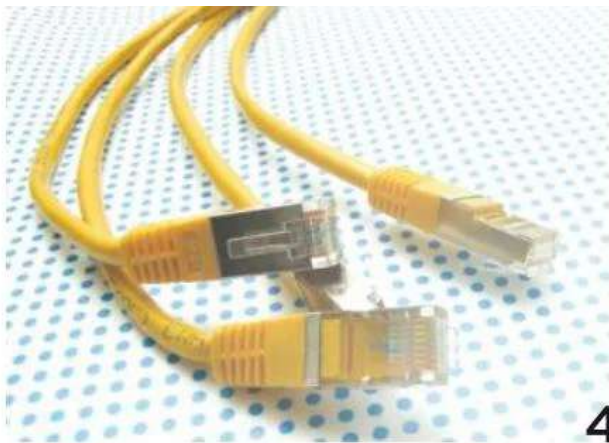




# MÁQUINA DE ENSAIO DE COMPRESSÃO NA ERA DA 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Adequar as empresas à nova revolução industrial é um processo irreversível. Para tanto, minimizar os custos através do desenvolvimento de equipamentos compatíveis e de baixo impacto financeiro é uma tendência e chave para a sobrevivência dos negócios.

Por Lucas Boeira Michels | Foto Divulgação

Os métodos de fabricação sofreram significativas mudanças ao longo dos anos (figura 1). No início os processos de produção eram artesanais, contavam com poucas ferramentas, técnicas simples e métodos rústicos. Com o passar do tempo, com o avanço da ciência, a descoberta de novas tecnologias e o crescimento das cidades, a economia que era de base agrária com sede no campo, passou a ser urbanizada. E com a introdução da mecanização da manufatura e a máquina a vapor iniciou-se a primeira revolução industrial (Shrouf, Ordieres e Miragliotta, 2014). Anos depois, com a descoberta da eletricidade e a introdução da produção em série a fabricação tornou-se um processo seriado e padronizado gerando produtos com qualidade mais homogênea sendo considerado este período a 2ª revolução industrial. Com o advento do computador e da integração da eletroeletrônica com a mecânica, os processos passaram a ser automatizados. Tais inovações foram consideradas parte da terceira revolução industrial, também chamada de revolução digital (Shrouf, Ordieres e Miragliotta, 2014).

O cenário atual do mercado e da indústria mostra uma pressão pela necessidade de individualização de produtos. Os consumidores estão cada vez mais exigentes e criteriosos na hora de decidir qual produto comprar. É necessário maior rastreabilidade e personalização nos produtos. Por conta disso, a metodologia de produção em massa, criada anos atrás, vem sendo substituída pela produção customizada (Scheuermann e Verclas, 2015). Especialistas afirmam que a chave para atingir esta mudança de paradigma do mercado produtivo é a introdução dos Sistemas Ciber-Físicos no lugar dos tradicionais sistemas de fabricação automatizados (Scheuermann e Verclas, 2015). Assim como a máquina a vapor foi o estopim da primeira revolução industrial, a quarta revolução industrial já vem sendo protagonizada pela evolução das telecomunicações e pela intercomunicação de dispositivos inteligentes através do conceito da "internet" das coisas" (IoT-

*Internet of Things*). Este simples conceito é uma junção das tecnologias de comunicação sem fio e outras Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) que têm tornado possível que exista comunicação e processamento de dados em praticamente todas as "coisas" que se pode imaginar.

Já é visto que a produtividade e eficiência na fabricação industrial vêm sendo elevada pela incorporação das tecnologias de informação e comunicação (ICT - *Information and Communication Technologies*) (Posada, Toro, et al., 2015). Mas há ainda um grande potencial a ser explorado com a introdução destas tecnologias. Por reconhecerem esta capacidade de aplicação da TIC na indústria, iniciativas e programas governamentais vêm sendo criados mundialmente para estruturar a nova indústria, tais como a *Internet Industrial* e a *Advantage Manufacturing Partnership* nos Estados Unidos da América, a *Industrie 4.0* na Alemanha, a *La Nouvelle France Industrielle* na França (Posada, Toro, et al., 2015). Sem dúvida a *internet* é uns dos "carros chefe" deste novo paradigma, pois é através dela que tudo se interconecta incluindo máquina e fábricas. Mas não é só isso. Na prática todas as iniciativas internacionais buscam criar a "indústria inteligente" de modo a aproveitar a tecnologia que temos hoje de comunicação, controle e programação para tornar as fábricas em organismos integrados, flexíveis, interconectados e inteligentes.



