

Provendo um Ambiente Industrial Inteligente com Serviços Web RESTful, Smart Gateways e Computação em Nuvem - Um Estudo de Caso*

Marlon Cordeiro Domenech[†], Paulo Henrique da Silva, Leonardo Ronald P. Rauta, Rodrigo Cândido da Silva[‡], Michelle Silva Wangham[§]

¹Laboratório de Sistemas Embarcados e Distribuídos(LSED)
e 4Vision Lab – Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) – SC – Brasil

{marloncdomenech, paulohenrique, leonardorauta}@edu.univali.br,

rcandidosilva@gmail.com, wangham@univali.br

Abstract. *Remote monitoring and intelligent intervention over machines are essential in a smart industrial environment. However, heterogeneity of machines complicates the construction of solutions for this purpose. This work describes the use of Smart Gateways for providing a smart industrial environment. A Smart Gateway is responsible for providing machines' resources as RESTful Web Services for clients and Web applications, besides sending monitored data to a persistence service in the Cloud. As a proof of concept, a smart industrial environment was conceived to an enterprise. Functional and performance tests confirm the viability of the solution in this case study.*

Resumo. *O monitoramento remoto e a intervenção inteligente sobre as máquinas são essenciais em um ambiente industrial inteligente. Porém, a heterogeneidade das máquinas dificulta a criação de soluções integradas para esse fim. Este trabalho descreve o uso de Smart Gateways para prover um ambiente industrial inteligente. O Smart Gateway é responsável por disponibilizar os recursos das máquinas na forma de Serviços Web RESTful para clientes e aplicações Web, além de enviar dados de monitoramento para um serviço de persistência na Nuvem. Como prova de conceito, um ambiente industrial inteligente foi concebido para um empresa. Testes funcionais e de desempenho confirmam a viabilidade da solução neste estudo de caso.*

1. Introdução

Para uma adequada gestão do chão de fábrica, é necessário que seus gestores tenham acesso a informações precisas sobre o funcionamento das máquinas industriais e possam atuar sobre estas quando necessário. Diante disso, os mecanismos de controle e monitoramento remoto de máquinas industriais são considerados os mais importantes para o aumento da produção industrial [Ramamurthy et al. 2010].

*Projeto financiado pelo CNPq (RHAE 459623/2013-3) e pela Microsoft Research ("PaaS for smart machines monitoring and control").

[†]Bolsista CAPES.

[‡]Bolsista CNPq.

[§]Bolsista CNPq.

Apesar da importância de tais mecanismos ser reconhecida pela academia e pela indústria, sua concepção e implantação esbarram na grande heterogeneidade existente em um chão de fábrica. É comum que um chão de fábrica possua máquinas de diferentes fabricantes, as quais utilizam diferentes padrões de comunicação que não são integrados facilmente. Além disso, raramente os fabricantes de máquinas industriais proveem soluções que viabilizem a integração de suas máquinas com máquinas de outros fabricantes (comunicação *Machine-to-Machine* - M2M). Diante deste cenário, conceber um solução integrada que possibilite a comunicação M2M e o monitoramento e controle remoto das máquinas industriais é um desafio [Karnouskos et al. 2009].

Uma forma de permitir a comunicação entre máquinas industriais heterogêneas, garantindo também o controle e monitoramento remoto destas, é por meio da Internet das Coisas (*Internet of Things* - *IoT*). Segundo [Atzori et al. 2010], a ideia básica da IoT consiste na presença de uma diversidade de coisas (objetos) que interagem e cooperam entre si a fim de atingir um objetivo comum, por exemplo, o compartilhamento de informações, utilizando métodos de endereçamento único e protocolos de comunicação padronizados.

A integração entre sensor-atuador-Internet forma a base tecnológica para o conceito de ambientes inteligentes (*smart environments*), nos quais a informação gerada pode ser compartilhada entre diversas plataformas e aplicações, sendo possível o controle e monitoramento de determinados dispositivos [Gubbi et al. 2013]. Na literatura, se reconhece o potencial da tecnologia de IoT para criação de ambientes industriais inteligentes por meio de *Smart Gateways*. Estes *Smart Gateways* servem como uma ponte para integrar máquinas industriais heterogêneas entre si e com sistemas na Internet, tornando-as máquinas inteligentes (*smart machines*).

A Computação em Nuvem completa o conceito de IoT no intuito de prover o sensoriamento ubíquo em ambientes inteligentes [Gubbi et al. 2013]. Em uma Nuvem de Coisas, é possível a execução de tarefas computacionais pesadas, pois o processamento e a tomada de decisão são facilitados pela capacidade computacional da Nuvem, enquanto que os dispositivos podem focar no sensoriamento e atuação [Parwekar 2011].

