



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

ANA PAULA REIS NOLÊTTO

***INTERNET OF THINGS* EM LOGÍSTICA: UMA
ANÁLISE DO USO DE EMBALAGEM INTELIGENTE
PARA DISTRIBUIÇÃO DE ALIMENTOS
REFRIGERADOS**

CAMPINAS

2018

ANA PAULA REIS NOLÊTTO

***INTERNET OF THINGS* EM LOGÍSTICA: UMA
ANÁLISE DO USO DE EMBALAGEM INTELIGENTE
PARA DISTRIBUIÇÃO DE ALIMENTOS
REFRIGERADOS**

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade
de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
da Unicamp, para obtenção do título de
Doutora em Engenharia Civil, na área de
Transportes

Orientador: Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Junior

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELA ALUNA ANA PAULA REIS NOLÊTTO E
ORIENTADA PELO PROF. DR. ORLANDO FONTES LIMA
JUNIOR

ASSINATURA DO ORIENTADOR

CAMPINAS

2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.
ORCID: 0000-0002-2694-7919

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

N718i Nolêto, Ana Paula Reis, 1972-
Internet of things em logística : uma análise do uso de embalagem
inteligente para distribuição de alimentos refrigerados / Ana Paula Reis Nolêto.
– Campinas, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Orlando Fontes Lima Junior.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Logística. 2. Embalagens inteligentes. 3. Internet das coisas. 4.
Alimentos. 5. Transporte de cargas. 6. Carne - Embalagens. I. Lima Junior,
Orlando Fontes, 1958-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Internet of things in logistics : an analysis of use of intelligent
packaging for refrigerated foods distribution

Palavras-chave em inglês:

Logistics

Smart packaging

Internet of things

Food

Cargo transportation

Meat - Packaging

Área de concentração: Transportes

Titulação: Doutora em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Orlando Fontes Lima Junior [Orientador]

Leandro Tiago Manêra

Rosa Maria Vercelino Alves

Antonio Galvão Naclério Novaes

Dumontier Pinheiro Aragão Junior

Data de defesa: 09-02-2018

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

***INTERNET OF THINGS* EM LOGÍSTICA: UMA ANÁLISE DO USO DE
EMBALAGEM INTELIGENTE PARA DISTRIBUIÇÃO DE ALIMENTOS
REFRIGERADOS**

Ana Paula Reis Nolêto

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Junior
Presidente e Orientador / FEC / UNICAMP

Prof. Dr. Leandro Tiago Manêra
FEEC / UNICAMP

Profa. Dra. Rosa Maria Vercelino Alves
Instituto de Tecnologia de Alimentos

Prof. Dr. Antonio Galvão Naclério Novaes
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Dmontier Pinheiro Aragão Junior
Universidade Federal do Ceará

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no
processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 09 de fevereiro de 2018.

DEDICATÓRIA

Ao meu amado esposo Romulo Noletto,
por sempre estar ao meu lado, me incentivando
a percorrer este caminho, oferecendo seu ombro
amigo em momentos difíceis e momentos felizes.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior, por sua paciência, ajuda e incentivo na realização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Sérgio Adriano Loureiro, pelas valorosas contribuições e por sua amizade.

Aos professores Leandro Tiago Manera, Antônio Galvão Naclério Novaes, Dmontier Pinheiro Aragão Junior e Rosa Maria Vercelino Alves, pela colaboração com importantes sugestões para o trabalho.

A Aline, Danielle, Juliana e Fabio por serem amigos incríveis.

Ao ITAL (Instituto de Tecnologia de Alimentos) que me proporcionou tudo o que aprendi como profissional.

A Damares, Wendy e Vanderlei do LALT (Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes) e aos amigos maravilhosos que fiz no laboratório por todo o suporte e amizade no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários da secretária de Pós-Graduação, especialmente ao funcionário Eduardo Estevam da Silva pela ajuda e paciência.

A Daisy e a Patricia do CETEA, por toda a colaboração para a realização desse trabalho.

A equipe do CETEA que me incentivou, me cedeu tempo e mostrou respeito para a realização e conclusão desse trabalho.

A Tayná (Tatá) pelas palavras de apoio e incentivo.

Finalmente a minha mãe Maristela, pelos ensinamentos repletos de carinho e compreensão e por ser uma pessoa com um coração gigante. Mãe, eu te amo.

A cada dia que vivo, mais me convenço de que o desperdício da vida está no amor que não damos, nas forças que não usamos, na prudência egoísta que nada arrisca e que, esquivando-nos do sofrimento, perdemos também a felicidade.

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

A perda de alimentos durante as etapas de processamento, distribuição e consumo atinge um terço do total produzido no mundo contabilizando cerca de 1,3 bilhões de toneladas por ano. Para que esses alimentos sejam entregues em grandes quantidades e de forma segura são aplicadas técnicas de conservação como a refrigeração. O aumento da complexidade das operações logísticas ocorrido nas últimas décadas, torna as cadeias de distribuição de alimentos sob refrigeração mais susceptíveis a falhas com pontos de oscilações e/ou ruptura do controle da temperatura. Entre as alternativas indicadas para melhorar a gestão de operações logísticas, destacam-se as soluções baseadas em Tecnologia no qual se aplica o conceito de *Internet of Things* (IoT) que apresenta uma visão de conectividade entre qualquer coisa, a qualquer hora e em qualquer lugar. Na área de logística as “coisas” podem ser os produtos acondicionados em embalagens inteligentes. O objetivo deste trabalho é avaliar como o emprego de embalagens inteligentes, desenvolvidas para serem agentes atuantes nos processos decisórios que ocorrem ao longo de sua distribuição, podem colaborar no desempenho da logística de alimentos refrigerados. Para atender esse objetivo foram realizados experimentos em câmara refrigerada e aplicado o método de Modelagem e Simulação Baseada em Agentes (*Agent Based Modeling and Simulation* - ABMS). Os experimentos avaliaram o comportamento térmico de um produto cárneo refrigerado quando exposto a diferentes tempos de abertura de porta. As curvas térmicas obtidas no experimento foram aplicadas no Modelo de Simulação baseada em Agentes que implementou ações ao longo da distribuição para promover a manutenção da temperatura ideal do produto refrigerado através da redução da temperatura ambiente e mudança de rota. A utilização de embalagens inteligentes dentro do conceito de agentes autônomos, em plataformas IoT, pode proporcionar o aumento da confiabilidade e integridade dos produtos refrigerados.

Palavras-chave: Logística, Embalagem Inteligente, Alimentos Refrigerados, Internet of Things

ABSTRACT

The loss of food during processing, distribution and consumption stages amounts one third of the total produced in the world accounting for about 1.3 billion tons per year. Conservation techniques such as refrigeration are applied in order that these foods may be delivered in large quantities and safely. The increase in the complexity of logistic operations in recent decades has made food distribution chains more susceptible to failures as temperature oscillation and / or control rupture. Solutions based on Technology in which the concept of Internet of Things (IoT) are among the alternatives indicated to improve the management of logistical operations. Such concept presents a vision of connectivity between anything, anytime and anywhere. In logistics, the "things" can be products in intelligent packaging. The objective of this work is to evaluate how the use of intelligent packaging, developed to be agents acting in the decision processes that occur along its distribution, can collaborate in the logistics performance of refrigerated foods. In order to meet this objective, experiments were carried out in a refrigerated chamber, and the Agent Based Modeling and Simulation (ABMS) method was applied. The experiments evaluated the thermal behavior of a refrigerated meat product when exposed to different door opening times. The thermal curves obtained in the experiment were applied in the model of simulation that implemented actions along the distribution to promote the maintenance of the ideal temperature of the refrigerated product through the reduction of the ambient temperature and change route. The use of intelligent packaging within the concept of autonomous agents, on IoT platforms, can increase the reliability and integrity of refrigerated products.