Figura 1 – Evolução dos processos de fabricação

As transformações na área industrial seguem tendências globais como a "Internet das Coisas e Serviços – IoT&S", auto-

mação industrial, conectividade e informação ubíqua<sup>2</sup>, cibersegurança, inteligência robótica, gerenciamento do ciclo de vida do produto, tecnologias semânticas<sup>3</sup> e a *Industrial Big Data*<sup>4</sup> (Posada, Toro, et al., 2015). A *internet das coisas* não é um conceito novo, mas na prática só recentemente está sendo implementado com maior intensidade. A IoT é um fenômeno que se baseia na comunicação máquina para máquina (M2M – *Machine to Machine*) (Andreev, Galinina, et al., 2015). A ideia básica é um sistema onde os itens físicos são enriquecidos com eletrônicos misturados (sensores, identificador RFID<sup>5</sup>, etc.) e conexão com *internet*. A "*internet das coisas*" se baseia em objetos e rede inteligentes. Graças a esta integração os objetos tornam-se ativos do processo podendo, inclusive tomar decisões (Shrouf, Ordieres e Miragliotta, 2014) como por exemplo, um microondas que verifica que você chegou em casa através da presença do celular e pergunta se deseja descongelar algum alimento para o jantar, enviando uma mensagem no WhatsApp<sup>6</sup>. Normalmente, ele só irá perguntar isso, pois registrou na memória, durante um período, que você tem feito esta prática constantemente. Atualmente já temos dispositivos inteligentes dentro de casa como as *SmartTV* e os *smartphones*<sup>7</sup>. São dispositivos que acessam a *internet* e utilizam recursos que antes somente os computadores podiam acessar. Este é o princípio da IoT. Porém, ela vai muito além disso. O que se espera é que no futuro estas tecnologias (como ilustrado na figura 2) se tornem cada vez mais comuns no dia a dia, proporcionando comunicação entre dispositivos, eletrodomésticos, serviços e qualquer outro objeto inteligente.



Figura 2 – Internet das Coisas em uma residência

É seguindo esta tendência da *internet das coisas* que a 4ª revolução industrial vêm acontecendo. A grande mudança no panorama das novas fábricas é a adoção dos sistemas ciber-físicos (CPS-do inglês *Cyber Physical System*) de forma

integrada. As fábricas inteligentes são diferentes das linhas de produção tradicionais. No novo conceito a indústria é composta de máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento de dados, e facilidades de produção incluindo a troca de informação com autonomia e inteligência, com capacidade de decidir e disparar ações, controlando cada máquina independentemente (Posada, Toro, et al., 2015). Os sistemas ciber-físicos quando organizados para a fabricação são chamados também de "sistemas de produção ciber-físicos" (CPPS- do inglês *Cyber Physical Production System*) (Posada, Toro, et al., 2015).

Nas fábricas tradicionais os equipamentos são rígidos, isto é, operam baseados em uma programação limitada a poucas variáveis, não se integram, não se comunicam, não compartilham informações entre si que possam adiantar ou subsidiar decisões sobre um determinado processo e não reconhecem as capacidades dos demais equipamentos à sua volta, assim como já vemos exemplos entre um *smartphone* e um som automotivo. A concepção da nova revolução industrial é gerar um sincronismo entre dispositivos desiguais ou componentes ciber-físicos que estão distantes geograficamente, mas ficam interligados em diferentes setores e serviços inteligentes. Tanto a "*internet das coisas*", quanto os "sistemas ciber-físicos" formam a tecnologia básica para modelar a nova indústria inteligente (Varghese e Tandur, 2014). Os sistemas ciber-físicos, na verdade, são uma combinação de máquinas com sistemas computacionais, em que se utiliza comunicação, computação e, principalmente o controle, para ser operacionalizado. A 4ª Revolução Industrial adota a mesma ideia de "*internet das coisas*" aos sistemas ciber-físicos e torna equipamentos "inteligentes", resultando na verdadeira *internet industrial*. O significado disso é que todos os equipamentos de uma fábrica estarão conectados à uma rede, o que proporcionaria inclusive o acesso remoto de equipamentos, controle via *internet* móvel por *tablets*<sup>8</sup> ou celulares e comunicação com grandes bancos de dados (*Big Data*).

