

## **QUAL É O VALOR DAS CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA 4.0?**

### **UM ESTUDO EM UMA MÁQUINA DE PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS**

Bruno Turmina Guedes ([engbrunoguedes@gmail.com](mailto:engbrunoguedes@gmail.com)) – PPGE, UFSC.

Diego de Castro Fettermann ([dcfettermann@gmail.com](mailto:dcfettermann@gmail.com)) – PPGE, UFSC.

#### **RESUMO**

A Indústria 4.0 é um novo paradigma baseado em fábricas digitais, capaz de combinar tecnologias de informação e máquinas com produtos inteligentes. Neste contexto, este artigo busca responder qual é o valor agregado pela adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no desenvolvimento de bens de capital. Esta publicação tem como objetivo realizar uma estimativa do valor dos recursos da Indústria 4.0 no desenvolvimento de uma máquina de processamento de alimentos. A metodologia utilizada para avaliar a incorporação destas tecnologias para serem incluídas no produto está baseado na abordagem de Preferência Declarada (*Stated Preference-SP*). Os resultados indicam uma hierarquia entre as oportunidades de melhoria que as tecnologias 4.0 inserem ao produto. Nesse sentido, a inclusão de artefatos que adicionem os aspectos da Indústria 4.0 de manutenção são os que apresentam maior contribuição ao valor do produto.

Palavras chave: Indústria 4.0; Preferência Declarada; Desenvolvimento de Produtos.

## 1. INTRODUÇÃO

A implementação da Indústria 4.0 nas organizações implica em novos paradigmas em relação à maioria das características dos produtos em desenvolvimento. Com isso, os processos produtivos estão gradativamente migrando para a quarta revolução industrial. Essa atualização é viabilizada pelo uso intenso da internet, por meio de amplas redes de comunicação em um sistema denominado *Cyber-Physical-Systems* (CPS) (BRETTEL *et al.*; 2014). Embora o termo Indústria 4.0 seja notadamente difundido, existem outros termos correspondentes ao fenômeno, como apontam Culot *et al.* (2020), por exemplo, manufatura em nuvem (ADAMSON, 2017; FISHER, 2018), manufatura inteligente (KUSIAK, 2018; MITTAL, 2018; OSTERRIEDER, 2010), internet industrial ou internet das coisas industrial (BOYES *et al.*, 2018), cyber-manufatura (LEE, 2016), transformação digital (FRANK *et al.*, 2019; LI, 2017), entre outros.

Portanto, este novo paradigma é baseado em fábricas digitais, capazes de combinar tecnologias de informação e máquinas com produtos inteligentes (LASI; KEMPER, 2014). O desenvolvimento da Indústria 4.0 busca maximizar a eficiência operacional, intensificar a produtividade e fomentar a automação dos sistemas de produção (THAMES; SCHAEFER, 2016). Embora o termo Indústria 4.0 tenha raízes na estratégia de alta tecnologia desenvolvida na Alemanha, ainda carece de uma definição precisa e amplamente aceita (HOFMANN E RÜSH, 2017). Por exemplo, Culot *et al.* (2020) elencam algumas tecnologias facilitadoras, como Internet das Coisas (IoT), sistemas ciber-físicos (CPS), tecnologias de visualização, computação em nuvem, soluções de interoperabilidade e segurança cibernética, tecnologia de *blockchain*, simulação e modelagem, aprendizado de máquina e inteligência artificial, análise *big data*, impressão 3D, robótica avançada e soluções de gestão de energia.