Keywords: Logistics, Intelligent Packaging, Refrigerated Food, Internet of Things

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Perdas e desperdício de alimentos ao longo da cadeia de alimentos .	17
Figura 1.2. Soluções orientadas por sistemas IoT.....	20
Figura 1.3. Estrutura do controle autônomo e seus objetivos levando a maior agilidade	21
Figura 2.1. Etapas de Desenvolvimento da Pesquisa.	26
Figura 2.2. Etapas de construção de um modelo de agente	28
Figura 3.1. Perdas ao longo da cadeia de suprimentos de alimentos.....	30
Figura 3.2. Influência da variação de temperatura de armazenamento na vida útil de três diferentes peixes resfriados (Salmão, Bacalhau e Arenque).	34
Figura 3.3. Influência da variação de temperatura no período médio de armazenamento de alguns alimentos	34
Figura 3.4. Objetivos da gestão logística	35
Figura 3.5. Estrutura geral da etapa de distribuição da cadeia de suprimentos de alimentos	36
Figura 3.6. Perda de qualidade em alface e aspargos frescos armazenados em diferentes temperaturas.....	37
Figura 3.7. Tendências da logística e sua importância.....	39
Figura 3.8. Exemplos de fluxos de mercadorias.....	41
Figura 3.9. Sistema com entrega de ar refrigerado ocorrendo a partir da parte superior da carroceria.....	42
Figura 3.10. Sistema com entrega de ar refrigerado ocorrendo a partir da parte inferior da carroceria.....	43
Figura 3.11. A carga é carregada diretamente da doca para o veículo. O alimento refrigerado é altamente protegido e o tempo de carregamento pode ser longo.....	44
Figura 3.12. A carga atravessa uma antecâmara com temperatura intermediária em relação ao estoque refrigerado e ao ambiente externo. A proteção do alimento refrigerado é fraca e o tempo de carga é limitado.....	44
Figura 3.13. A carga deve atravessar o pátio para ser carregada. O alimento refrigerado não tem proteção e o tempo de carregamento deve ser o mais curto possível.	44
Figura 3.14. Placa indicando que o veículo deve ser desligado durante o tempo ocioso (Ex: carga e descarga).....	45
Figura 3.15. Pontos de possível falha na cadeia do frio.	46
Figura 3.16. Movimento do fluxo de ar frio no caminhão refrigerado com a porta traseira fechada e o sistema de refrigeração ligado.....	48
Figura 3.17. Distribuição de temperatura na carroceria com a porta fechada.....	48
Figura 3.18. Evolução da temperatura do ar (em °C) na carroceria do caminhão, em diferentes tempos após a abertura da porta.....	49
Figura 3.19. Cargas paletizadas com cantoneiras e aplicação de filmes stretch.	50
Figura 3.20. Modelo de padrão avançado para monitoramento de vida útil de alimentos perecíveis	52
Figura 3.21. Expansão do campo de atuação de Sistemas Inteligentes de Transportes (SIT) ...	57

Figura 3.22. Evolução da IoT	58
Figura 3.23. Arquitetura de sistemas IoT	59
Figura 3.24. Domínios de aplicações e as subáreas relevantes.....	60
Figura 3.25. Gestão de frotas através de IoT – Caminhão com sensores.	61
Figura 3.26. Arquitetura de entidades logísticas autônomas	65
Figura 3.27. Exemplo de sistema de embalagem composto por embalagem primária e embalagem de transporte.	68
Figura 3.28. Embalagens inteligentes disponíveis no mercado e em desenvolvimento	74
Figura 3.29. Exemplo de Indicador de Frescor.....	75
Figura 3.30. Etiquetas RFID com sensores aplicados através de eletrônica impressa em filmes plásticos	77
Figura 3.31. Agente típico	80
Figura 3.32. Modelo geral de simulação	80
Figura 3.33. Tipos de Coordenação	83
Figura 4.1. Nível de importância dos atributos.	90
Figura 5.1. Nível de importância dos atributos de uma embalagem inteligente.	95
Figura 5.2. Grau de impacto (que você espera) nas atividades logísticas.	95
Figura 5.3. Opinião em relação aos projetos de embalagens inteligente com os quais o profissional teve contato.	96
Figura 5.4. Opinião em relação à afirmação “A utilização de embalagens inteligentes exige uma melhor cooperação entre os diferentes setores de uma empresa de alimentos (exemplo: Setores de Embalagem, Logística e Qualidade)”.....	96
Figura 5.5. Conjunto embalagem de embarque e dispositivo inteligente.	97
Figura 5.6. Primeiro protótipo de dispositivo inteligente (CEMEQ/UNICAMP).	98
Figura 5.7. Segundo protótipo de dispositivo inteligente (FEEC /UNICAMP).	99
Figura 5.8. Proposta didática de plataforma IoT.....	100
Figura 5.9.a e 5.9.b. Embalagens utilizadas no experimento.	103
FIGURA 5.10. Instrumento para determinação das medidas internas da caixa.....	105
Figura 5.11. Caixa de papelão ondulado durante ensaio de compressão.	107
FIGURA 5.12. Caixas e ambiente com os termopares.....	109
FIGURA 5.13. Embalagens com os termopares.	110
FIGURA 5.14 Registrador de temperatura Agilent.	110
FIGURA 5.15. Ambiente instrumentado para os experimentos (embalagens).....	111
FIGURA 5.16. Ambiente instrumentado para os experimentos (equipamentos).....	111
Figura 5.17. Exemplo de curvas obtidas durante os experimentos (tempo de porta aberta igual a 45 minutos).....	113
FIGURA 5.18. Dados registrados via internet na plataforma didática de IoT - Página de Dados (http://lalt.fec.unicamp.br/tkr/table/).	115

FIGURA 5.19 Dados registrados via internet na plataforma didática de IoT – Página do Simulador (http://lalt.fec.unicamp.br/tkr/simulador/).....	116
Figura 5.20. Elementos que representam o agente Embalagem Inteligente distribuídos na carroceria refrigerada do Agente Veículo.....	123
Figuras 5.21a e 5.21b. Dimensões consideradas para o Agente VUC.	123
Figuras 5.22a e 5.22b. Exemplo de VUC e vista no interior do veículo	124
Figura 5.23. SIG do Espaço Urbano do Modelo	126
Figura 5.24. Preposições para tomada de decisão	128
Figura 5.25. Diagrama UML representando a interação entre os agentes no modelo proposto.....	131
Figura 5.26. Diagrama de Máquina Estado do agente Veículo.....	136
Figura 5.27. Tela de erros do Anylogic.....	139
Figura 5.28. Conjunto de valores referentes ao Ponto de Venda (0) no modelo em simulação determinística.....	140
Figura 5.29. Conjunto de valores referentes aos Ponto de Vendas (0 - 5) em planilha do Excel.....	141
Figuras 5.30. Ilustração do comportamento térmico do ambiente refrigerado para o Cenário 1 – Transporte de produtos refrigerados acondicionados em embalagens convencionais.	145
Figuras 5.31. Ilustração do comportamento térmico do ambiente refrigerado para o Cenário 2 – Transporte de produtos refrigerados acondicionados em embalagens inteligentes.....	146

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Possíveis atributos de embalagens inteligentes.	73
Tabela 4.1. Resumo das entrevistas com gestores públicos.	90
Tabela 5.1. Delineamento do Experimento.	101
Tabela 5.2. Resultados da caracterização das embalagens plásticas termoformadas.....	104
Tabela 5.3. Resultados da caracterização das caixas de papelão ondulado.	108
Tabela 5.4. Resultados obtidos durante os experimentos.....	116
Tabela 5.5. Funções de comportamento térmico obtidas durante os experimentos.....	119
Tabela 5.6. Etapas de desenvolvimento do modelo de simulação (Macal e North, 2006)..	121
Tabela 5.7. Conjunto de objetivos, atributos e estrutura lógica dos agentes.....	125
Tabela 5.8. Detalhamento do tipo de coordenação e premissas adotadas.	130
Tabela 5.9. Kits de ferramentas específicos para ABMS (ZHENG et al., 2013).	133
Tabela 5.10. Transporte de produto refrigerado acondicionado em embalagens convencionais.	143
Tabela 5.11. Cenário 2 – Transporte de produtos refrigerados acondicionados em embalagens inteligentes.	144