As vantagens de integrar sistemas ciber-físicos têm impulsionado ainda mais a revolução da indústria no sentido da integração máquina para máquina e na criação de uma fábrica inteligente. As principais são: eficiência, fluxo de trabalho, segurança operacional e segurança no ambiente fabril (Scheuermann e Verclas, 2015), mais inteligência, aumento da adaptabilidade, eficiência e ergonomia de recursos e maior integração com usuários dentro das atividades de definição do produto (Stork, 2015).

Alguns estudos feitos com organizações que já implementaram a *Smart Manufacturing*<sup>9</sup> afirmaram ter experimentado benefícios como: maior eficiência, redução de defeito dos produtos e aumento da satisfação dos clientes (Shrouf, Ordieres e Miragliotta, 2014). A ideia é manter o foco na confiabilidade, latência e longevidade dos dispositivos de comunicação (Varghese e Tandur, 2014).

## ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA DE ENSAIO DE COMPRESSÃO INTELIGENTE

Para produzir peças conformadas, as máquinas de ensaio são fundamentais na determinação das propriedades mecânicas de um metal. Alguns dos parâmetros mais importantes para se projetar uma peça são a tensão de escoamento<sup>10</sup> ( $k_f$ ) e a tensão inicial de escoamento ( $k_{f0}$ ) do metal bruto. Estes dados tradicionalmente são obtidos experimentalmente através de máquinas de ensaio de compressão ou tração. São dados que servem como base para calcular e determinar a força, energia e outras variáveis do processo de conformação.

Atualmente está em desenvolvimento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo Instituto Federal de Santa Catarina e pela Universidade Federal de Santa Catarina uma máquina de ensaio de compressão inteligente, chamada de SmartMEC. Estas instituições se uniram cooperativamente para trocar conhecimentos e desenvolver estudos para um projeto ligado à 4ª Revolução Industrial. A máquina tem o intuito de transformar a ideia das tradicionais máquinas de ensaio de compressão, que são totalmente rígidas e isoladas, em um sistema ciber-físico. Isto é, uma máquina inteligente, que se comunica com outras, com flexibilidade na comunicação e suporte a banco de dados, inteligência artificial e classificadores computacionais. As máquinas de ensaio tradicionais são rígidas, pois dependem de um computador com aplicativo específico instalado para serem operadas. Além disso, precisam ter um computador conectado diretamente a ela via cabo e os dados não podem fornecer informações diretamente ao processo produtivo de modo a direcionar um processo de forma dinâmica.

Com a SmartMEC a proposta é que o equipamento faça parte dos sistemas ciber-físicos que compõem a indústria, trocando dados entre máquinas, ou simplesmente, oferecendo maior comodidade na análise do material, pelo uso de qualquer computador, *tablet* ou *smartphone* como painel de controle, sem necessidade de instalações de configurações ou recursos adicionais.

Um exemplo de aplicação da SmartMEC em linha de produção seria conforme ilustrado na figura 3.

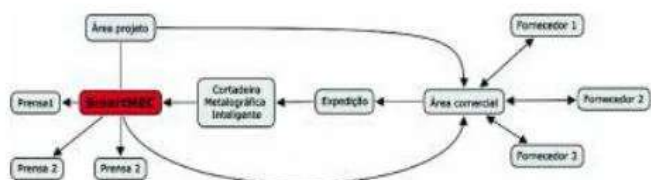


Figura 3 – Exemplo de fluxograma de produção em indústria de conformação com aplicação da SmartMEC

Inicialmente o projetista define algumas características da peça que ele quer produzir e então solicita à área comercial para adquirir o material. Quando o material chega, ele é cadastrado e ligado ao lote da peça que está sendo projetada, indo para expedição, onde é recebido e armazenado. Pos-

teriormente, uma amostra do material é selecionada para ser transformada em corpos de prova e uma máquina inteligente produz as amostras solicitadas. Na sequência, as amostras são enviadas para a SmartMEC para análise da máquina. Através da análise da SmartMEC o material é caracterizado e comparado com as características esperadas e que foram definidas durante a fase de projeto.