Os benefícios oriundos da Indústria 4.0 são diversificados. Por exemplo, a integração de objetos físicos, interações humanas, máquinas inteligentes, processos e linhas de produção resulta no desenvolvimento de uma nova cadeia de valor inteligente, conectada e eficiente (SCHUMACHER *et al.*, 2016). Além disso, a pesquisa atual ainda carece de conhecimento consistente sobre como a Quarta Revolução Industrial afetará as indústrias futuras (HOFMANN; RÜSCH, 2017). Tal divergência de conceitos e benefícios em relação à Indústria 4.0 reforça a necessidade de se estabelecer um procedimento para sua aplicação prática (FORD, 2015), especialmente quando envolve o impacto de novas tecnologias no desenvolvimento de novos produtos. Com base nesses argumentos, a questão de pesquisa pode ser levantada: "qual é o valor agregado pela adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no desenvolvimento de bens de

capital?" Assim, este artigo tem como objetivo realizar uma estimativa do valor dos recursos da Indústria 4.0 no desenvolvimento de uma máquina de processamento de alimentos. Este estudo contribui para o corpo de conhecimento sobre a Indústria 4.0, que ainda é superficial e pouco desenvolvida (e.g., HOFMANN; RÜSCH, 2017). Além disso, esta pesquisa indica implicações práticas da Indústria 4.0, uma vez que visa fornecer evidências para auxiliar no melhor entendimento dos requisitos 4.0 nos produtos. Seus resultados também contribuem para mitigar a falta de procedimentos para implantação da Indústria 4.0 (e.g., FORD, 2015).

Além desta seção introdutória, este artigo está estruturado da seguinte forma. A segunda seção apresenta o produto de estudo estudado. Em seguida, na terceira seção são mostradas as suas especificações sugeridas a partir da implementação das tecnologias da Indústria 4.0. Na quarta seção são discutidos os aspectos metodológicos, sendo que, na quinta seção os resultados são apresentados. Por fim, as conclusões do estudo são estabelecidas.

## **2. O PRODUTO**

O trocador de calor, objeto de estudo dessa pesquisa, possui algumas características particulares. Este consiste em um trocador de calor de superfície raspada. Ou seja, existem partes móveis que formam um conjunto com o eixo principal, definidas como “palhetas”. A partir do giro deste eixo, as palhetas realizam a raspagem da superfície entre o fluido refrigerante e o produto. O produto a ser resfriado ou aquecido possui propriedades físicas de um fluido não-newtoniano, como exemplo: géis, pastas e outros fluidos comuns à indústria alimentícia.

Como pode ser observado na Figura 1 a seguir, o trocador de calor possui cilindros, que são interligados entre si. Estes possuem internamente um eixo raspador, que, como citado anteriormente possui as palhetas. Este eixo possui um acionamento mecânico por redutor de velocidades e motor elétrico. Além disso, o trocador dispõe de uma área de passagem de fluido refrigerante. Esta máquina contém uma estação de controle do fluido refrigerante. Por fim, a máquina contém um isolante térmico que impede a troca de calor com o meio.



FIGURA 1 – Trocador de calor.

Observando a arquitetura de produto deste bem de capital, os trocadores de calor possuem, além das partes mecânicas anteriormente descritas, uma estação de controle que possui válvulas de expansão, de controle, e reguladoras, estas acionadas eletricamente, uma interface de operação com tela sensível ao toque e botões físicos para operação, além dos controles exigidos por normas regulamentadoras, como o botão de emergência e de rearme. A arquitetura de produto pode ser visualizada na Figura 2, mostrada na sequência.