LISTA DE SIGLAS

ABMS - *Agent Based Modeling and Simulation*

EI - Embalagens Inteligentes

IoT- *Internet of Things*

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

FEFO - *First Expired First Out*

FIFO - *First In First Out*

GPS - *Global Positioning System*

JIT - *Just in Time*

M2M - *Machine to Machine*

NFC - *Near Field Communication*

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

PIB - Produto Interno Bruto

PV - Ponto de Venda

RFID - *Radio Frequency Identification*

SIG - Sistema de Informações Georreferenciadas

SIT - Sistemas Inteligentes de Transportes

TI - Tecnologia da Informação

UML - *Unified Modeling Language*

V2I - *Vehicle-to-Infrastructure*

V2V - *Vehicle-to-Vehicle*

VUC - Veículo Urbano de Carga

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Motivação e Proposta do Trabalho	17
1.2. Objetivo e Abrangência.....	22
1.2.1. Objetivo Geral.....	22
1.2.2. Objetivos Específicos	22
1.3. Estrutura do Trabalho	23
CAPÍTULO 2. MÉTODO DE PESQUISA	24
CAPÍTULO 3. REVISÃO DA LITERATURA	29
3.1. Perda de Alimentos Durante a Distribuição.....	29
3.1.1. Os impactos sociais e ambientais vinculados às perdas de alimentos	32
3.1.2. Preservação de alimentos perecíveis através da refrigeração	33
3.2. Logística de Distribuição de Alimentos Refrigerados	35
3.2.1. Aumento da complexidade das operações logísticas.....	38
3.2.2. Aumento da complexidade da logística urbana.....	39
3.2.3. Transporte rodoviário de alimentos refrigerados	41
3.2.3.1. Oscilações de temperatura no transporte rodoviário sob refrigeração.....	43
3.2.3.2. Injúrias mecânicas em alimentos refrigerados causadas pelo transporte	49
3.2.4. Novas abordagens de monitoramento da temperatura	51
3.3. O Uso de Tecnologia para Soluções em Logística.....	53
3.4. <i>Internet of Things</i> (IoT) na Logística	57
3.4.1. Internet of Things e Controle Autônomo	64
3.4.2. Entidades logísticas autônomas.....	65
3.5. Embalagens na Logística.....	67
3.5.1. Inteligência em máquinas, dispositivos e produtos	69
3.5.2. Tipos de embalagens inteligentes.....	73
3.5.2.1. Indicadores	74
3.5.2.2. Sensores.....	75
3.5.2.3. Etiquetas RFID.....	76
3.6. Embalagens Inteligentes como Agentes Autônomos	77
3.6.1. Agentes autônomos.....	78
3.6.2. Modelagem e Simulação Baseada em Agentes (<i>Agent-Based Modeling and Simulation – ABMS</i>).....	80
3.6.3. Coordenação entre Agentes	82
3.6.3.1. Tipos de Coordenação por Cooperação.....	83
3.6.3.2. Tipos de Coordenação por Competição	84
CAPÍTULO 4. CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL DE USO DE EMBALAGENS INTELIGENTES E IoT NAS CADEIAS DE ALIMENTOS DO BRASIL.....	87

CAPÍTULO 5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	92
5.1. Critérios para definição dos atributos de uma embalagem inteligente	92
5.1.1. Identificação das tecnologias disponíveis e aplicações	93
5.1.2. Avaliação dos custos envolvidos nas tecnologias utilizadas em relação ao valor agregado do produto alimentício	93
5.1.3. Identificação das principais oportunidades e desafios para as embalagens inteligentes para alimentos no Brasil.....	94
5.2. Embalagem de embarque inteligente	97
5.2.1. Desenvolvimento de um protótipo de dispositivo inteligente	98
5.3 Avaliação do comportamento térmico de ambiente refrigerado, embalagem de embarque e produto	100
5.3.1. Caracterização das embalagens primárias e secundárias.....	103
5.3.2 Realização dos experimentos	108
5.3.3. Resultados obtidos nos experimentos.....	112
5.3.4 Testes de bondade de ajuste	117
5.4 Modelagem e Simulação baseada em Agentes.....	120
5.4.1. Escolha da modelagem e simulação baseada em agentes (<i>Agent Based Modeling and Simulation - ABMS</i>)	120
5.4.2. Etapas de desenvolvimento do modelo de simulação baseado em agentes	121
5.4.3. Avaliação do Modelo.....	138
5.4.3.1. Validação do <i>constructo</i>	138
5.4.3.2. Verificação	139
5.4.3.3 Validação externa	141
5.4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	142
CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES	148
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153
ANEXOS.....	165
Anexo 1 – Questionário aplicado para caracterização do cenário atual de uso de embalagens inteligentes e IoT	165
Anexo 2 - Artigo - “Intelligent Packaging and the Internet of Things in Brazilian Food Supply Chains: the Current State and Challenges”	168
Anexo 3 - Artigo - “Potential use of intelligent packaging in urban logistics: Public and private sectors’ vision”	180
Anexo 4 - Descrição dos sensores e módulos do dispositivo inteligente	186
Anexo 5 - Aplicação do modelo de simulação à situação proposta	188

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação e Proposta do Trabalho

A necessidade de prevenir e reduzir o desperdício de alimentos, garantindo também sua segurança, se tornou uma prioridade e têm gerado crescente interesse social, econômico, ambiental e político (EUROPEAN COMISSION, 2016). Na América Latina, as perdas e desperdício de alimentos da produção até o varejo são expressivas conforme apresentado na Figura 1.1 (FAO, 2011).

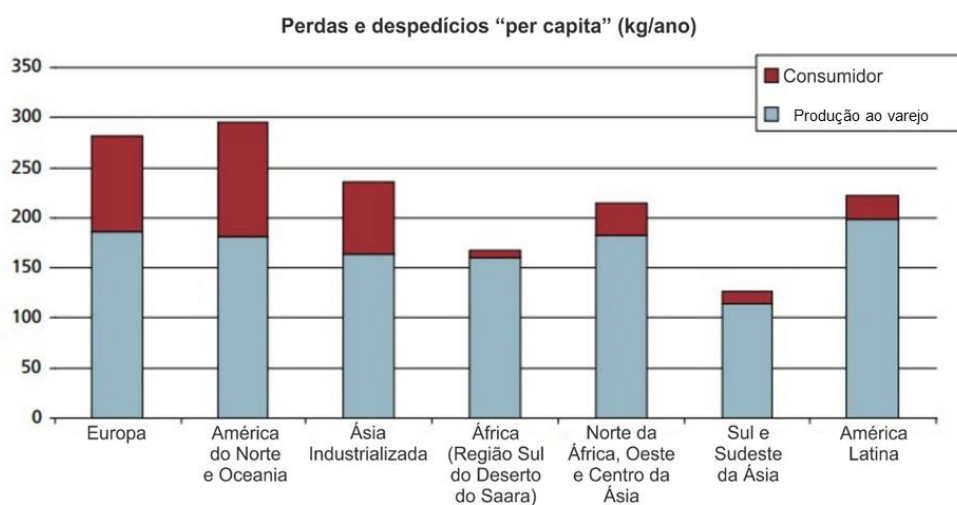


Figura 1.1. Perdas e desperdício de alimentos ao longo da cadeia de alimentos (FAO, 2011).

Após serem colhidos, processados e embalados, uma boa parte dos alimentos é enviada a regiões distantes de suas áreas de produção. Para que esses alimentos sejam entregues em grandes quantidades e de forma segura são aplicadas técnicas de conservação como a refrigeração.

Na refrigeração, os alimentos são submetidos a temperaturas entre 0°C e 7°C. Por ser um método mais brando, em relação aos outros métodos conservação dos alimentos, ele tem pouco impacto sobre o aumento da vida de prateleira dos alimentos (AZEVEDO, 2012). No processo de resfriamento, a temperatura do alimento é reduzida para a temperatura ótima de armazenamento e de transporte em um tempo bastante curto logo após a colheita/abate/processamento, causando pouca ou nenhuma alteração do produto.

O consumo de alimentos refrigerados é impulsionado por dois distintos segmentos de mercado, o segmento de alimentos frescos e/ou minimamente processados que engloba o consumo de alimentos como frutas, verduras e carnes frescas e, o segmento, de alimentos processados, que abrange os alimentos pronto ou semi-prontos para consumo. O mercado mundial de alimentos refrigerados, somado ao de alimentos congelados, está em crescimento e ultrapassou a marca de 50 milhões de toneladas/ano em 2010, devendo atingir o valor de US\$ 294 bilhões até 2019 (IIR, 2017).