Por comparação com dados cadastrados na SmartMEC, os resultados são avaliados automaticamente e, caso estejam fora do padrão esperado (cadastrado), tanto o projetista quanto o pessoal da área comercial (e até mesmo o fornecedor) são informados de que o material adquirido não está de acordo com o especificado, e podem tomar as devidas soluções para troca do material. Por outro lado, se o material está de acordo com os padrões esperados, o projetista recebe a certificação e a SmartMEC libera o transporte do lote completo do material para ser direcionado para a prensa correspondente à capacidade escolhida para a fabricação das peças. Além disso, na fase de projeto, se o engenheiro precisar conhecer as características de um metal novo, ele poderá extrair parâmetros através da SmartMEC e assim cadastrar o material no programa de simulação ou apenas cadastrar no próprio sistema da SmartMEC para, no futuro, identificar e validar um novo lote de material que for adquirido, assim como foi descrito acima.

## Protótipo da SmartMEC

Para fins de aplicação da ideia da SmartMEC, um protótipo em tamanho reduzido foi desenvolvido conforme ilustrado na figura 4. Esta máquina possui uma estrutura mecânica acompanhada de um cilindro hidráulico para produção de força; um sistema de alimentação de corpos de prova automatizado para armazenamento e inserção dos corpos de prova; uma câmera de imagens e por fim um sistema de medição composto pelos sensores de força (célula de carga) e de deslocamento (régua potenciométrica).



Figura 4 – Estrutura de compressão da SmartMEC

De modo mais amplo, a SmartMEC não é composta apenas pela estrutura de compressão. A figura 5 ilustra melhor o complexo sistema multicomponente que compõe a Máquina de Ensaio de Compressão Inteligente. No item "a" da figura 5 está a estrutura de compressão. É onde ocorre a deformação dos corpos de prova para o ensaio de compressão. O item "b" é a unidade hidráulica responsável por gerar o fluxo de óleo para o cilindro hidráulico da estrutura de compressão. O item "c" é o painel de controle do motor elétrico que aciona a unidade hidráulica. O item "d" identifica o painel de processamento de dados. Este painel possui todos os dispositivos de controle e comunicação que a SmartMEC precisa para se comunicar com a *internet*, coletar dados dos sensores, capturar imagens da câmera e controlar reles e acionamento dos motores. O item "e" indica o servidor de *internet*, onde está a página eletrônica (*site*) com o painel de controle (item "i") da SmartMEC. O item "h" é apenas a representação e confirmação da ideia de uma máquina multiespacial, pois o acesso ao controle da SmartMEC pode ser feito via dispositivos com *internet* (com ou sem fio) e portanto, são dispositivos que fazem parte do complexo sistema que é a SmartMEC mas não estão fisicamente conectados à ela.