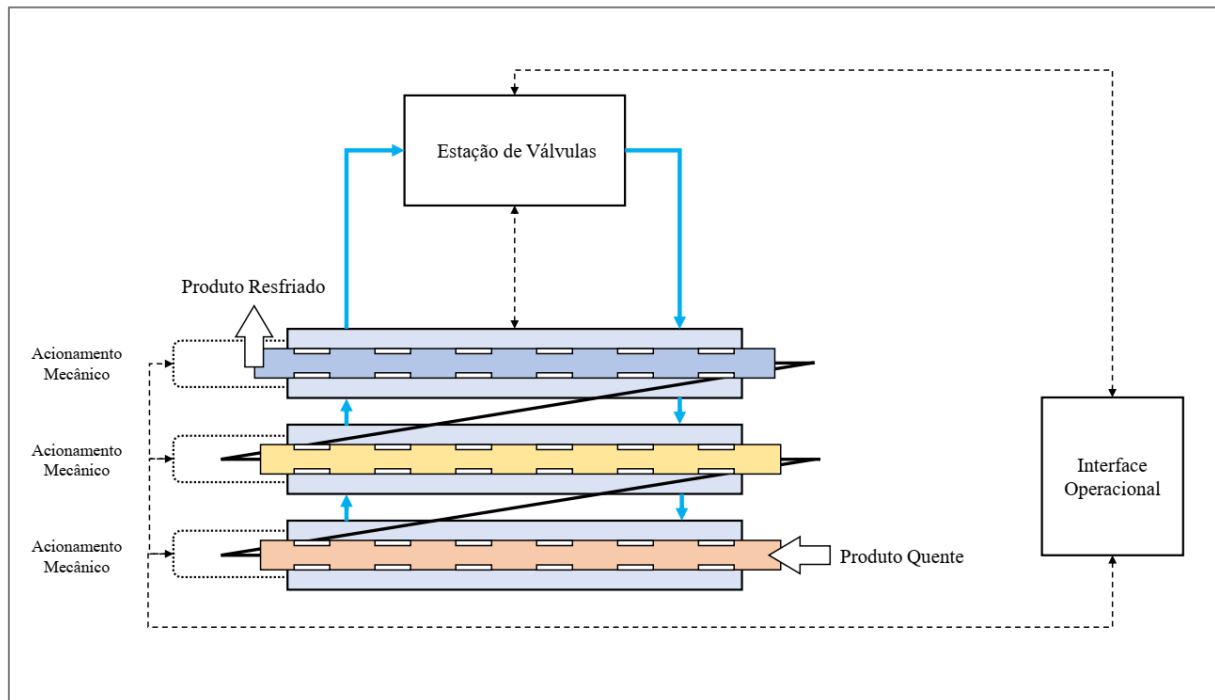


FIGURA 2 – Arquitetura da máquina trocador de calor.

Estes trocadores de calor aquecem ou resfriam os produtos que transpassam suas partes internas. Para isto, são inseridas informações de temperatura de saída desejadas. A partir da estação de controle, é proporcionada a quantidade de fluido refrigerante necessária para atingir as temperaturas especificadas. Sensores de aferição de temperatura são instaladas ao longo da máquina para aferição da troca térmica.

Nos processos industriais onde este bem de capital está instalado, fatores como controle de temperatura, modos operacionais, produção horária e aspectos de manutenção são essenciais para maximizar as operações relacionadas ao aquecimento ou resfriamento de produtos. Assim, sob a perspectiva da Indústria 4.0, a seguir, serão discutidos tais aspectos.

### 3. ESPECIFICAÇÕES BASEADAS NAS TECNOLOGIAS 4.0

A análise sobre o produto identificou quatro oportunidades de incorporação de funcionalidades na máquina em estudo baseada na incorporação de tecnologias da Indústria 4.0: (i) controle de temperatura do produto por meio de aprendizado por máquina, (ii) operação com controle autônomo, (iii) produção com controle remoto, (iv) manutenção preditiva implementada por meio de sensores e aprendizado de máquina.