Uma vez atingida a temperatura adequada de refrigeração, sua manutenção ao longo de toda a cadeia garante a vida útil (*shelf life*) pré-estabelecida, a preservação da qualidade desses alimentos e a redução das perdas. As falhas na cadeia do frio podem causar perda de peso, mudanças de cor e textura, além de iniciar processos de degradação causados por microrganismos e fungos nos alimentos. Essas alterações impactam na qualidade do produto causando desde uma redução progressiva do *shelf life* até alterações mais severas que podem comprometer a segurança desses alimentos. Uma vez que o alimento seja exposto a uma temperatura inadequada, haverá uma redução da qualidade do produto que é irreparável e acumulativa, ou seja, mesmo que a temperatura volte a se estabilizar no ambiente refrigerado, o alimento não voltará a ter sua condição de qualidade anterior (ALIMENTARIUS, 1976; DINCER, 1997; JEDERMANN et al., 2009).

Das etapas da cadeia do frio mencionadas, a etapa de transporte é a que apresenta mais desafios na manutenção da temperatura adequada desses alimentos devido, principalmente, às operações de carga e descarga, com abertura e fechamento de porta da carroceria refrigerada, e ao espaço restrito da carroceria dos caminhões, que dificulta ainda mais a circulação de ar frio pela carga. Pesquisa realizada por Mena et al. (2011) identificou que as perdas na cadeia do frio ocorrem principalmente dentro dos veículos refrigerados e que investimentos na utilização de novas tecnologias pode reduzir drasticamente as perdas (EVANS, 2008).

A globalização das cadeias de suprimentos, a necessidade de rapidez na entrega de produtos, a falta de espaço físico causada pela grande concentração demográfica

levando a adoção de estratégias como JIT (Just-in-Time) e as políticas de reposição contínua de inventário, tornam as atividades de logística cada vez mais complexas (MAGALHÃES, 2010).

Somada a essas questões, a mudança da produção em massa para um padrão de fabricação personalizado com o aumento do número de vendas por unidade; o aumento do uso do transporte rodoviário para a entrega rápida de pequenas embalagens, e uma individualização do transporte também aumentaram a complexidade das operações nos mercados atuais (HRIBERNIK et al., 2010).

Essa maior complexidade das operações logísticas torna as cadeias de distribuição de alimentos sob refrigeração mais susceptíveis a falhas com pontos de oscilações e/ou ruptura do controle da temperatura e, por isso, a utilização de alternativas para garantia da eficiência são necessárias. Somado a isso, as novas atitudes/formas de consumo por parte dos consumidores, bem como a existência de regulamentos e leis mais estritos sobre a produção de alimentos, têm alterado o ambiente de negócios para a maioria das empresas desse setor. Os consumidores, hoje em dia, estão interessados em consumir alimentos saudáveis e estão mais conscientes dos problemas relacionados à segurança de alimentos (MATAPOULOS, 2007).

Entre as alternativas indicadas para melhorar a gestão de operações logísticas, destacam-se as soluções baseadas em Tecnologia com aplicação de Sistemas Inteligentes de Transportes (SIT). Os SIT foram inicialmente concebidos para ajudar, através da adoção de tecnologias, na solução de problemas sociais causados pelo transporte como acidentes de trânsito e congestionamentos. Com os avanços tecnológicos recentes, os SIT têm sido utilizados para conectar os veículos aos outros elementos do ambiente de tráfego, tais como vias, outros veículos, cargas e pedestres. Dessa forma, a utilização de SIT tem se expandido, abrindo caminhos para um maior número de aplicações possíveis (HANAI, 2013; SANTOS E LEAL, 2015).

Dentro da evolução das tecnologias para melhoria do controle da distribuição física de alimentos, surge o conceito de *Internet of Things* (IoT) que apresenta uma visão de conectividade entre qualquer coisa, a qualquer hora e em qualquer lugar (Figura 1.2),

levando a mudanças impactantes no dia-a-dia das pessoas. O termo IoT é referente a “uma infraestrutura de rede global dinâmica, com capacidade de autoconfiguração com base em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis, onde “coisas” virtuais e físicas têm identidade, atributos físicos e personalidade virtual e usa interfaces inteligentes, e estão perfeitamente integrados na rede de informação (IERC, 2010; PANG et al., 2015).

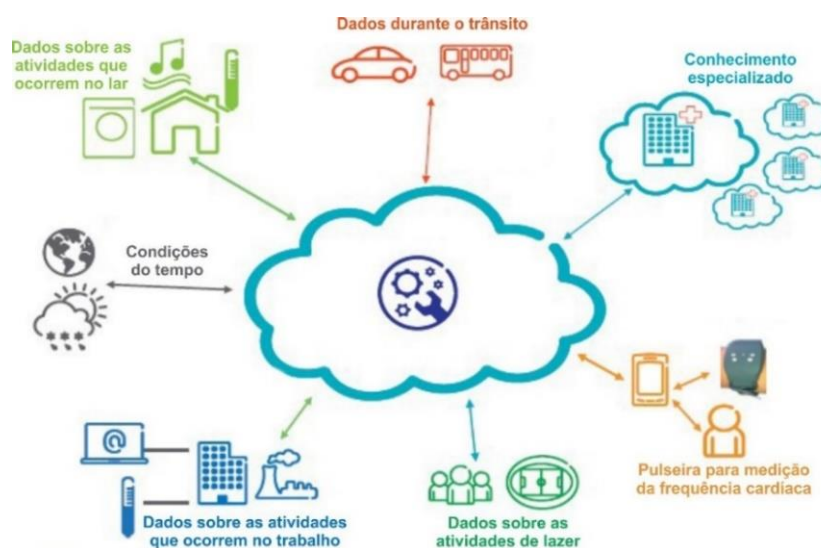


Figura 1.2. Soluções orientadas por sistemas IoT (HOLLER et al., 2014).

Segundo Hibernik et al. (2010), o controle autônomo de “coisas” no ambiente logístico tem se tornado possível graças ao desenvolvimento de pesquisas que culminam na Internet das Coisas. O controle autônomo se refere a processos de decisão descentralizados, dentro do conceito de sistemas heterárquicos, no qual os elementos presentes têm a capacidade e possibilidade de tomar decisões para melhoria do processo como um todo. A tomada de decisão é mútua e um elemento pode atuar em colaboração com qualquer dos elementos vizinhos. IoT e controle autônomo são fundamentais para a melhoria de processos logísticos sendo que, nessa área, as “coisas” podem ser os produtos acondicionados em embalagens inteligentes (UCKELMANN et al, 2010).

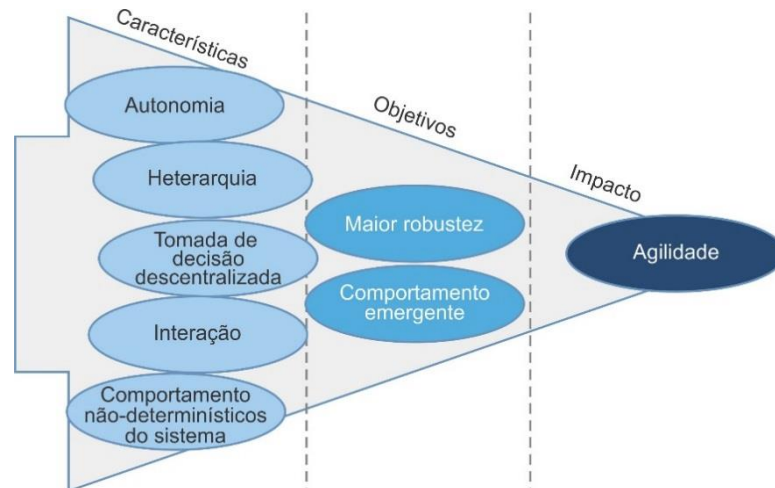


Figura 1.3. Estrutura do controle autônomo e seus objetivos levando a maior agilidade (UCKELMANN et al, 2010).

Embalagens inteligentes são aquelas que possuem dispositivos que permitem o monitoramento e a identificação dos pontos críticos de controle através da obtenção de informações detalhadas sobre o produto ou o ambiente de exposição ao longo da cadeia de suprimentos. Estas embalagens, além das melhorias nas etapas de manuseio, armazenagem e transporte, possibilitam grandes avanços no acompanhamento das condições do produto e no avanço da gestão das operações logísticas onde a presença de sensores, sistemas de comunicação remoto e capacidade de tomada de decisão proporcionam um monitoramento e uma gestão da carga em tempo real. As embalagens inteligentes (*intelligent packaging*) têm prospectado mudanças expressivas no controle e melhoria das operações logísticas de transporte de alimentos (DAINELLI et al., 2008; VANDERROOST et al., 2014; DOBRUCKA e CIERPISZEWSKI, 2014).