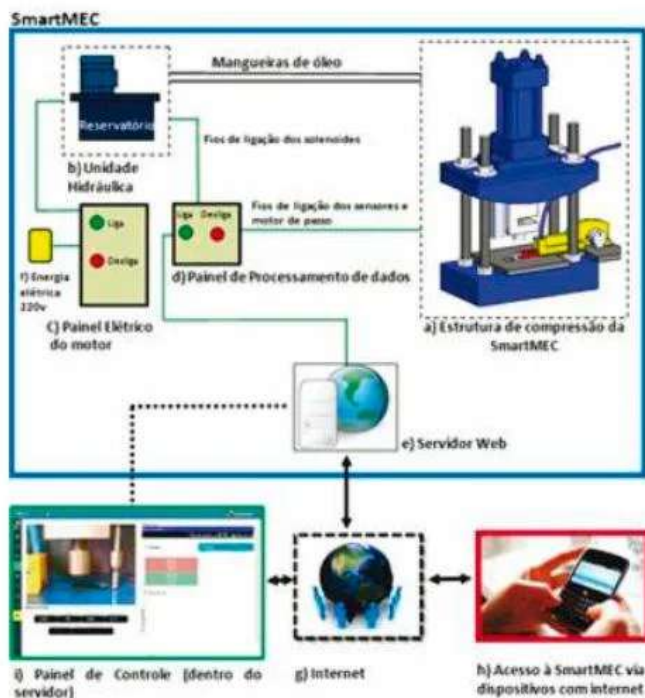


Figura 5 – Esquema geral do SmartMEC

### Sistema de Análise, Reconhecimento e Parametrização do Metal

O primeiro protótipo da SmartMEC foi programado para a determinação da tensão de escoamento ( $k_f$ ) de um metal e reconhecimento do metal com o uso de classificadores binários. Quando o metal é deformado pelo processo de ensaio na SmartMEC, ela primeiro determina a curva de escoamento do metal e então fornece os coeficientes  $C$  e  $n$  da equação da

tensão de escoamento conforme ilustrado na equação 1. Esta equação é um dos parâmetros básicos que o projetista precisa para determinar a força e outras variáveis do processo de fabricação de uma peça. Além disso, para que o sistema reconheça qual é o material, ensaios prévios para conhecimento do metal devem ser cadastrados e salvos no banco de dados para serem classificados pelo método SVM<sup>11</sup>. Portanto, os ensaios prévios são uma espécie de "treinamento" com dados experimentais e para que a SmartMEC possa comparar e determinar se um material se aproxima ou não do material cadastrado, classificando-o como "compatível" ou "incompatível" com aquelas características já analisadas.

$$k_f = C \cdot \varphi^n$$

Equação 1

onde

$k_f$  = tensão de escoamento [N/mm<sup>2</sup>];

$\varphi$  = deformação verdadeira [-];

$C$  = Coeficiente de resistência [N/mm<sup>2</sup>];

$n$  = Coeficiente de encruamento [-].

Conforme comentado, o treinamento da SmartMEC foi baseado nos coeficientes  $C$  e  $n$  e são eles que auxiliam na identificação do material. Para efeitos de teste foram gerados 185 conjuntos de dados com os coeficientes  $C$  e  $n$  da liga de alumínio 4043, onde 70 foram classificadas como "compatíveis" e os outros 115 foram definidos como metais "incompatíveis". Após este procedimento o sistema gera uma matriz de dados que auxilia na identificação do material do ensaio, para assim comparar as propriedades mecânicas dos próximos ensaios e determinar a proximidade com o material cadastrado.

### TESTES DE APLICAÇÃO DA SMARTMEC

Para testar a funcionalidade e repetibilidade do processamento das informações da SmartMEC foram realizados vinte ensaios operado a partir de um *smartphone*. Na figura 6, estão plotados os 20 experimentos realizados. Esta ilustração demonstra que, desconsiderando as possíveis heterogeneidades de composição do metal, há uma repetibilidade dos dados gerados pela SmartMEC.

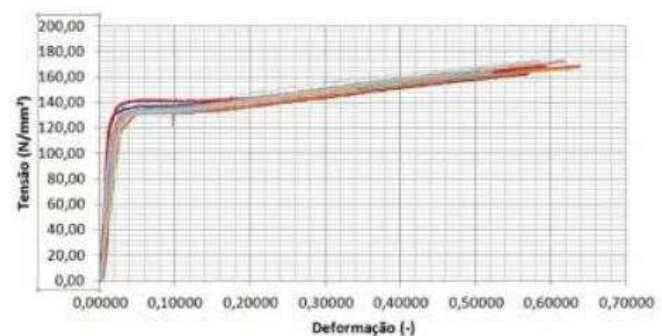


Figura 6 – Curva de escoamento dos ensaios da SmartMEC

Após o processo de ensaio, o sistema responsável por realizar a classificação leu os dados do banco de dados e gerou as constantes necessárias para classificação do metal conforme ilustrado na figura 7.