A maioria das máquinas industriais que estão atualmente conectadas à Internet utilizam softwares proprietários, o que torna onerosa a criação de aplicações que integram dados e recursos providos por diferentes dispositivos. Para garantir interoperabilidade, existe uma tendência em tratar a Internet das Coisas como Web das Coisas (*Web of Things* - *WoT*), na qual os padrões e protocolos abertos da Web são empregados para prover o compartilhamento de informação [Zeng et al. 2011]. Um dos aspectos que favorece a *WoT* é a possibilidade de abstrair os dispositivos inteligentes como Serviços Web RESTful e integrá-los de maneira transparente à Web atual em uma arquitetura orientada à recursos (ROA) [Zeng et al. 2011].

Com o intuito de contribuir para a criação de ambientes industriais inteligentes, diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico (P&D) estão sendo desenvolvidos nos laboratórios da UNIVALI em parceria com a Empresa XYZ¹. A Empresa XYZ possui uma tradição de desenvolvimento de tecnologias inovadoras e pretende com esta parceria viabilizar a aplicação destas pesquisas em seus produtos e serviços. O objetivo deste artigo é descrever como prover um ambiente industrial inteligente com Serviços

¹Produtora de máquinas industriais para a indústria têxtil que prefere manter o anonimato.

Web RESTful, *Smart Gateways* e Computação em Nuvem, a partir da descrição do estudo de caso desenvolvido para a Empresa XYZ.

2. Ambiente Industrial Inteligente - Um Estudo para o Setor de Vestuário

Os mercados têxtil e de confecção são considerados mercados estratégicos para o Brasil, pois juntos formam o segundo maior mercado gerador de mão-de-obra no país. O setor de vestuário brasileiro representa um universo de 81 mil confecções [IBGE 2010]. Em São Paulo, o faturamento das micro e pequenas empresas de confecção aumentou em 15,38% em termos reais em relação ao ano anterior [SEBRAE-SP 2012].

Para a preservar e estimular este crescimento, a Empresa XYZ visa contribuir com automação e com sistemas para confecções que buscam estratégias de redução de custos e aumento de qualidade do produto acabado. Para isso, a empresa possui uma unidade de negócios destinada à fabricação e montagem de máquinas industriais. A empresa dispõe ainda de uma equipe de pesquisa, desenvolvimento e inovação formada por 48 profissionais de diversas áreas tecnológicas. A empresa é credenciada pelo MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) para desenvolvimento de projetos no âmbito da Lei de Informática e, neste contexto, firmou parceria com a UNIVALI.

Nesta pesquisa, a Internet das Coisas e a Computação em Nuvem foram identificadas como as tecnologias base para a solução proposta que possibilitará a comunicação M2M, o monitoramento e controle remoto de máquinas industriais e com isto proverá um ambiente industrial inteligente para o setor de vestuário. Contudo, a solução proposta não está limitada a um tipo de atividade industrial e pode ser adaptada a diferentes cenários.

Neste ambiente industrial inteligente, as máquinas passarão a ter participação ativa em diversos processos da indústria e serão capazes de interagir e de se comunicar, a qualquer tempo e em qualquer lugar, com outros equipamentos, com pessoas e com o ambiente, trocando dados, reagindo de maneira autônoma a eventos, influenciando o ambiente através de processos que disparam ações e criam serviços, a fim de alcançar objetivos em comum. A segurança e a qualidade na operação das máquinas podem ser melhoradas, uma vez que estes ambientes inteligentes possibilitam a intervenção e controle inteligente sobre algumas situações que antes não eram monitoradas.

As aplicações de controle e monitoramento remoto oferecerão um suporte pró-ativo às máquinas industriais. Esse suporte se baseará em dados de monitoramento, que indicarão o momento em que há a necessidade de atendimento, evitando assim que o suporte seja feito apenas quando a máquina apresentar problemas ou quando afetar algum processo produtivo do ambiente industrial. Desta maneira, a disponibilidade dos produtos aumentará, pois os problemas que antes causavam a parada abrupta da máquina serão abordados de maneira antecipada. A vida útil das máquinas aumentará, pois as manutenções serão sob demanda e não mais apenas periódicas. Como consequência, haverá a redução dos custos de suporte e de manutenção em toda a cadeia produtiva. Fica claro os benefícios que um ambiente industrial inteligente pode trazer em termos de serviço de suporte prestado aos proprietários de máquinas industriais.

3. Provendo um Ambiente Industrial Inteligente

Para prover um ambiente industrial inteligente, a solução proposta segue uma arquitetura orientada a serviços e se baseia no uso de *Smart Gateways* e Computação em Nuvem,

conforme ilustrado na Figura 1. Como algumas máquinas industriais não estão conectadas à Internet ou não possuem servidores Web, a solução proposta faz uso de *Smart Gateways*. Um *Smart Gateway* é responsável por: (1) disponibilizar, na forma de Serviços Web RESTful, os recursos das máquinas industriais para comunicação M2M; (2) enviar os dados monitorados para um Serviço Web de persistência de dados na Nuvem; e (3) possibilitar o controle remoto das máquinas industriais por aplicações web hospedadas na Nuvem ou aplicativos de dispositivos móveis [Silva et al. 2015].