Uma vez que a carga/alimento/embalagem passa a ser um elemento inteligente que fluirá ao longo de toda a cadeia, ela proporciona o levantamento de informações desde o fabricante, passando pelas rotas de distribuição até o ponto de venda. Essas embalagens podem processar e comunicar informações além de tomarem decisões através da abordagem de Sistemas Multi Agentes, atuando em processos de logística dentro do conceito de cooperação autônoma.

1.2. Objetivo e Abrangência

A proposta desse trabalho é aplicar a abordagem de agentes autônomos para embalagens inteligentes visando minimizar as possíveis oscilações de temperatura que podem ocorrer durante o transporte de alimentos refrigerados acondicionados nessas embalagens.

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver um modelo conceitual e computacional que permita avaliar o desempenho de embalagens de embarque inteligentes que atuam como agentes autônomos no transporte de alimentos refrigerados.

O estudo irá contemplar a distribuição de alimentos refrigerados. Esse tipo de carga foi selecionado por compor um grupo considerável de produtos presentes no fluxo de carga nas cidades (alimentos) e pela tendência de crescimento desse setor (HOLGUÍN-VERAS et al., 2007; OLIVEIRA e GUERRA, 2014; IIR, 2015).

Assim, a pergunta geral que a tese se propõe a responder é:

Como o emprego de embalagens/cargas inteligentes, que passam a ser agentes atuantes nos processos decisórios ao longo de sua distribuição, pode colaborar no desempenho térmico de alimentos refrigerados?

1.2.2. Objetivos Específicos

Dentro deste contexto, os objetivos específicos desse trabalho são:

1. *Caracterizar o cenário atual de uso de embalagens inteligentes e de Internet of Things (IoT) nas cadeias de produtos alimentícios do Brasil;*
2. *Estabelecer critérios para definição dos atributos de uma embalagem inteligente;*
3. *Propor uma embalagem de embarque inteligente para alimentos refrigerados e desenvolver um protótipo de dispositivo inteligente;*
4. *Entender o comportamento térmico de uma embalagem de embarque e de um*

produto cárneo nela acondicionada, quando ocorrem oscilações de temperatura no ambiente refrigerado;

5. *Desenvolver um modelo computacional que promova a coordenação entre as embalagens inteligentes (agentes), aplicando as curvas térmicas obtidas do produto refrigerado.*

1.3. Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em seis Capítulos da seguinte forma:

No Capítulo 1 é apresentada a Motivação e Proposta do Trabalho, os Objetivos Geral e Específicos além da Estrutura do Trabalho. No Capítulo 2 está descrito o Método de Pesquisa com as etapas para sua realização e no Capítulo 3 é apresentada a Revisão da Literatura. O Capítulo 4 descreve o cenário atual do uso de embalagens inteligentes e de *Internet of Things (IoT)* e são avaliados os potenciais ganhos para a logística urbana oriundos do uso dessas embalagens. No Capítulo 5 é feita a Aplicação Prática da Pesquisa e no Capítulo 6 são apresentadas as Conclusões e Considerações.

CAPÍTULO 2. MÉTODO DE PESQUISA

Para avaliar como o emprego de embalagens inteligentes pode colaborar no desempenho térmico de alimentos refrigerados foram utilizados os conceitos presentes na pesquisa bibliográfica; levantamentos do tipo *Survey* e entrevistas e; pesquisa experimental.

A pesquisa bibliográfica possibilita a identificação de informações através da utilização de dados dispersos em inúmeras publicações, auxiliando também na construção, ou na melhor definição do quadro conceitual que envolve o objeto de estudo proposto. A coleta de dados é iniciada com a adoção de critérios que delimitam o universo de estudo, orientando a seleção do material. As informações obtidas devem passar por uma revisão crítica dos conceitos já existentes a fim de que sejam incorporados ou superados criticamente pelo pesquisador. Como resultado, obtém-se a essência das relações, dos processos e das estruturas relacionadas ao objeto de pesquisa (LIMA e MIOTO, 2007).

Em relação aos levantamentos do tipo *Survey*, Babbie (1990) descreve que estes devem ser aplicados com o objetivo de fazer descrições assertivas a respeito de uma população a partir de um grupo de participantes (amostra). Para Fink (1995), o tamanho da amostra deve representar adequadamente a população a fim de garantir que os resultados obtidos sejam precisos e confiáveis. Entre os principais cuidados que se deve ter na elaboração de questionários de pesquisa, Babbie (1990) cita: a) clareza e objetividades das questões; b) a adequada competência dos participantes e c) uso de questões relevantes. Os levantamentos realizados através de entrevistas, ou seja, da interação entre entrevistado e entrevistador, trazem um viés de subjetividade relacionada aos valores e opiniões dos sujeitos entrevistados.

Na pesquisa experimental, a definição de “experimento” se refere a escolher ou executar uma ação e, em seguida, observar as suas consequências. Para Sampieri et al. (2010) definição científica de “experimento” é “manipular intencionalmente uma ou mais variáveis independentes (supostas causas-antecedentes) para analisar as consequências que essa manipulação tem sobre uma ou mais variáveis dependentes (efeitos pressupostos-consequenciais) dentro de uma condição de controle para o

pesquisador”. Dentro da categoria dos “experimentos”, podem ser incluir os experimentos “puros”, as experiências descritivas, a simulação e os métodos de modelagem (Babbie, 1990; Frankel et al., 2005).

O desenvolvimento da pesquisa foi estruturado (como ilustrado na Figura 2.1) nas seguintes etapas: definição do problema através de uma revisão inicial da literatura, e definição dos objetivos. Após essa etapa foi definido o método de pesquisa e realizada a revisão da literatura. As etapas seguintes contemplaram a caracterização do cenário atual e a avaliação do potencial de uso das embalagens inteligentes e a aplicação prática da pesquisa. Para a finalização da pesquisa foi realizada a análise dos resultados, seguida das conclusões e considerações finais. Essas sete etapas são apresentadas a seguir.