### 3.1. Controle de Temperatura

Ao associar o controle de temperatura de saída do trocador de calor com o aprendizado por máquina (ou *machine learning*), conferimos precisão e eficácia às operações e processos em que a máquina está inserida. Por exemplo, a partir de um histórico de controle de temperatura de saída de produto, o aprendizado por máquina adiciona à capacidade de resposta com maior exatidão e acurácia, conforme a aquisição de dados de parada de máquina, bem como dados de temperatura de entrada ao longo do processo. Logo, ao inserir esta característica a partir do histórico do processo, os trocadores de calor terão um controle mais apurado e preciso, em detrimento de uma técnica de controle mecânica, o controle proporcional, integral e derivativo. Este último, está diretamente associado à inércia térmica, enquanto que o controle por aprendizado por máquina está focado na resposta com base em condições antecedentes. Sendo assim, ao invés de interagir após um dado produto atingir uma temperatura a ser reduzida ou aumentada, o controle sobre a aprendizagem por máquina encontra o equilíbrio do processo a partir de informações pré-determinadas. De maneira subordinada ao ajuste da temperatura de saída, intervir de maneira autônoma nesta definição da temperatura de trabalho também é necessário.

### 3.2. Operação

Nos processos convencionais em que o trocador de calor está inserido, geralmente o operador detém o controle, ao intervir manualmente com a definição da temperatura de trabalho. Ou seja, ao longo do processo, a partir de aferições periódicas de temperatura, o mesmo determina a temperatura de trabalho. Por outro lado, ao designar um controle autônomo, a definição da temperatura deixa de ser manual e passa a ser estipulada com base em dados instantâneos do processo. Assim, a partir de sensores de temperatura que captam os ganhos energéticos sobre a forma de calor em várias etapas do processo, a máquina ajusta de maneira autônoma a temperatura desejada. Além de estabelecer um controle instantâneo, ganhos no campo da eficiência energética serão perceptíveis, uma vez que o controle passa ser imediato e reduz consequentemente a demanda de energia desnecessária da casa de máquinas.

### 3.3. Produção

A partir do uso de sensores que informam interfaces de monitoramento remotas, o acompanhamento da produção deixa de ser necessariamente local, do ponto de vista físico, para

estar em qualquer unidade produtiva de uma dada organização. Assim, a gestão dos processos industriais não se limita a unidades isoladas, e sim, uma cadeia pode ser estabelecida e gerida de maneira centralizada. Além disso, o *benchmarking* entre as unidades de produção de uma dada organização potencializa os ganhos com produtividade em tempo real.

### 3.4. Manutenção

Tendo como característica intrínseca às suas partes móveis, fenômenos mecânicos como desgaste devido ao atrito e as cargas que cada componente sofre, os trocadores de calor possuem planos de manutenção que se ajustam conforme a severidade do uso. É comum estabelecer uma periodicidade na manutenção, a fim de conservar as características e os processos em que estas máquinas são utilizadas. De maneira a potencializar a manutenção dos trocadores de calor, a abordagem da manutenção preditiva, em detrimento da manutenção preventiva, é possível a partir de sensores que informam uma Inteligência Artificial (IA), que detém o controle de intervenção na máquina. Ou seja, as paradas de máquina estabelecidas de maneira periódica e com caráter preventivo, são, a partir da inteligência artificial, ajustadas e prognosticadas.

## 4. METODOLOGIA

A seção de metodologia é apresentada em três sub seções, sendo que cada uma busca apresentar os procedimentos realizados e as técnicas utilizadas.

### 4.1. Variáveis Analisadas

Cada uma das especificações baseadas nas tecnologias da Indústria 4.0 sugeridas para incorporação no produto são analisadas por meio de uma variável *dummy* (A, B, C, D), em que 0 corresponde ao padrão atual da máquina e 1 a incorporação da tecnologia da Indústria 4.0 (Tabela 1). Também foi incluída uma variável que representa o valor monetário para o produto (E-Preço). Para esta variável foram estabelecidos três níveis, que correspondem a um valor básico para o produto (R\$250.000,00), mediano (R\$450.000,00) e superior (R\$650.000,00), que corresponde ao valor estimado para a incorporação de todas as características baseadas nas tecnologias da Indústria 4.0 sugeridas para o produto em análise. Além disso, foram incluídas no levantamento outras variáveis relacionadas ao perfil do respondente (F, G).

TABELA 1 – Variáveis incluídas no levantamento.