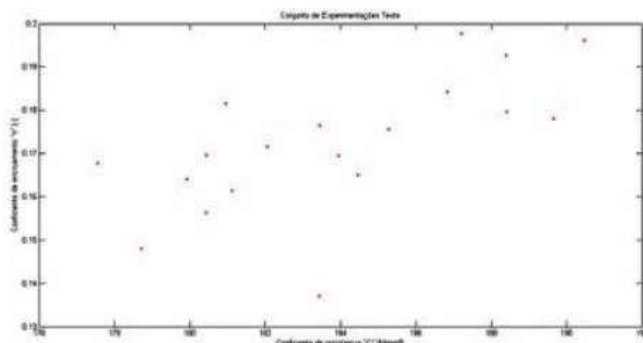


Figura 7 – Coeficientes “C” e “n” encontrados pela SmartMEC

Além disso, a SmartMEC conseguiu classificar todos os 20 ensaios como sendo válidos e compatíveis com o material do cadastro, conforme ilustrado na figura 8, o que aponta um primeiro avanço no assunto sobre a identificação dos metais. Caso a SmartMEC estivesse conectada a uma linha de produção, os demais equipamentos já estariam sendo consultados e preparados para direcionar e receber a produção da peça do projeto conforme já planejado pelo engenheiro projetista.



Figura 8 – Detalhe do sistema exibindo que o material é “compatível”

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sem dúvida, obter uma Máquina de Ensaio de Compressão Inteligente de baixo custo é um processo extremamente complexo devido às questões de interferência e a integração com o sistema de gerenciamento e controle.

Entretanto, nesta primeira versão foi possível adquirir um grande conhecimento sobre o processo de fabricação e montagem dos componentes mais sensíveis do sistema e os detalhes desta integração ciber-física. E desta forma conseguiu-se desenvolver um equipamento que pudesse flexibilizar o controle, monitoramento e obtenção dos dados através de navegadores de *smartphones*, *tablets* e *notebooks*, sem instalação de qualquer programa, aplicativo ou *driver* específico. Portanto, para operar a máquina de ensaio não é necessário estar ao lado dela, nem mesmo dentro da empresa. Basta estar conectado na *internet* em um dispositivo móvel e acessar a URL<sup>12</sup> da página de controle. Este item aumenta a segurança do operador, pois faz com que ele possa sair de perto da máquina para realizar o ensaio e demonstra um avanço na evolução do acesso que antes era restrito a um equipamento (computador) de forma dedicada, e agora pode ser acessado por dispositivos comuns, sem necessidade de instalação prévia no sistema.

O mais importante no desenvolvimento de um equipamento ciber-físico é que ele é uma parte fundamental no processo, fornecendo dados para o rastreamento da peça em nível de matéria-prima, gerando relatórios e auxiliando nas decisões da empresa de forma mais dinâmica devido à sua integração com dispositivos com acesso à *internet*, ao banco de dados e, principalmente, às outras máquinas e serviços da fábrica.

Mesmo sendo um protótipo operando com corpos de prova em torno de 7 mm de altura e 4,7 mm de diâmetro, e que a altura foi determinada pelo próprio mecanismo de medição da SmartMEC, a amostra de 20 ensaios demonstrou claramente a semelhança entre as curvas de escoamento e que uma máquina em tamanho industrial teria muito mais facilidade de ser implementada em uma ciber indústria.

Por fim, considera-se que a SmartMEC é uma possibilidade de baixo custo para seguir no rumo das fábricas inteligentes, visto que demonstrou capacidades de processamento, fluxo de dados, repetibilidade dos resultados, boa identificação de metais por métodos de classificação avançados e transmissão e acesso remoto via *internet* com custo relativamente baixo. ■

## REFERÊNCIAS

- [1] Andreev, S. et al.; *Understanding the IoT connectivity landscape: a contemporary M2M radio technology roadmap*. IEEE Communications Magazine - Communications Standards Supplement. Pg 32-40. September 2015.

- [2] Posada, J. et al.; *Visual computing as a key enabling technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet*. IEEE Computer Graphics and Applications, Mach/Abril 2015.
- [3] Scheuermann, C.; Verclas, S.; *Agile factory - an example of an Industry 4.0*. 3rd International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications. [S.l.]: [s.n.]. 2015.
- [4] Shrouf, F.; Ordieres, J.; Miragliotta, G.; *Smart Factories in Industry 4.0: a review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm*. [S.l.]: [s.n.]. Pg 697-701. 2014.
- [5] Stork, A.; *Visual computing challenges of advanced manufacturing and Industrie 4.0*. IEEE Computer Graphics and Applications, March/Abril 2015.
- [6] Varghese, A.; Tandur, D.; *Wireless requirements and challenges in Industry 4.0*. Contemporary Computing and Informatics (IC3I), [S.l.]: [s.n.]. 2014.