O software do *Smart Gateway* está embarcado em um hardware separado da máquina que possui diferentes interfaces de comunicação (WiFi, Ethernet, Zigbee e interfaces seriais). Isso possibilita o seu uso com diferentes máquinas industriais. Os componentes de um *Smart Gateway* e suas funcionalidades são descritos a seguir (Figura 1)²:

- **Device drivers:** controladores (tradutores) que abstraem os protocolos e APIs das máquinas industriais para a aplicação interpretador;
- **Interpretadores:** criam e atualizam constantemente uma representação virtual da máquina, baseada nas informações de monitoramento obtidas e em um modelo pré-definido para cada máquina;
- **Serviços Web RESTful:** disponibilizam os recursos da máquina para os clientes (outras máquinas ou aplicações) para monitoramento (via HTTP GET) ou controle (via HTTP POST);
- **Cliente Web RESTful:** envia, periodicamente, os dados monitorados no *Smart Gateway* para o Serviço de Persistência de Dados na Nuvem (via HTTP POST).

Para representação dos dados enviados do *Smart Gateway* para a Nuvem e para a troca de mensagens entre *Smart Gateways*, foi utilizado o padrão JSON. O JSON é mais adequado para uso em sistemas embarcados por ser menos verboso e por utilizar menos recursos computacionais se comparado com o padrão XML [Nurseitov et al. 2009].

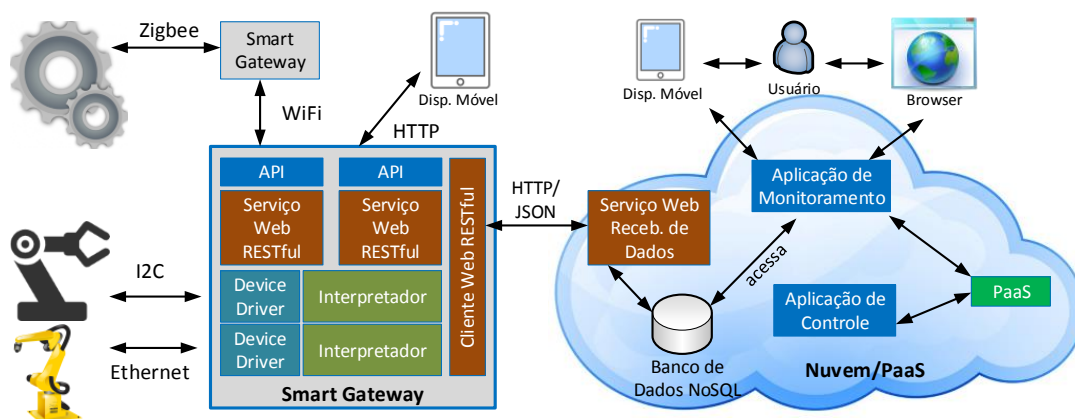


Figura 1. Solução para Provimento de Ambientes Industriais Inteligentes

Conforme ilustrado na Figura 1, na solução proposta, a Nuvem é utilizada para: (1) disponibilizar um serviço Web RESTful para recebimento de dados monitorados; (2) persistir os dados recebidos em base de dados NoSQL; (3) prover uma plataforma como

²Uma descrição do uso de *Smart Gateways* para controle e monitoramento remoto máquinas industriais pode ser encontrada em [Silva et al. 2015].

um serviço (PaaS) para criação e implantação de aplicações Web de controle e monitoramento remoto de máquinas industriais; e (4) provisionar aplicações Web de controle e monitoramento remoto de máquinas industriais.

A PaaS permite que as próprias empresas desenvolvam aplicações Web customizadas, hospedando esses dados e aplicações em uma Nuvem. A equipe de suporte/assistência técnica das máquinas industriais pode fazer uso da PaaS para construir aplicações que monitorem as máquinas de seus clientes e, assim, inovar através de suporte pró-ativo. Com a Nuvem, é possível ter infraestruturas escaláveis, o que possibilita alocar recursos sob demanda às aplicações Web e ao serviço de persistência de dados ³.

4. Estudo de Caso: Ambiente Industrial Inteligente com Máquina da Empresa XYZ

Algumas máquinas da Empresa XYZ e máquinas de outros fabricantes do segmento têxtil não possuem conectividade com a Internet ou não possibilitam o controle e monitoramento remoto via Web. Até o momento, não foi identificada nenhuma máquina deste segmento que suporte a comunicação M2M e que utilize a Computação em Nuvem para prover uma infraestrutura escalável e customizável para as aplicações de controle e monitoramento e para o armazenamento dos dados monitorados.

O estudo de caso considerou uma das máquinas industriais produzidas pela Empresa XYZ. Para descrição de como o ambiente industrial inteligente foi concebido, a seguir, tem-se a descrição do uso do *Smart Gateway*, do uso da Nuvem computacional e do uso de uma infraestrutura de segurança.