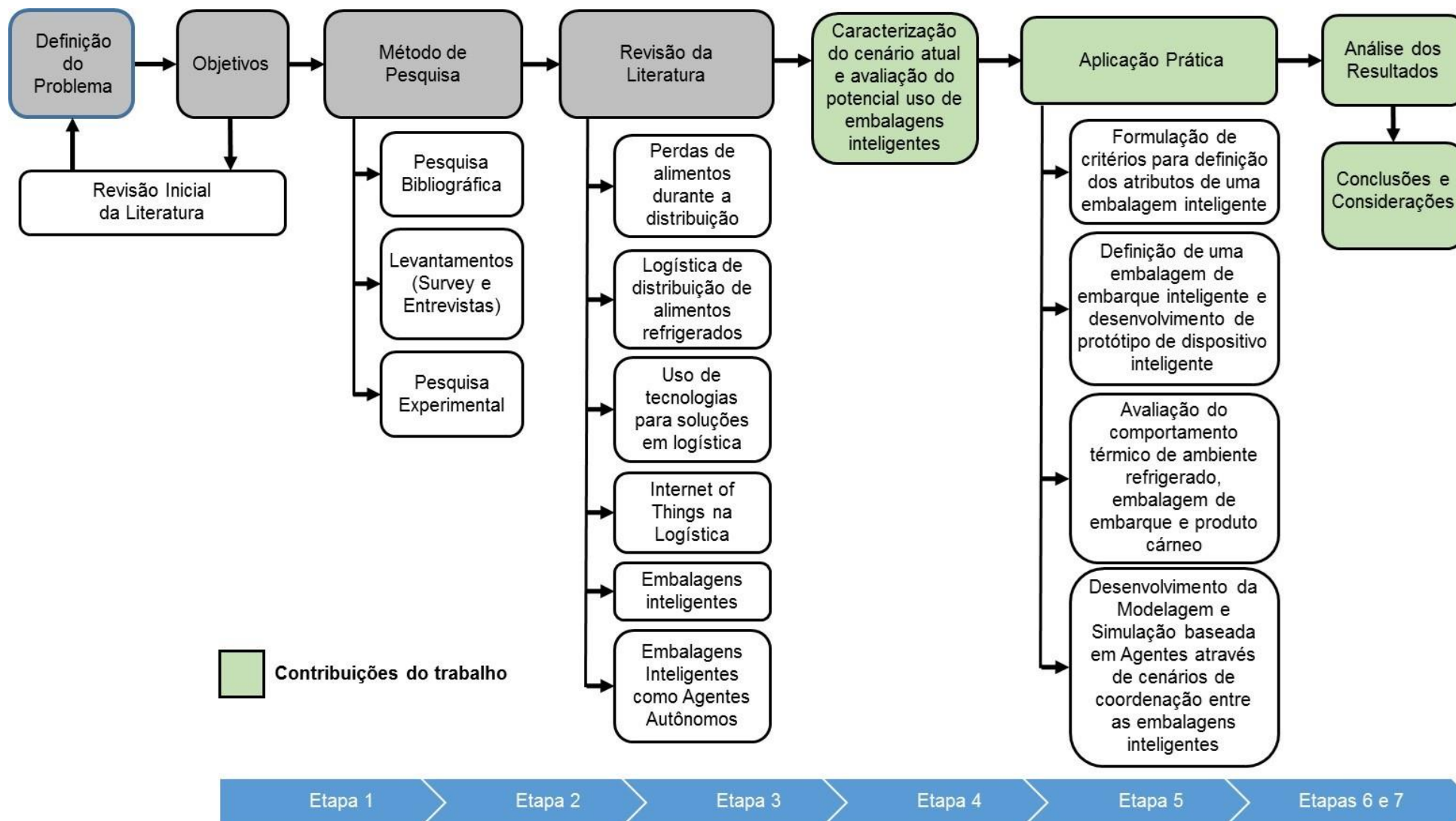


Figura 2.1. Etapas de Desenvolvimento da Pesquisa.

Etapa 1. O trabalho se iniciou com a definição do problema de pesquisa elaborada a partir de estudos sobre o tema. Esses estudos se baseiam em uma revisão preliminar da literatura que permite entender melhor o tema geral de pesquisa, identificar as lacunas existentes e possibilidades de pesquisa sobre o tema para definição do problema de pesquisa, além de seus objetivos geral e específicos.

Etapa 2. Nessa etapa é apresentado o método de pesquisa utilizado com a descrição da estratégia de pesquisa composta por pesquisa bibliográfica; levantamentos do tipo *Survey* e entrevistas e; pesquisa experimental.

Etapa 3. Na revisão da literatura foi realizada uma nova pesquisa, mais ampla e detalhada direcionada para os objetivos específicos da pesquisa. Dessa forma, a revisão visou o entendimento das questões relacionadas à: perdas de alimentos durante a distribuição; logística de distribuição de alimentos refrigerados; uso de tecnologias para soluções em logística; *Internet of Things* (IoT) na logística, embalagens inteligentes e embalagens inteligentes como agentes autônomos. Segundo Lima e Mito (2007) a revisão da literatura é “um procedimento metodológico importante na produção do conhecimento científico capaz de gerar, especialmente em temas pouco explorados, a postulação de hipóteses ou interpretações que servirão de ponto de partida para outras pesquisas”.

Etapa 4. Nessa etapa foi feita a caracterização do cenário atual de uso de embalagens inteligentes e IoT nas cadeias de alimentos do Brasil, e avaliado o potencial de uso dessas embalagens na logística urbana. Esta etapa do trabalho foi elaborada com base em uma pesquisa do tipo *Survey* e entrevistas. A partir dessa etapa são trazidas as colaborações do trabalho.

Etapa 5. A quinta etapa desenvolveu a aplicação prática da pesquisa. Essa etapa contemplou três passos iniciais que servem de arcabouço para o quarto passo que é o efetivo desenvolvimento da Modelagem. Os três primeiros passos foram: a) formulação de critérios para definição dos atributos de uma embalagem inteligente; b) definição de uma embalagem de embarque inteligente e desenvolvimento de protótipo de dispositivo inteligente e; c) avaliação do comportamento térmico de ambiente

refrigerado, embalagem de embarque e produto cárneo. O quarto e último passo foi o desenvolvimento da Modelagem e Simulação baseada em Agentes (conforme etapas de construção ilustradas na Figura 2.2) através de cenários de coordenação entre as embalagens inteligentes.

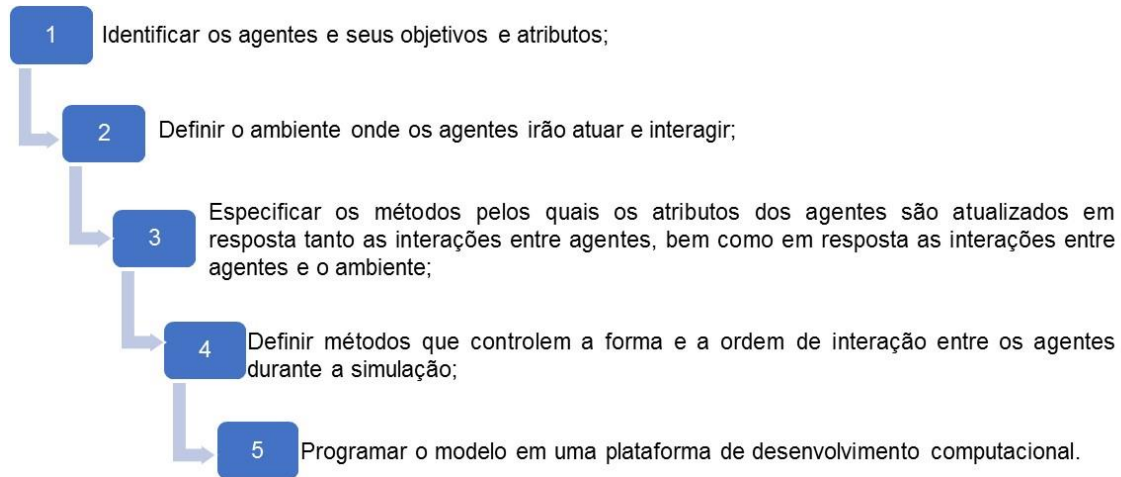


Figura 2.2. Etapas de construção de um modelo de agente (Macal e North, 2006).

Etapas 6 e 7. Na sexta e sétima etapas do trabalho são discutidos os resultados obtidos além de serem apresentadas as conclusões e considerações finais. Na etapa 7 também são apresentadas as sugestões de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 3. REVISÃO DA LITERATURA

Os itens 3.1 a 3.6 apresentam a revisão da literatura. No item 3.1 é apresentada a questão das perdas de alimentos durante a etapa de distribuição, com a identificação dos impactos sociais e ambientais vinculados a essas perdas e apresentando a refrigeração de alimentos como uma das técnicas de preservação de alimentos. O item 3.2 aborda a distribuição de alimentos refrigerados, descrevendo como o aumento da complexidade das operações logísticas, inclusive nas áreas urbanas, pode impactar negativamente no controle da temperatura do transporte rodoviário refrigerado. No item 3.3 é descrito como a tecnologia pode ser utilizada para obtenção de soluções em logística, abordando os Sistemas Inteligentes de Transportes (SIT) e sua relação direta com a Internet of Things (IoT) apresentada no Item 3.4. Nesse item, as “coisas” da IoT são descritas como entidades logísticas autônomas em uma abordagem de controle autônomo. O item 3.5 descreve o papel das embalagens nas atividades logísticas, identifica o conceito de inteligência em produtos e define o que é uma embalagem inteligente. No item 3.6 as embalagens inteligentes são caracterizadas como possíveis entidades logísticas autônomas, atuando em sistema heterárquicos. Dentro deste conceito, o item também apresenta uma abordagem de agentes autônomos para embalagens inteligentes com a descrição da metodologia de modelagem e simulação baseada em agentes (ABMS) e das formas de coordenação entre os agentes.

3.1. Perda de Alimentos Durante a Distribuição

As perdas e desperdício de alimentos durante as etapas de processamento, distribuição e consumo (Figura 3.1) atingem $\frac{1}{3}$ do total produzido no mundo contabilizando cerca de 1,3 bilhões de toneladas por ano (FAO, 2011).