Id	Características	Trocador de Calor de Superfície Raspada	
			Mensuração
A	Controle de Temperatura	Controle da estação de válvulas por controle PID (atual)	0
		Controle da estação de válvulas por machine learning	1



B	Operação	Definição manual de temperatura de saída desejada, a partir da IHM (atual)	0
		Definição autônoma da temperatura de saída, a partir de sensores que informam uma inteligência artificial.	1
C	Produção	Monitoramento local, com interface próxima a máquina (atual)	0
		Monitoramento local e remoto, com interface e sistema supervisor.	1
D	Manutenção	Manutenção preventiva, conforme plano de manutenção previsto em manual de instruções (atual)	0
		Manutenção preditiva, a partir de sensores que informam uma inteligência artificial	1
E	Preço	Preço de venda alto, R\$ 650.000,00	650
		Preço de venda médio, R\$ 450.000,00	450
		Preço de venda baixo, R\$ 250.000,00	250
F	Experiência do Colaborador		Anos
G	Setor da Empresa		Nominal

#### 4.2. Questionário e Amostra

A metodologia utilizada para avaliar a incorporação das tecnologias da Indústria 4.0 para serem incluídas no produto está baseado na abordagem de Preferência Declarada (*Stated Preference-SP*). A literatura reporta diversos estudos de SP aplicados para avaliar sistemas de transporte (e.g. MULLEY *et al.*, 2018), sistemas de energia (e.g., KIM *et al.*, 2018) e a configuração de produtos inteligentes (e.g., CALEGARI *et al.*, 2018; FETTERMAN *et al.*, 2020; FETTERMAN *et al.*, 2021). Para construir os cenários para o questionário de SP foram utilizadas as quatro variáveis relativas às tecnologias 4.0 (A, B, C, D) e a variável preço (E). Dessa forma, os atributos considerados no experimento de SP são: (A) Controle de temperatura (2 níveis), (B) Operação (2 níveis), (C) Produção (2 níveis), (D) Manutenção (2 níveis) e (E) Preço (3 níveis). O projeto experimental fatorial completo para a combinação dos atributos considerados atinge um total de 48 diferentes configurações possíveis para o produto. Para ajudar o respondente para selecionar as configurações do produto que maximizam sua utilidade a literatura sugere a redução do número de cenários apresentados a cada tarefa de escolha (CAUSSADE *et al.*, 2005; CALEGARI *et al.*, 2018). A partir disso, foi utilizado o projeto experimental denominado *Randomized Complete Block Design* (RCBD) para distribuir os cenários de produto em oito diferentes tarefas de escolha. Em cada tarefa de escolha foi também incluída uma opção que consiste em nenhuma das outras configurações apresentadas anteriormente ao respondente (*option-out*). O respondente é solicitado a selecionar uma configuração do produto (cenário) em cada uma das oito tarefas de escolha (blocos). Um



exemplo de uma tarefa de escolha utilizada no questionário é apresentado na Figura 3. O questionário foi implementado usando a plataforma *Google Forms*®.

Selecione a melhor configuração do produto na sua opinião (T#1) \*

Opção 1	Opção 2
Controle por Aprendizado da Máquina	Controle PID
Entrada de Temperatura Autônoma	Entrada de Temperatura Manual
Monitoramento Local e Remoto	Monitoramento Local
Preditiva por sensores e IA	Preventiva
R\$ 450.000,00	R\$ 450.000,00

☐ Opção 1 ☐ Opção 2

Opção 3	Opção 4
Controle por Aprendizado da Máquina	Controle por Aprendizado da Máquina
Entrada de Temperatura Autônoma	Entrada de Temperatura Autônoma
Monitoramento Local e Remoto	Monitoramento Local e Remoto
Preditiva por sensores e IA	Preditiva por sensores e IA
R\$ 650.000,00	R\$ 250.000,00

☐ Opção 3 ☐ Opção 4

Opção 5	Opção 6
Controle PID	Controle PID
Entrada de Temperatura Manual	Entrada de Temperatura Manual
Monitoramento Local	Monitoramento Local
Preventiva	Preventiva
R\$ 250.000,00	R\$ 650.000,00

☐ Opção 5 ☐ Opção 6

☐ Outro:

FIGURA 3 – Exemplo de uma tarefa de escolha (bloco) utilizado no questionário.