4.1. Uso do *Smart Gateway*

A máquina industrial do estudo de caso possui um sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) instalado no notebook que a acompanha, conforme ilustrado na Figura 2. O sistema SCADA registra em um arquivo de log todas as atividades realizadas pela máquina. Visando não alterar esse fluxo funcionamento, uma aplicação chamada Monitor foi criada para intermediar a comunicação entre o SCADA e o *Smart Gateway* (papel similar ao do *Device Driver* descrito na Figura 1).

A cada registro de log criado pelo sistema SCADA, a aplicação Monitor recebe um aviso do sistema operacional informando que o arquivo do log foi alterado, conforme passo 2 da Figura 2. A aplicação Monitor lê o novo registro de log e o envia ao *Smart Gateway*, por meio de uma mensagem HTTP POST para um Serviço Web de recebimento de mensagens de log (chamado *Message*). Ao receber esta mensagem, este serviço a interpreta e monta a representação virtual da máquina.

Por meio dos Serviços Web RESTful, o *Smart Gateway* permite a consulta aos recursos da máquina em tempo real (por meio de requisições HTTP GET) e a atuação sobre a máquina por meio de requisições HTTP POST de um recurso. No protótipo desenvolvido, para cada alteração na representação virtual da máquina, é gerado um registro, que é armazenado em memória e, a cada 20 segundos, este registro é enviado para o Serviço Web de persistência de dados na Nuvem, conforme mostra a Figura 2.

³A descrição detalhada da PaaS desenvolvida está descrita em [da Silva 2014].

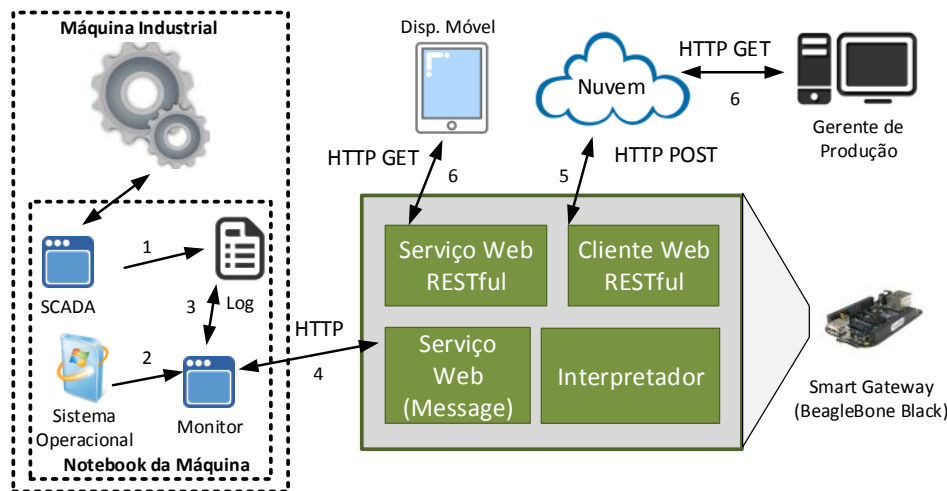


Figura 2. Cenário do Estudo de Caso

O *Smart Gateway* e o Monitor foram desenvolvidos usando a linguagem Java 7 para ambientes embarcados que utilizam processadores ARM, devido à portabilidade que esta oferece. Como servidor de aplicação para o *Smart Gateway*, foi utilizado o Apache Tomcat 8. Já os clientes e Serviços Web RESTful foram implementados por meio do uso do framework Jersey, a implementação de referência em Java para APIs RESTful. O software *Smart Gateway* foi embarcado em um BeagleBone Black, por ser uma plataforma de hardware aberta que atende às necessidades do projeto. O sistema operacional utilizado no *Smart Gateway* foi o Angstrom⁴ Linux.

4.2. Uso da Nuvem Computacional

O ambiente de Nuvem utilizado no estudo de caso é a plataforma Microsoft Azure. Esta plataforma é composta por uma coleção Serviços Web que compõe uma rica plataforma de computação em nuvem. As aplicações desenvolvidas e os serviços utilizados na solução proposta estão ilustrados na Figura 3 e estão descritos a seguir.

A *Smart API* é uma aplicação Web composta por Serviços Web RESTful, responsáveis pelo recebimento de dados dos *Smart Gateways* conectados a Nuvem. Para o recebimento dos dados, foi implementado o processamento assíncrono utilizando um barramento de serviços (*Enterprise Bus*), gerenciado pela Azure. Neste barramento, foi definida uma estrutura de enfileiramento de mensagens que são recebidas e encaminhadas para processadores autônomos, definidos pela aplicação *Smart Services*. Além disto, visando uma melhoria de desempenho, foi utilizado um serviço de *caching* de dados em memória (Redis) para otimizar todas as consultas realizadas durante o processo de monitoramento. Os dados disponibilizados neste ambiente de cache são oriundos de um banco de dados relacional (SQL Server), gerenciado pela plataforma Azure. Esta base fornece os dados estruturados de todos os recursos a máquinas gerenciadas pela plataforma. Desta forma, sempre quando for realizada uma rotina de monitoramento, é possível identificar qual recurso e qual máquina determinada informação monitorada pertence.