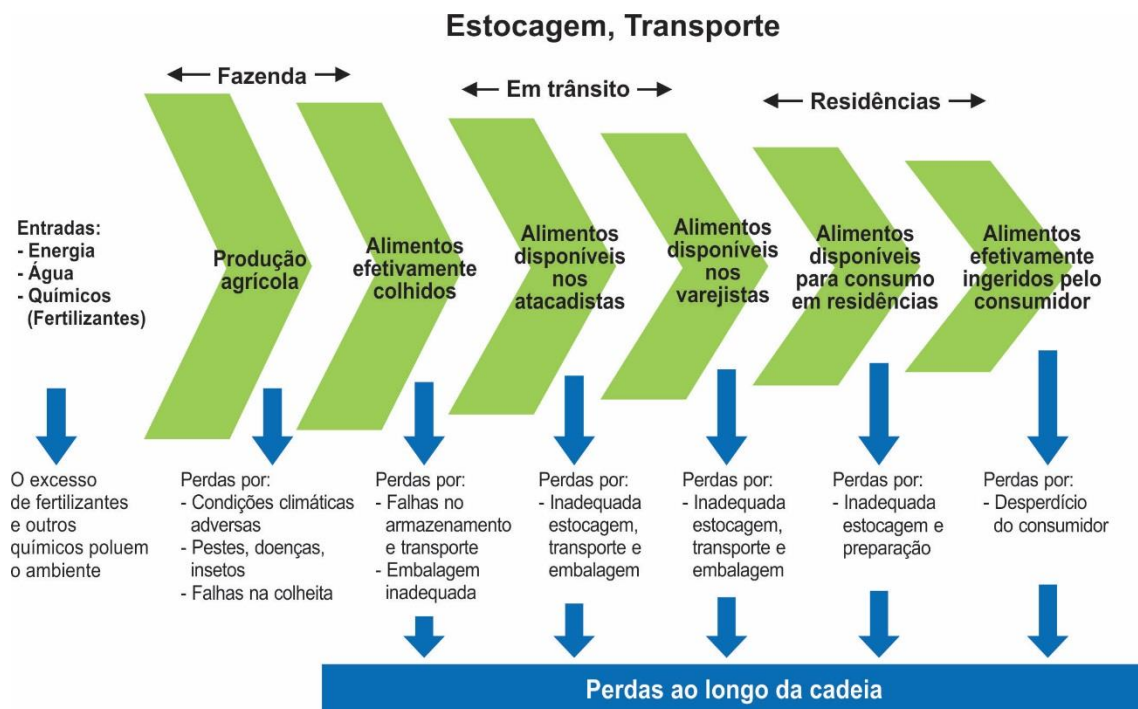


Figura 3.1. Perdas ao longo da cadeia de suprimentos de alimentos (GLOBAL, 2017).

A Comissão Europeia considera que a necessidade de prevenir e reduzir o desperdício de alimentos, garantindo a segurança da cadeia alimentar é uma prioridade e tem gerado crescente interesse social, econômico, ambiental e político (EUROPEAN COMMISSION, 2016).

As perdas de alimentos (*losses*) são referentes às perdas que ocorrem durante a produção, pós-colheita, processamento e distribuição causadas, em geral, pelo baixo grau de tecnologia empregado nas atividades. O conceito de desperdício de alimentos (*waste*) está relacionado com as perdas que ocorrem no final da cadeia e se referem mais a um “descaso” no manuseio e consumo por parte de varejistas e consumidores (PARFITT et al., 2010).

Nos países em desenvolvimento, apesar das perdas serem maiores em etapas que ocorrem antes da distribuição, os índices de perda durante a distribuição também são relevantes (FAO, 2011). Na distribuição as perdas se relacionam, em geral, com: os danos/impactos que ocorrem durante o transporte (causando deterioração do alimento), manuseio inadequado, e falhas na cadeia do frio (PARFITT et al., 2010).

Segundo Carvalho (2009), levantamento realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, fundação vinculada ao Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, indica que o Brasil está entre os 10 países que mais apresentam perdas e desperdício de alimentos no mundo.

Para exemplificar a questão, se considerarmos o percentual médio de perda de produtos cárneos durante a distribuição na América Latina (6%), o Brasil apresenta um desperdício total de 1,5 milhões de toneladas de carne por ano, tendo como base a produção anual do país (26 milhões de toneladas). Esse volume de carne se aproxima à produção anual de alguns países como Bélgica (1,8 milhões por ano) e Dinamarca (1,9 milhões por ano) (FAO, 2011).

Parfitt et al. (2010) identificaram algumas tendências globais que podem contribuir para uma maior ocorrência de perda de alimentos ao longo da cadeia de suprimentos:

- 1) Urbanização e êxodo rural

O aumento da população em áreas urbanas gera uma necessidade de Cadeias de Suprimentos de Alimentos ampliadas. Essas Cadeias estendidas exigem um transporte mais eficiente para que não ocorra um maior desperdício de alimentos.

- 2) Mudança do perfil de consumo

O aumento da renda familiar, em especial dos países que fazem parte do BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China) possibilita às famílias uma diversificação da dieta com a inclusão de alimentos como frutas e vegetais frescos, produtos lácteos, carne e peixe. O aumento do consumo de alimentos frescos, mais vulneráveis aos processos de degradação, está associado a maiores índices desperdícios. É importante salientar que essa mudança de hábitos alimentares varia de acordo com cada país e cultura. Por exemplo, o consumo de carne vem crescendo de forma acelerada na China quando comparado ao consumo na Índia.

- 3) Globalização do comércio

A globalização do comércio também abrange as cadeias de alimentos, em geral mais complexas e, portanto, mais susceptíveis às perdas.

3.1.1. Os impactos sociais e ambientais vinculados às perdas de alimentos

Em relação às questões de cunho social, a quantidade de alimento perdida e desperdiçada ao longo da cadeia de suprimentos todo ano (cerca de 1,3 bilhões de toneladas) seria mais do que a necessária para alimentar as 870 milhões de pessoas que passam fome todos os dias (MANDYCK E SCHULTZ, 2015).

O relatório *Food Wastage Footprint: Impacts on Natural Resources* (FAO, 2013) analisa os efeitos do desperdício global de alimentos a partir de uma perspectiva ambiental e suas principais conclusões são:

- A cada ano, os alimentos produzidos, mas não consumidos, utilizam um volume de água equivalente ao fluxo anual do rio Volga na Rússia e são responsáveis pela emissão de 3,3 bilhões de toneladas de gases de efeito estufa na atmosfera do planeta. Isso porque, apesar de desperdiçados, esses alimentos ainda assim consumiram recursos naturais durante suas etapas de produção, transporte e distribuição.
- Além destes impactos ambientais, as consequências econômicas diretas do desperdício de alimentos (sem incluir peixes e frutos do mar) atingem o montante de 750 bilhões de dólares por ano;
- O desperdício de carnes apresenta impactos ambientais globais elevados por causa do uso de terra. Na América Latina, que está entre as principais regiões produtoras de carnes, a maioria das novas terras agrícolas é liberada para pastagens de gado, levando ao aumento da fragmentação e degradação do meio ambiente, resultando em declínios da biodiversidade.

Dentro desse contexto, Mandyck e Schultz (2015) descrevem a cadeia de frio como uma ferramenta indispensável para a redução das perdas uma vez que somente cerca de 10% dos alimentos perecíveis são refrigerados em todo o mundo e o transporte

refrigerado adequado proporcionaria redução, principalmente nos países em desenvolvimento.

3.1.2. Preservação de alimentos perecíveis através da refrigeração

A Agência Nacional da Vigilância Sanitária, através da Resolução RDC N° 216 (BRASIL, 2004), descreve os alimentos perecíveis como sendo “produtos alimentícios, alimentos “in natura”, produtos semipreparados ou produtos preparados para o consumo que, pela sua natureza ou composição, necessitam de condições especiais de temperatura para sua conservação”.

A conservação de alimentos perecíveis pelo uso do frio tem por objetivo manter a qualidade e estender a vida útil desses alimentos. Na refrigeração, o produto é estocado, em geral, a temperaturas entre 0°C e 7°C, o que reduz as taxas de alterações causadas por agentes deteriorantes como microrganismos, enzimas e reações químicas (AZEREDO et al., 2004; NEVES FILHO e SILVEIRA JÚNIOR, 2008). No congelamento, o produto é estocado a temperaturas inferiores a -18°C. É importante destacar que inglês o termo *refrigerated* pode indicar tanto um ambiente com temperatura de refrigeração quanto de congelamento.

