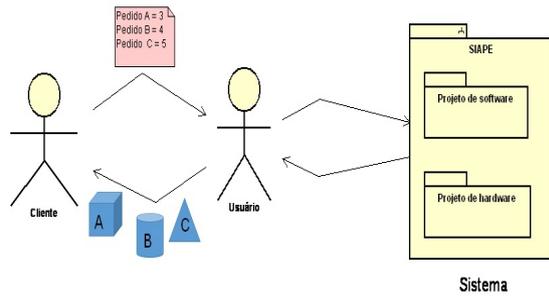


Figura 13: Experimento SIAPE X Produto UFAM

O experimento é composto por uma solicitação de um cliente. Essa solicitação é composta por três pedidos de produção conforme segue:

Pedido 1 - Produto A: A palavra UFAM; Quantidade = 03 unidades

Pedido 2 - Produto B: A palavra UTAM; Quantidade = 04 unidades

Pedido 3 - Produto C: A palavra UEA; Quantidade = 05 unidades

A Realização da solicitação é processada seguindo os passos a seguir:

1. O Cliente solicita os pedidos de produção ao operador.
2. O Operador insere os pedidos no sistema.
3. O Sistema realiza os pedidos e retorna os produtos para o operador.
4. O Operador finalmente atende à solicitação do cliente e entrega os produtos solicitados ao cliente.

5 RESULTADOS: SIAPE X PRODUTO UFAM

Esta seção compara os desempenhos encontrados entre o SIAPE e o Produto UFAM. O plano de produção com uma quantidade de 10 unidades de produtos foi realizado. Os tempos decorridos na produção estão registrados na Tabela 1.

Tabela 1 - SIAPE X PRODUTO UFAM: TEMPO DE PRODUÇÃO (s)

Palavra	UFAM		UTAM		UEA		AFM
	SIAPE	PUFAM	SIAPE	PUFAM	SIAPE	PUFAM	PUFAM
01	10,16	14,70	10,66	15,70	10,20	10,67	
02	10,17	16,68	10,71	14,66	9,92	10,44	
03	10,88	15,59	10,49	16,50	10,30	10,56	
04	10,07	15,55	10,57	15,03	10,20	10,67	
05	10,04	15,60	10,64	15,55	10,10	10,66	
06	10,72	15,60	10,72	15,04	10,10	10,45	
07	10,72	15,55	10,72	15,58	10,19	10,34	
08	10,94	14,90	10,44	14,97	15,10	10,45	
09	10,91	14,94	10,71	14,95	10,20	10,67	
10	10,73	15,11	10,73	15,30	10,10	10,56	
Média	10,50	15,42	10,60	15,33	9,10	10,55	

Todos os tempos estão em segundos (s). O tempo médio de palavras com quatro letras realizadas no SIAPE (por exemplo UFAM e UTAM)

foi de 10 segundos enquanto a mesma produção realizada no Produto UFAM apresentou uma média de 15 segundos. Para palavras com três letras o SIAPE registrou o tempo de respectivamente de 9 e 10 segundos. O incremento representa um aumento no tempo decorrido de 32% a mais no Produto UFAM para realizar a mesma produção realizada no SIAPE.

Existem alguns motivos que explicam essa vantagem no desempenho do SIAPE em relação ao Produto UFAM. Dois desses motivos estão registrados na Tabela II e são explicados na sequência.

Na segunda coluna da Tabela 2 estão registrados os dados coletados no SIAPE quando o agente Stamper realiza seu skill carimbar letra. O tempo médio da realização deste skill é de 1 segundo contra 3 segundos registrados na operação das válvulas pneumáticas do Produto UFAM. A diferença em torno de 2 segundos é explicada pelo fato do circuito elétrico do motor DC, utilizado nos módulos do SIAPE, reagir com maior eficácia quando comparado ao circuito eletro-pneumático do Produto UFAM, pois o circuito reage, primeiramente com os solenóides, e depois os solenóides liberam as válvulas pneumáticas que realizam a operação carimbar letra. Esses tempos reduzem o desempenho do produto UFAM para esse nível de produção nas condições aqui consideradas. Outro

Tabela 2 - SIAPE X PRODUTO UFAM: STAMPER, OPERADOR e TROCA(s)