⁴<http://www.angstrom-distribution.org/>

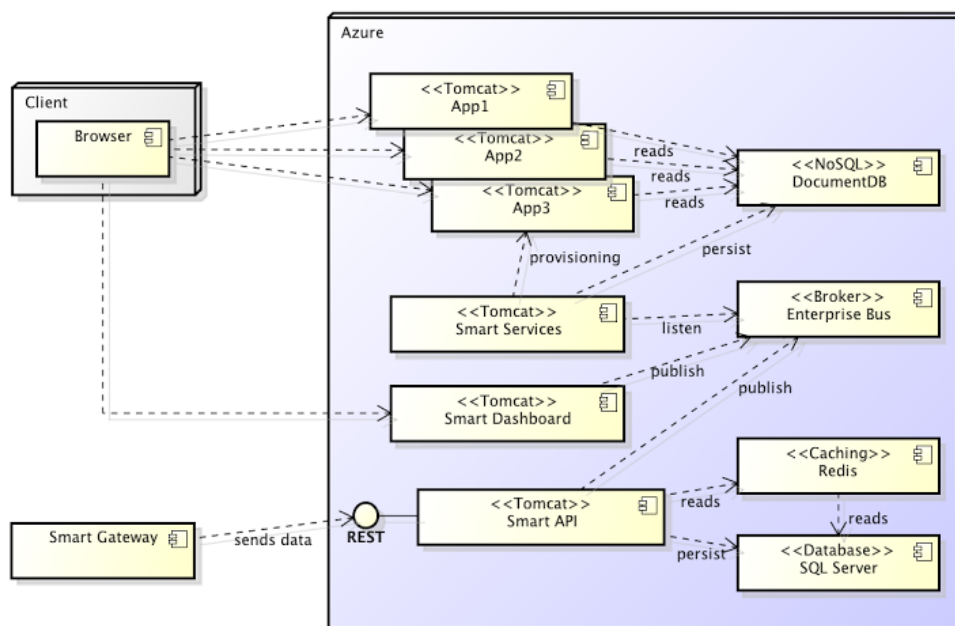


Figura 3. Estrutura da PaaS utilizada no Estudo de Caso

A aplicação *Smart Dashboard* é responsável pela implementação e disponibilização de um *dashboard manager* para criação de aplicações Web customizadas, oferecendo recursos intuitivos como *drag-and-drop* e *Web mashups*. Nesta aplicação, o usuário pode definir novas visões para monitoramento de recursos em máquinas industriais, criando novas aplicações e publicando-as em um ambiente separado provisionado pelo ambiente da nuvem.

A aplicação *Smart Services* é responsável pela definição dos processos assíncronos da plataforma que implementa a persistência dos dados monitorados em uma base de dados distribuída e que provisiona o ambiente para novas aplicações. Esta base de dados foi definida como um modelo de persistência não relacional (NoSQL) utilizando um serviço gerenciado pela Azure, denominado DocumentDB. O DocumentDB é um banco de dados orientado a documentos multi-plataforma, que utiliza um modelo de dados definido em um esquema parecido com a notação JSON, denominado BSON, o qual facilita a integração de dados em certos tipos de aplicações.

Por fim, as aplicações definidas para visualização dos dados monitorados são executadas em um ambiente isolado e virtualizado na infraestrutura da Azure. Estas aplicações servem para leitura dos dados monitorados. Portanto, realizam consultas diretas na base de dados distribuída definida pelo DocumentDB.

As aplicações foram desenvolvidas em Java por meio da plataforma Java EE. Os principais *frameworks* utilizados nesta solução foram: (i) JavaServer Faces (JSF), para desenvolvimento de aplicações Web baseadas no modelo MVC; (ii) Java Persistence API (JPA), para persistência em banco de dados relacionais; (iii) Enterprise JavaBeans (EJB), para desenvolvimento de componentes de negócio distribuídos; (iv) Contexts and Dependency Injection (CDI), para utilização de recursos como injeção de dependência e inversão de controle em aplicações Web; e (v) Java API for RESTful Web Services (JAX-RS), para implementação e publicação de componentes Java por meio de Serviços Web RESTful.

4.3. Uso de uma Infraestrutura de Autenticação e de Autorização

Ao desenvolver soluções para a indústria, é natural que haja uma preocupação em manter as informações, manipuladas pelos sistemas envolvidos, acessíveis apenas a pessoas e sistemas autorizados. Quando trata-se da comunicação autônoma entre máquinas (M2M), a preocupação é ainda maior. Diante disso, em [Domenech 2015] foi desenvolvida uma Infraestrutura de Autenticação e de Autorização para a Web das Coisas (AAI4WoT), capaz de prover autenticação e autorização de usuários e de dispositivos. Esta infraestrutura foi integrada ao ambiente industrial inteligente e os impactos decorrentes do seu uso foram avaliados. A AAI4WoT trata da comunicação entre usuários e máquinas que podem estar localizados em diferentes domínios administrativos (organizações), como seria o caso de um funcionário da Empresa XYZ (fabricante de máquinas) acessando uma máquina de uma empresa cliente, visando prestar um serviço de manutenção remoto.