O questionário foi aplicado para colaboradores da empresa fabricante do produto. Foram incluídos colaboradores da área de projeto da empresa (engenharia), da área comercial (vendas e assistência técnica) e de produção (planejamento e controle da produção). A amostra atingiu um total de 16 respondentes. Os respondentes tem uma experiência média de 6 a 7 anos de experiência com o produto em estudo. A partir da pequena amostra utilizada não é esperado

atingir valores que sejam significativos na população, mas sim estabelecer, na visão dos colaboradores da empresa, a hierarquia e a magnitude das potenciais funcionalidades que as tecnologias da Indústria 4.0 podem oferecer ao produto em análise.

### 4.3. Análise dos Dados

A resposta do questionário resulta em uma variável dependente binária, sugerindo o uso de modelos logísticos para a estimação (TABACHNICK *et al.*, 2007). Cada respondente é apresentado para oito tarefas de escolha, cada um com sete alternativas (cenários), atingindo um total de 56 respostas por respondente. Assim, a partir das respostas foi desenvolvido um banco de dados de 840 respostas. Para considerar que o mesmo respondente realiza a escolha de um cenário por mais de uma vez, e que essa decisão é condicionada às alternativas apresentadas, a literatura recomenda a utilização do modelo multinomial logístico (MLM) (HENSHER *et al.*, 2015), que corresponde a uma situação específica do modelo de escolha proposto por MacFadden (1994). O valor de disponibilidade a pagar (*Willingness to Pay* – WTP) consiste no valor marginal de cada atributo analisado, sendo que seu cálculo é dado pela Equação 1, em que  $\beta_N$  são os coeficientes não monetários estimados (A, B, C, D) e  $\beta_M$  corresponde ao coeficiente monetário (E) (HENSHER *et al.*, 2015).

$$MWTP = \frac{\partial v / \partial v_N}{\partial v / \partial v_M} = - \frac{\beta_N}{\beta_M} \quad (1)$$

EQUAÇÃO 1 – Estimação do WTP.

Uma alternativa para calcular o intervalo de confiança para os valores de WTP consiste no método de Krinsky e Robb (KRINSKY; ROBB, 1990). O método de Krinsky e Robb apresenta uma alternativa para simular as propriedades assintóticas dos parâmetros estimados pelo método de máxima verossimilhança, obtendo padrões simulados da distribuição normal multivariada e considerando tanto os erros padrão quanto as covariâncias dos parâmetros estimados (BLIEMER; ROSE, 2013). Dessa forma, a partir do modelo MNL são estimados os coeficientes correspondentes a cada uma das possibilidades de incorporação das tecnologias da Indústria 4.0 sugeridas para o produto e, por fim o valor de WTP é calculado a partir dos coeficientes estimados (Equação 1). Todas as estimações foram realizadas utilizando os pacotes do software R-Studio.

## 5. RESULTADOS

O modelo condicional multinomial estimado apresentou um *Rho-squared* ajustado = 0.1849746, considerado ainda adequado para este tipo de modelo (HENSHER *et al.*, 2015). O modelo estimado convergiu atingindo valores de AIC 460,97, BIC 478,57 e *LogLikelihood* = -224,48 (Tabela 2). Os resultados indicam que entre as variáveis analisadas, somente o preço se apresentou significativa (p-valor < 0,001).

TABELA 2 – Variáveis analisadas.