<sup>1</sup>**Internet**: é um conglomerado de redes em escala mundial de milhões de computadores interligados que permite o acesso a informações e todo tipo de transferência de dados. Ela carrega uma ampla variedade de recursos e serviços, incluindo os documentos interligados da World Wide Web (Teia de Abrangência Mundial), e a infraestrutura para suportar correio eletrônico e serviços como comunicação instantânea e compartilhamento de arquivos [www.wikipedia.com.br].

<sup>2</sup>**Ubíqua**: em toda parte. O termo Computação ubíqua, do inglês Ubiquitous Computing ou ubicomp, ou ainda computação pervasiva, é um termo usado para descrever a onipresença da informática no cotidiano das pessoas. Computação ubíqua tem como objetivo tornar a interação homem-computador invisível, ou seja, integrar a informática com as ações e comportamentos naturais das pessoas. Não invisível como se não pudesse ver, mas, sim de uma forma que as pessoas nem percebam que estão dando comandos a um computador, mas como se tivessem conversando com alguém. Além disso, os computadores teriam sistemas inteligentes que estariam conectados ou procurando conexão o tempo todo, dessa forma tornando-se assim onipresentes [www.wikipedia.com.br].

<sup>3</sup>**Web semântica**: é uma extensão da World Wide Web atual, que permitirá aos computadores e humanos trabalharem em cooperação. A Web semântica interliga significados de palavras e, neste âmbito, tem como finalidade conseguir atribuir um significado (sentido) aos conteúdos publicados na internet de modo que seja perceptível tanto pelo humano como pelo computador. A web semântica é a relação de interatividade do homem e o computador, onde um depende do outro para a conclusão de tarefas [www.wikipedia.com.br].

<sup>4</sup>**Big Data**: do inglês, significa grandes dados ou megadados. Em tecnologia da informação (TI) refere-se a um grande armazenamento de dados e maior velocidade. Diz-se que o Big Data se baseia em 5 "V": velocidade, volume, variedade, veracidade e valor.

<sup>5</sup>**RFID**: do inglês Radio-Frequency IDentification, significa identificação por rádio-frequência. É um método de identificação automática através de sinais de rádio, recuperando e armazenando dados remotamente através de dispositivos denominados etiquetas RFID. Uma etiqueta ou tag RFID é um transponder, pequeno objeto que pode ser colocado em uma pessoa, animal, equipamento, embalagem ou produto, dentre outros.

<sup>6</sup>**WhatsApp**: aplicativo de mensagens multiplataforma que permite tro-

car mensagens pelo celular sem pagar por SMS. Está disponível para iPhone, BlackBerry, Android, Windows Phone, e Nokia.

<sup>7</sup>**Smartphone**: do inglês smart = inteligente e phone = telefone. É um telefone móvel com funcionalidades avançadas que podem ser estendidas por meio de programas executados por seu sistema operacional. Os sistemas operacionais dos smartphones permitem que desenvolvedores criem milhares de programas adicionais, com diversas utilidades. Geralmente um smartphone possui características mínimas de hardware e software, sendo as principais a capacidade de conexão com redes de dados para acesso à internet, a capacidade de sincronização dos dados do organizador com um computador pessoal, e uma agenda de contatos que pode utilizar toda a memória disponível do celular [wikipedia].

<sup>8</sup>**Tablet**: dispositivo pessoal em formato de prancheta que pode ser usado para acesso à internet, organização pessoal, visualização de fotos, vídeos, leitura de livros, jornais e revistas e para entretenimento com jogos. Apresenta uma tela sensível ao toque (touchscreen) que é o dispositivo de entrada principal. A ponta dos dedos ou uma caneta aciona suas funcionalidades. É um novo conceito: não deve ser igualado a um computador completo ou um smartphone, embora possua funcionalidades de ambos.

<sup>9</sup>**Smart Manufacturing**: do inglês smart = inteligente e manufacturing = manufatura.