A AAI4WoT está baseada nos padrões SAML e XACML, padrões difundidos para abordar a autenticação e a autorização em sistemas Web tradicionais. A infraestrutura também provê seus recursos por meio de Serviços Web RESTful. A AAI4WoT permite a comunicação M2M segura entre máquinas heterogêneas de um chão de fábrica, bem como entre as máquinas e sistemas heterogêneos de diferentes organizações. Sobre a autorização, a AAI4WoT permite que diferentes modelos de controle de acesso sejam implementados, de acordo com as necessidades de cada empresa [Domenech 2015]. Desse modo, a AAI4WoT facilita a criação de ambientes industriais inteligentes e seguros.

5. Avaliação dos Resultados da Prova de Conceito

Para avaliar a prova de conceito desenvolvida, foram executados dois tipos de testes: (i) testes funcionais de software e (ii) testes de desempenho. O cenário dos testes envolveu a aplicação Monitor instalada no notebook da máquina de corte que estava conectado a rede local Ethernet da empresa. O *Smart Gateway* também estava conectado a mesma rede local. Na Nuvem, os serviços descritos na Seção 4.2 estavam em execução na Plataforma Azure da Microsoft. Para a prova de conceito, uma aplicação Web de monitoramento foi desenvolvida na PaaS e provisionada em uma máquina virtual ...

O primeiro conjunto de testes contemplou doze casos de testes e teve como objetivo verificar o atendimento aos requisitos funcionais. A execução destes casos de testes foi realizada na unidade fabril da Empresa XYZ e foi acompanhada por dois engenheiros da empresa. Os testes foram executados com sucesso e, assim, foi possível confirmar que a semântica específica dos processos de operação da máquina industrial estava sendo reproduzida corretamente na representação virtual mantida pelo *Smart Gateway* e que os dados monitorados estavam sendo corretamente mostrados na aplicação Web de monitoramento e controle hospedada na Nuvem.

Os testes de desempenho tiveram por objetivo avaliar o impacto do uso da solução proposta, em especial, no *Smart Gateway*. Dois cenários foram analisados: (i) o *Smart Gateway*, atuando como cliente de Serviço Web RESTful, ao enviar dados de monitoramento para o serviço de persistência na nuvem; e (ii) o *Smart Gateway* provendo Serviços Web RESTful que são consumidos por aplicações cliente (p.e. aplicações de monitoramento em dispositivos móveis). Os testes foram executados 50 vezes e foi obtida a média e o desvio padrão. O objetivo foi mensurar os seguintes impactos:

- **Requisição de Serviço:** custo do envio dos dados de monitoramento do *Smart Gateway* para a nuvem e solicitação de um recurso feita por um cliente (fora do ambiente industrial) para o *Smart Gateway*; e
- **Interpretação e envio das mensagens do Monitor para o *Smart Gateway*:** custo da interpretação e da troca de mensagens entre Monitor e o *Smart Gateway*.

A Tabela 1 mostra os resultados da requisição do *Smart Gateway* para a *Cloud* e a Tabela 2 mostra os resultados da requisição de um cliente para o *Smart Gateway*. A avaliação de consumo de potência elétrica para o experimento de solicitação de recurso obteve 2 faixas de consumo: mínima e máxima, tanto para o caso em que o *Smart Gateway* é o cliente como para o caso em que atua como servidor. A Tabela 3 apresenta os dados deste teste.

Tabela 1. Requisição do *Smart Gateway* para a *Cloud*

| Memória RAM (MiB) | | Flash (MB) | | Tempo de Processam. (ms) | |
|-------------------|---------------|------------|---------------|--------------------------|---------------|
| Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| 195,08 | 1,29 | 1.548,23 | 0,98 | 4.210,18 | 168,35 |

Tabela 2. Requisição de um cliente para o *Smart Gateway*

| Memória RAM (MiB) | | Flash (MB) | | Tempo de Processam. (ms) | |
|-------------------|---------------|------------|---------------|--------------------------|---------------|
| Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| 185,93 | 0,58 | 1.550,52 | 0,01 | 0,29 | 0,79 |

Tabela 3. Consumo de potência para o *Smart Gateway* cliente e servidor

| | Cons. Mínimo (W) | | Cons. Máximo (W) | |
|----------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| | Média | Desv. Padrão | Média | Desv. Padrão |
| Cliente | 1,13 | 0,21 | 1,20 | 0,22 |
| Servidor | 1,06 | 0,08 | 1,13 | 0,1 |

Ainda no teste de Requisição de Serviço, foi medido o uso de CPU pelo *Smart Gateway*, quando este envia dados monitorados para a *Cloud*. Foram obtidos os valores máximos e mínimos de uso desse recurso, os quais são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Uso de CPU para o *Smart Gateway* cliente

| Menor Uso de CPU (%) | | Maior Uso de CPU (%) | |
|----------------------|---------------|----------------------|---------------|
| Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| 7,36 | 2,69 | 54,98 | 25,46 |