Item	SIAPE	PUFAM	SIAPE	PUFAM	SI-	PUFAM
	Stamper	Stamper	Operador	Operador	APE Troca	Troca
01	1,79	3,30	1,89	3,06	48,73	
02	1,87	2,86	1,89	2,83	46,25	
03	1,64	3,50	1,86	3,20	49,25	
04	1,72	4,19	1,62	3,39	50,25	
05	1,88	3,42	1,95	3,50	42,65	
06	1,76	3,50	1,98	4,01	43,25	
07	1,67	3,51	1,87	3,09	44,50	
08	1,54	3,80	1,89	3,55	46,20	
09	1,67	3,86	1,87	2,86	43,25	
10	1,88	3,64	1,88	3,22	44,30	
Média	1,74	3,56	1,90	3,27	45,86	

Impraticável

motivo que reduz também o desempenho do Produto UFAM para as condições apresentadas é o fato do sistema ter sido projetado para que o operador aguarde a finalização do produção de um produto e reinsira o paleta na entrada do sistema.

Essa operação registrou um tempo médio de 3 segundos contra 1 segundo do SIAPE. No SIAPE os paletes já encontram-se agregados à esteira, cabendo ao operador apenas retirar os produtos realizados.

As colunas 6 e 7 da Tabela 2 registra os tempos com a troca de módulos com o SIAPE em funcionamento. O tempo médio para realizar a troca de um módulo pelo operador, com a detecção deste pelo agente *AcHw* e posterior inclusão do novo recurso no plano de produção alcançou

a média de 45 segundos. Apesar do tempo reduzido este processo que realiza o *plug and produce* pode ser reduzido ainda mais por meio de melhorias no hardware. A sétima coluna registra o fato dessa mesma operação não ser realizada no Produto UFAM, dado que os procedimentos exigiriam a parada do sistema elétrico e do sistema pneumático para posterior troca mecânica da válvula pneumática inviabilizando o procedimento.

solução robusta e satisfatória para tratar o problema da produção mundial.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O sistema evolutivo realizado durante as dez etapas de desenvolvimentos contidas no MeDSE – elaborado especificamente para suprir essa necessidade – evidenciou a possibilidade de desenvolvimentos de sistemas que são baseados no paradigma evolutivo de produção (EPS), aderentes aos ambientes da i4.0. Com a experimentação e as comparações evidenciou-se, entre outros, os parâmetros que classificam o SIAPE como um sistema evolutivo, e com melhor desempenho que o Produto UFAM nas situações que demandam maior agilidade e flexibilidade em tempo real.

É importante notar também que o paradigma EPS é melhor para aplicações em contextos que demandem maior agilidade e robustez para lidar com alterações na demanda. Essas alterações são tratadas imediatamente pela capacidade do sistema de adaptar-se a novas situações, no longo prazo essas adaptações tendem à evolução dos sistemas que detém tais características. Como trabalho futuro espera-se desenvolver uma planta fabril que produza um produto real utilizado no mercado para refinar os resultados conseguidos até essa fase.

Referências

Abele, E., Meyer, T., Näher, U., Strube, G. and Sykes, R. (2008). *Global Production: A Handbook for Strategy and Implementation*, Springer Berlin Heidelberg.

Cavalcante, A. L. D. (2012). *Arquitetura baseada em agentes e autoorganizável para a manufatura*.

Christensen, J. H. (1994). *Holonic Manufacturing system: Initial architecture and standards directions*, Presented at First European Conference on Holonic Manufacturing Systems, Hannover, Germany, 1 December 1994., no. March, pp. 1–20.

ElMaraghy, H. (2006). Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms.

Koren, Y. and Brussel, H. V. (1999). *Reconfigurable Manufacturing Systems*, "Reconfigurable Manufacturing Systems", vol. 48, pp. 527?540.

M. Onori, J. B. and Frei, R. (2006). Evolvable assembly systems basic principles, *Inf. Technol. Balanc. Manuf. Syst.*, vol. 220, pp. 1–12 .

Onori, M. (2002). *Evolvable Assembly Systems: A New Paradigm?*, Proc.33rd Int. Symp. Robot., pp. 617?622.

Onori, M., Lohse, N., Barata, J. and Hanisch, C. (2012). *The IDEAS project: plug & produce at shop-floor level*.

Rosa, R. (2013). Assessing self-organization and emergence in evolvable assembly systems (eas).

Ueda, K. (1992). *A Concept for Bionic Manufacturing Systems Based on DNAtype Information*, PROLAMAT Conference, Man in CIM. Tokyo, Japan, 24-26 June.

VDE, G. C. E. (2014). *DKE standardization the german standardization roadmap*, German Commission for Electrical VDE, Electronic and Information Technologies of DIN.