Variável	Coefficiente	Exp(Coef)	Z	P-valor
ASC	0,2072	0,00	-0,006	0,995
A-Temperatura	0,1945	1,215	1,113	0,266
B-Operação	0,1287	1,115	0,623	0,533
C-Produção	0,214	1,239	1,226	0,220
D-Manutenção	0,282	1,331	1,637	0,102
E-Preço	-0,004106	0,9959	-6,738	>0,001

Os resultados indicam uma hierarquia entre as oportunidades de melhoria que as tecnologias da Indústria 4.0 disponibilizam ao produto. Nesse sentido, a inclusão da possibilidade de D-Manutenção é a que apresenta maior contribuição ao produto. Os resultados estimados indicam que a possibilidade de um potencial cliente escolher a configuração do produto (cenário) com Manutenção aperfeiçoada com tecnologias da Indústria 4.0 é 1,331 vezes maior, ou 33,1% maior, que quando esta funcionalidade não está disponível.

Além dos resultados estimados, também são apresentados os valores médios de disponibilidade a pagar (WTP) e os potenciais valores para percentis 2,5 e 97,5 da população. Esta interpretação busca identificar o valor monetário que cada uma das funcionalidades analisadas (Tabela 3).

TABELA 3 – Disponibilidade a pagar (WTP) e potenciais valores.

WTP*	Média (50%)	2,5%	97,5%
A-Temperatura	R\$ 47.38	R\$ -36.41	R\$ 138.67
B-Operação	R\$ 26.48	R\$ -59.82	R\$ 118.44
C-Produção	R\$ 52.12	R\$ -33.13	R\$ 146.17
D-Manutenção	R\$ 69.69	R\$ -14.33	R\$ 167.55

Método Kinsky-Robb

\*Valores x 10<sup>3</sup>

Novamente, os valores em Reais (média), indica o quanto o percentil 50 estaria disposto a pagar pela inclusão de cada uma das funcionalidades 4.0 testadas para o produto. Nesse sentido, a inclusão da D-Manutenção, tem uma capacidade de agregar R\$ 69.690,00 ao produto. Seguindo esta hierarquia, a inclusão da C-Produção tem potencial de agregar R\$ 52.120,00. Em

seguida, A-Temperatura tem potencial de adicionar R\$ 47.380,00 ao valor, e por fim, aspectos operacionais em B-Operação tem capacidade de adicionar ao valor do produto R\$ 26.480,00.

## 6. CONCLUSÕES

A partir dessa pesquisa é possível estimar a disponibilidade que o consumidor de um dado produto tem a pagar por um dado requisito. Neste contexto, observou-se as especificações baseadas nas tecnologias recentes, que compõem o conjunto de recursos da Indústria 4.0. Além disso, estudou-se um setor com características particulares, a indústria alimentícia.

A partir de um trocador de calor de superfície raspada, estabeleceu-se um questionário voltado à esta indústria, porém aplicado em um fabricante de bens de capital. Logo, as respostas são sobre suas perspectivas e percepções. Envolveram-se nas respostas colaboradores, por exemplo, dos setores de engenharia, assistência técnica e comercial. Os requisitos baseados nas tecnologias 4.0 foram hierarquizados e os seus valores foram estabelecido a partir da abordagem de preferência declarada, sendo que o valor WTP foi encontrado a partir da utilização do modelo multinominal logístico.

Assim, a disponibilidade a pagar foi ordenada da seguinte maneira: em primeiro lugar, a manutenção preditiva com inteligência artificial, em segundo, o monitoramento remoto (aspecto produtivo), em terceiro, o controle de temperatura por *machine learning*, e por fim, a operação remota com sistemas supervisórios.

Como estudos futuros, sugere-se a expansão deste questionário para respondentes consumidores do bem de capital observado, ou seja, a indústria alimentícia, como exemplo frigoríficos, fabricantes de alimentos em geral, para consumo humano e animal. As limitações quanto ao número de respondentes e também quanto a forma de obtenção das tecnologias 4.0 podem revistas em estudos futuros.