Nos testes de desempenho, também foram avaliados: (i) *parsing* - o tempo que o *Smart Gateway* levou para interpretar as mensagens recebidas do Monitor e alterar a representação virtual da máquina; e (ii) Envio da Mensagem - o tempo de envio de uma mensagem do Monitor para o *Smart Gateway* e a respectiva resposta. Ambos os testes foram executados 160 vezes com uma taxa de envio de 1 mensagem/s, sendo extraídos a média e o desvio padrão dessas execuções. A Tabela 5 apresenta os resultados deste teste.

Conforme a Tabela 5, o tempo de *parsing* das mensagens enviadas pelo Monitor foi, em média, de 6,31ms. Já o experimento de Envio da Mensagem considera o

Tabela 5. Tempo de execução do *parsing* e o envio e recebimento de mensagens

| | <i>Parsing</i> | Envio de Mensagem |
|----------------------|----------------|-------------------|
| Média (ms) | 6,31 | 37,01 |
| Desvio Padrão | 3,39 | 20,81 |

tempo para o envio da mensagem de log do Monitor para o *Smart Gateway*, o processo de interpretação e a resposta do *Smart Gateway* para o Monitor. A média de 160 execuções foi de 37,01ms e o desvio padrão foi de 20,81. Os resultados para ambos os testes podem ser considerados aceitáveis, diante da geração de 1 mensagem/s pelo SCADA.

Conforme os resultados dos experimentos, constata-se que um hardware como o BeagleBone Black possui recursos suficientes para embarcar a solução proposta, uma vez que possui 4GB de memória *flash* e 512MB de memória RAM. Por fim, conclui-se que a solução proposta é viável para o cenário avaliado.

6. Trabalhos Relacionados

Esta seção analisa quatro trabalhos relacionados que tratam do monitoramento remoto de ambientes industriais considerando as seguintes características: (i) se estes fazem uso de Serviços Web RESTful; (ii) se permitem a comunicação M2M; (iii) se fazem uso do ambiente Web; (iv) se proveem o controle remoto de máquinas industriais; (v) se fazem uso de um serviço de persistência em Nuvem; e, (vi) se usam *Smart Gateways*.

Em [Zecevic 1998], é descrita uma solução que permite o acesso aos dados obtidos por um sistema SCADA por meio de um navegador Web. O acesso é possível por meio de uma aplicação hospedada no servidor Web da Intranet da empresa que, ao ser requisitada por um usuário, se conecta ao servidor que armazena os dados do SCADA e os disponibiliza ao usuário. Apesar de intermediar a obtenção de dados do SCADA pelo usuário, essa aplicação não oferece as mesmas funções que o *Smart Gateway*. Na solução, os dados históricos não são armazenados na Nuvem, a aplicação não possibilita o controle remoto das máquinas e não viabiliza a comunicação M2M.

[Polônia 2011] descreve uma arquitetura de software para aplicações de SCADA que utiliza a Web como plataforma. A solução é baseada em uma ROA, que permite o monitoramento e controle remoto de máquinas, por meio de Serviços Web RESTful (sistema SCADA RESTful). A arquitetura permite uma integração do SCADA com a Web de uma maneira mais transparente e interoperável do que se obtém com sistemas SCADA tradicionais, baseados em RPC (*Remote Procedure Call*) ou em arquiteturas SOA (*Service Oriented Architecture*). Como o SCADA tem acesso direto às máquinas industriais, por meio de seus protocolos específicos, é possível considerar o sistema SCADA RESTful como um *Smart Gateway*. Na solução, é possível o controle remoto de máquinas industriais e, apesar de possível, a comunicação M2M não é tratada. Além disso, a integração com a Nuvem não é abordada.

Em [Mahmood e Al-Naima 2011], é proposto um sistema de monitoramento e controle remoto de plantas industriais petroleiras via Internet. Os equipamentos industriais das diversas plantas petroleiras são conectados a um servidor Web central, o qual disponibiliza aos usuários acesso aos recursos de monitoramento e controle destes equipamentos. O acesso é feito por meio do navegador Web do usuário, o qual carrega uma

aplicação do tipo *applet* para executar as operações nos equipamentos. Devido ao uso de *applets*, a solução proposta não possibilita a comunicação M2M. Além disso, não há persistência dos dados monitorados para análise histórica na nuvem.