<sup>10</sup>**Tensão de escoamento**: também chamado de Limite de Escoamento ou Limite Elástico Aparente. Ou ainda tensão de cedência ou tensão de limite elástico (em Português). É a tensão máxima que o material suporta ainda no regime elástico de deformação. Se houver algum acréscimo de tensão o material não segue mais a Lei de Hooke e começa a sofrer deformação plástica (deformação definitiva). O limite de escoamento é o ponto onde começa o fenômeno escoamento, a deformação irreversível do corpo de prova, a partir do qual só se recuperará a parte de sua deformação correspondente à deformação elástica, resultando uma deformação irreversível [wikipedia.org]. A unidade de medida é dada em Pascal [Pa] e [Pa] = [N/m²], [MPa] = 10<sup>6</sup> [Pa] ou [MPa] = [N/mm²].

<sup>11</sup>**SVM**: do inglês Support Vector Machine, significa máquina de vetores de suporte. É um conceito na ciência da computação para um conjunto de métodos do aprendizado supervisionado que analisam os dados e reconhecem padrões, usado para classificação e análise de regressão. O SVM padrão toma como entrada um conjunto de dados e prediz, para cada entrada dada, qual de duas possíveis classes a entrada faz parte, o que faz do SVM um classificador linear binário não probabilístico [wikipedia.org].

<sup>12</sup>**URL**: do inglês Uniform Resource Locator, significa Localizador Padrão de Recursos. É o endereço de um recurso disponível em uma rede, seja a rede internet ou intranet. Em outras palavras, é um endereço virtual com um caminho que indica onde está o que o usuário procura, e pode ser tanto um arquivo, como uma máquina, uma página, um site, uma pasta etc. Também pode ser o link ou endereço de um determinado site [significados.com.br].

**Lucas Boeira Michels** -  
Tecnólogo em Eletromecânica e Mestre em Educação pela Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina -UNESC. Professor pesquisador do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Campus Araranguá. Doutorando



no programa de pós-graduação em Engenharia de Minas, Materiais, Metalúrgica-UFRGS.

<http://lattes.cnpq.br/2395000308112725>  
[lucasboeira@ifsc.edu.br](mailto:lucasboeira@ifsc.edu.br)

**Lírio Schaeffer** - Engenheiro Mecânico e Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor na área de Conformação Mecânica pela Universidade Técnica de Aachen na Alemanha (Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule - RWTH). Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) do Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS. Pesquisador na área de Mecânica, Metalurgia e Materiais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), professor das disciplinas relacionadas aos processos de fabricação por conformação mecânica e vinculado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Energia (PPGEM) da UFRGS.

<http://lattes.cnpq.br/1093242836059112>  
[schaefer@ufrgs.br](mailto:schaefer@ufrgs.br)

**Vilson Gruber** - Professor pesquisador da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC campus Araranguá. Doutor em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais pela Universidade

Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

<http://lattes.cnpq.br/5501474017902654>  
[vilson.gruber@ufsc.br](mailto:vilson.gruber@ufsc.br)

**Luan Carlos da Silva Casagrande** - Aluno do curso de graduação em Engenharia da Computação na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC Campus Araranguá.

<http://lattes.cnpq.br/5109506795806667>  
[luanccasagrande@gmail.com](mailto:luanccasagrande@gmail.com)

**Felipe da Cunha dos Santos** - Aluno do curso de graduação em Engenharia da Computação na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC Campus Araranguá.

<http://lattes.cnpq.br/3081354752325161>  
[felip.santo@gmail.com](mailto:felip.santo@gmail.com)

## SISTEMAS DE CÂMARA QUENTE

A **Tecnoserv** possui uma ampla variedade de **buchas aquecidas** e **ponteiras** para diversos tipos de materiais injetados. Esses sistemas de câmara quente são rigorosamente verificados e testados (try out), além de serem produzidos com a melhor tecnologia.

**Possuímos uma equipe técnica qualificada para instalação, manutenção e assistência, além de oferecer um grande estoque de peças para reposição: buchas aquecidas, ponteiras, resistências e termopares.**

☎ +55 11 4057-3977

💻 [www.tecnoserv-moldes.com.br](http://www.tecnoserv-moldes.com.br)

✉ [tecnoserv@tecnoserv-moldes.com.br](mailto:tecnoserv@tecnoserv-moldes.com.br)

 **Tecnoserv**