## 7. REFERÊNCIAS

- ADAMSON, Göran et al. Cloud manufacturing—a critical review of recent development and future trends. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 30, n. 4-5, p. 347-380, 2017.
- BOYES, Hugh et al. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. **Computers in industry**, v. 101, p. 1-12, 2018.
- BLIEMER, M.; ROSE, J. M. Confidence intervals of willingness-to-pay for random coefficient logit models. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 58, p. 199-214, 2013.
- BRETTEL M. et al. “How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective”. **International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering** 8(1): 37-44 (2014).

- CALEGARI, L. P. et al. A conjoint analysis to consumer choice in Brazil: Defining device attributes for recognizing customized foods characteristics. **Food research international**, v. 109, p. 1-13, 2018.
- CAUSSADE, S. et al. Assessing the influence of design dimensions on stated choice experiment estimates. **Transportation research part B: Methodological**, v. 39, n. 7, p. 621-640, 2005.
- CULOT, Giovanna et al. Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. **International Journal of Production Economics**, p. 107617, 2020.
- FETTERMANN, D. C. et al. Configuration of a smart meter for Brazilian customers. **Energy Policy**, v. 139, p. 111309, 2020.
- FETTERMANN, D. C. et al. Getting smarter about household energy: the who and what of demand for smart meters. **Building Research & Information**, v. 49, n. 1, p. 100-112, 2021.
- FISHER, Oliver et al. Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route. **Journal of manufacturing systems**, v. 47, p. 53-68, 2018.
- FORD, M. Industry 4.0: Who benefits? **SMT Surface Mount Technology Magazine**, V. 30, n.7, p. 52-55, 2015.
- FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, p. 15-26, 2019.
- HENSHER, D.; ROSE, J.; GREENE, W. Applied Choice Analysis. Cambridge University Press, 2015.
- HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.
- KIM, J.; PARK, S. Y.; LEE, J. Do people really want renewable energy? Who wants renewable energy? Discrete choice model of reference-dependent preference in South Korea. **Energy Policy**, v. 120, p. 761-770, 2018.
- KRINSKY, I.; ROBB, A.L. On approximating the statistical properties of elasticities: a correction. **The Review of Economics and Statistics**, v. 72, n. 1, p. 189-190, 1990.
- KUSIAK, Andrew. Smart manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 1-2, p. 508-517, 2018.
- LASI H.; KEMPER H. G. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, V.6, n.4, p.239-242, 2014.
- LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; JIN, Chao. Introduction to cyber manufacturing. **Manufacturing Letters**, v. 8, p. 11-15, 2016.
- LI, Jian-Qiang et al. Industrial internet: A survey on the enabling technologies, applications, and challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 19, n. 3, p. 1504-1526, 2017.
- LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of industrial information integration**, v. 6, p. 1-10, 2017.
- MCFADDEN, D. Contingent valuation and social choice. **American journal of agricultural economics**, v. 76, n. 4, p. 689-708, 1994.
- MITTAL, Sameer et al. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). **Journal of manufacturing systems**, v. 49, p. 194-214, 2018.
- MULLEY, C.; HO, C.; HO, L.; HENSHER, D.; ROSE, J. (2018). Will bus travellers walk further for a more frequent service? An international study using a stated preference approach. **Transport policy**, v. 69, p. 88-97, 2018.
- OSTERRIEDER, Philipp; BUDDE, Lukas; FRIEDLI, Thomas. The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. **International Journal of Production Economics**, v. 221, p. 107476, 2020.
- SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. **Procedia CIRP**, V.52, p.161-166, 2016.
- STOCK, Tim; SELIGER, Günther. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. **Procedia Cirp**, v. 40, p. 536-541, 2016.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S.; ULLMAN, J. B. **Using multivariate statistics**. Boston, MA: Pearson, 2007.

THAMES, L.; SCHAEFER D. Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. **Procedia CIRP**, V.52, p.12-17, 2016.