O projeto IoT@Work tem como objetivo reduzir custos operacionais de configuração, funcionamento e manutenção de soluções fabris, por meio da redução dos tempos de interrupção decorrentes de reconfiguração e mudanças nos sistemas. Assim, foram desenvolvidas tecnologias para viabilizar o conceito de *”plug&work”* em redes industriais, visando permitir o ingresso de equipamentos na rede e a obtenção/fornecimento de funcionalidades sem intervenção humana [IOT@WORK 2013]. Dentre as tecnologias desenvolvidas, destacam-se: (i) o serviço de diretório unificado: permite aos dispositivos descobrir e acessar outros dispositivos/serviços da rede por meio de uma API RESTful, viabilizando também seu monitoramento remoto; (ii) O serviço de notificação de eventos: um *middleware* que atua como um conector entre geradores e consumidores de eventos, permitindo a troca de informações eficiente entre os dispositivos; e (iii) o Processamento de Eventos Complexos: permite que dados monitorados disparem processos automatizados de atuação. Apesar de ser focado em ambientes industriais e permitir a comunicação M2M, o projeto não aborda a publicação de dados dos dispositivos em uma plataforma de Nuvem e a solução não faz uso de *Smart Gateways*.

A Tabela 6 compara este trabalho com os trabalhos relacionados. Nenhum dos trabalhos relacionados abordou o uso de Nuvem para a persistência de dados de monitoramento e o provimento de aplicações Web que possibilitem o monitoramento e controle remoto de dispositivos em um ambiente industrial.

Tabela 6. Comparação dos trabalhos

| | Zecevic 1998 | Polônia 2011 | Mahmood e Al-Naima 2011 | IoT@Work 2013 | Este Trabalho |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------|------------------|
| API REST | - | Sim | - | Sim | Sim |
| M2M | - | - | - | Sim | Sim |
| Ambiente Web | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Controle Remoto | - | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Uso de Cloud | - | - | - | - | Sim |
| Uso de Smart Gateway | - | Sim | - | - | Sim |

7. Conclusão

Disponibilizar os recursos de máquinas industriais via Web visa facilitar o controle e o monitoramento destas e, com isto, aprimorar os processos industriais. Devido ao fato de muitas máquinas não possuírem conectividade com a Internet, o uso de *Smart Gateway* se mostra interessante. A solução proposta integra conceitos de IoT, computação em nuvem e automação industrial e inova ao possibilitar, via *Smart Gateway*, o controle e o monitoramento remoto de máquinas industriais e o suporte a comunicação M2M.

Uma solução para monitoramento da qualidade de energia elétrica e consumo de máquinas industriais baseada na solução proposta está em fase de desenvolvimento. Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver uma solução que garanta a confiabilidade de informações enviadas e recebidas pelas máquinas. Pretende-se ainda realizar experimentos da comunicação M2M em um chão de fábrica composto por diferentes máquinas industriais inteligentes, representadas por diferentes *Smart Gateways*.

Referências

- Atzori, L., Iera, A., e Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2787–2805.
- da Silva, R. C. (2014). Uma plataforma como um serviço (paas) para o desenvolvimento de aplicações de monitoramento e controle industrial.
- Domenech, M. C. (2015). Uma infraestrutura de autenticação e de autorização para a web das coisas. Master's thesis, Universidade do Vale do Itajaí.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., e Palaniswami, M. (2013). Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645–1660.
- IBGE (2010). Demografia das empresas 2010. Technical report.
- IOT@WORK (2013). Project overview. <https://www.iot-at-work.eu/>. [Online; accessed 10-December-2014].
- Karnouskos, S., Guinard, D., Savio, D., Spiess, P., Baecker, O., Trifa, V., e De Souza, L. M. S. (2009). Towards the real-time enterprise: service-based integration of heterogeneous soa-ready industrial devices with enterprise applications. In *Proceedings of the 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM'09)*, pages 2127–2132.
- Mahmood, M. K. e Al-Naima, F. M. (2011). An internet based distributed control systems: A case study of oil refineries. *Energy and Power Engineering*, 3:310–316.
- Nurseitov, N., Paulson, M., Reynolds, R., e Izurieta, C. (2009). Comparison of json and xml data interchange formats: A case study. *CAINE 2009*, 9:157–162.
- Parwekar, P. (2011). From internet of things towards cloud of things. In *Computer and Communication Technology (ICCCT), 2011 2nd International Conference on*, pages 329–333.
- Polônia, P. V. (2011). Proposta de arquitetura orientada a recursos para scada na web. Master's thesis, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Ramamurthy, B., Bhargavi, S., e ShashiKumar, R. (2010). Development of a low-cost gsm sms-based humidity remote monitoring and control system for industrial applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 1(4).
- SEBRAE-SP (2012). Pesquisa de conjuntura outubro/2012. Technical report.
- Silva, P. H. d., Domenech, M. C., Rauta, L. R. P., Silva, R. C. d., e Wangham, M. S. (2015). Controle e monitoramento remoto de máquinas industriais por meio de smart gateways na web das coisas. In *Anais do Computer on the Beach*, pages 298–307.
- Zecevic, G. (1998). Web based interface to scada system. In *Power System Technology, 1998. Proceedings. POWERCON '98. 1998 International Conference on*, volume 2, pages 1218–1221 vol.2.
- Zeng, D., Guo, S., e Cheng, Z. (2011). The web of things: A survey. *Journal of Communications*, 6(6).