A refrigeração é considerada o método que causa menos impacto nos alimentos, uma vez que provoca poucos efeitos negativos sobre as suas propriedades sensoriais (cor, odor e sabor) e nutricionais. Para grande parte dos produtos conservados pelo frio, o produto refrigerado apresenta um valor comercial muito superior ao congelado. Um exemplo desse fato pode ser constatado na carne refrigerada que é comercializada por um preço mais elevado em relação à carne congelada.

No entanto, apesar de apresentar vantagens, a refrigeração causa pouco impacto no aumento da *shelf life* (vida útil) de alimentos quando comparado com outros métodos de conservação e, portanto, pequenas oscilações na temperatura de refrigeração podem causar uma perda de significativa da qualidade do alimento (ZUCCHI e CAIXETA-FILHO, 2010; AZEREDO e FARIA, 2004).

A refrigeração garante a segurança alimentar e dos alimentos e, possibilita o comércio de pratos prontos e semiprontos, cada vez mais demandados porque atendem às necessidades dos estilos de vida atuais (COULOMB, 2008).

A vida útil de cada alimento é diretamente influenciada pela temperatura de armazenamento conforme ilustrado nas Figura 3.2 e 3.3.

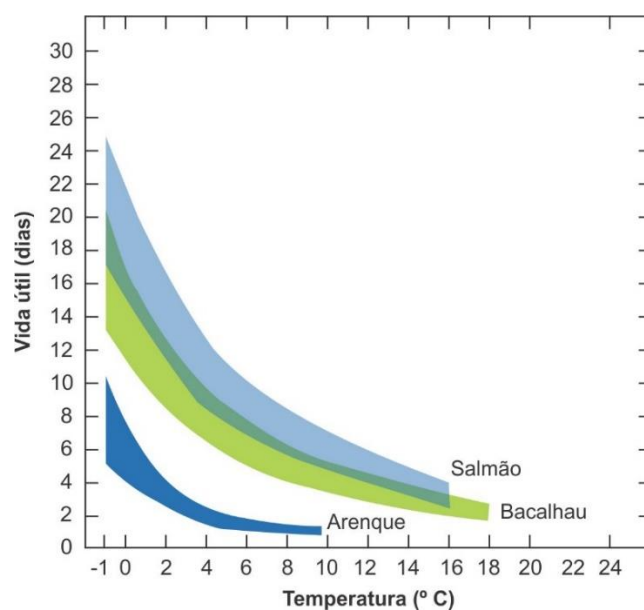


Figura 3.2. Influência da variação de temperatura de armazenamento na vida útil de três diferentes peixes resfriados (Salmão, Bacalhau e Arenque) (BANTLE et al., 2016).

Cerca de um terço da produção agrícola e pesqueira mundial poderia ser preservada através da refrigeração, entre eles: frutas e vegetais, produtos lácteos, carne, peixe e marisco (COULOMB, 2008).

Alimento	Período médio de armazenamento em dias a:		
	0°C	22°C	38°C
Carne	6-10	1	< 1
Peixe	2-7	1	< 1
Carne de galinha	5-18	1	< 1
Frutas	2-180	1-20	1-7
Verduras	3-20	1-7	1-3
Sementes secas	1.000 ou mais	350 ou mais	100 ou mais

Figura 3.3. Influência da variação de temperatura no período médio de armazenamento de alguns alimentos (VASCONCELOS, 2010).

A refrigeração é uma importante ferramenta para a preservação da qualidade dos alimentos mas requer um controle preciso ao longo da cadeia do frio.

O termo "cadeia de frio" descreve a série de equipamentos e processos interdependentes empregados para garantir a preservação da temperatura de produtos perecíveis e outros produtos controlados por temperatura desde a produção até o fim do consumo, de forma que se apresente seguro, saudável e de boa qualidade (RUIZ-GARCIA e LUNADEI, 2010).

O controle da temperatura adequada deve ser assegurada em todos os estágios e, dessa forma, as autoridades estão sendo cada vez mais exigidas em relação a garantia da qualidade e rastreabilidade dos produtos. A aplicação de normas e regulamentos cada vez mais rigorosos para todos os *stakeholders* envolvidos nessas cadeias exige a implementação de melhorias tecnológicas contínuas, principalmente no monitoramento da temperatura (COULOMB, 2008).

3.2. Logística de Distribuição de Alimentos Refrigerados

A logística de distribuição física compreende as etapas que vão desde a saída do produto de uma fábrica até sua entrega final ao consumidor e tem como objetivo levar os produtos certos, aos lugares certos, no momento certo e com nível de serviço adequado, pelo menor custo possível. (NOVAES, 2001).

Sudalaimuthu e Raj (2009) descrevem que a gestão da logística tem como objetivo entregar o produto certo, atendendo aos requisitos apresentados na Figura 3.4.



Figura 3.4. Objetivos da gestão logística (SUDALAIMUTHU E RAJ, 2009).

Rushton et al. (2010) descreve a gestão da distribuição como sendo fluxos físicos e armazenamento de produtos a partir do ponto de produção final até o cliente ou consumidor final.

Para Aung e Chang (2014), em um mercado globalizado o produto certo, no tempo e lugar certos, é tão relevante quanto a questões de custos. “A visibilidade é especialmente importante em uma cadeia de suprimentos onde o controle de temperatura em transporte ou armazenamento é necessário para manter a qualidade e a quantidade de produtos no final da cadeia de abastecimento no nível requerido”.

A Figura 3.5 apresenta uma representação da etapa de distribuição física de alimentos.

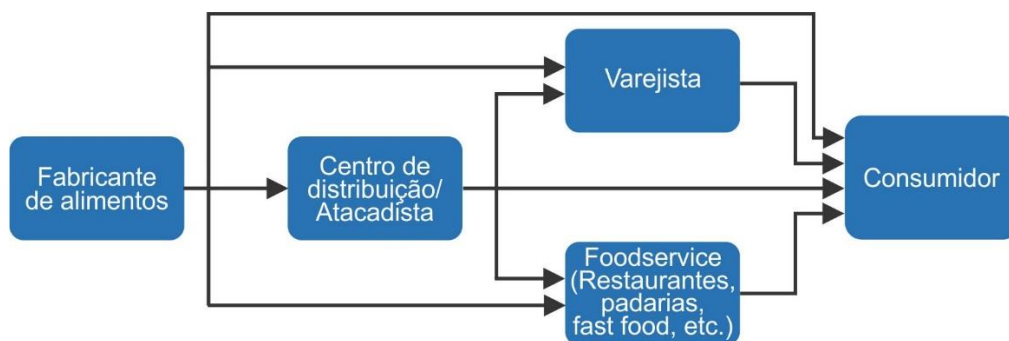


Figura 3.5. Estrutura geral da etapa de distribuição da cadeia de suprimentos de alimentos (AKKERMAN et al., 2010).

Diferente de outros produtos, os alimentos apresentam variações de qualidade ao longo da distribuição e, portanto, sua qualidade e segurança alimentar requerem cuidados redobrados (AKKERMANN, et al. 2010).

Além disso, a distribuição física de alimentos refrigerados ou congelados apresenta desafios ainda maiores uma vez que a vida útil limitada e, a deterioração da qualidade dos alimentos perecíveis, ao longo do tempo, contribuem substancialmente para a complexidade de sua gestão (AUNG e CHANG, 2014).

Para Akkerman et al. (2010) o *shelf life* (vida útil) limitado, as exigências referentes a temperatura e umidade relativa, as possíveis interações entre alimentos que estão

próximos, a elevada expectativa dos clientes e as margens de lucro baixa, tornam a gestão de distribuição de alimentos uma área desafiadora.

A temperatura é um dos fatores mais importantes que impactam nas alterações dos alimentos. Durante o transporte, a perda de qualidade é uma função do abuso da temperatura por um determinado período de tempo. Manter a temperatura adequada do alimento é de suma importância, uma vez que diferentes temperaturas de exposição (sejam essas temperaturas mais altas ou mais baixas) geram drásticas diferenças de nível de qualidade do alimento conforme ilustrado na Figura 3.6 (ASHBY, 2008; FAO, 2017; AZEREDO e FARIA, 2004).

A manutenção da temperatura adequada ao longo de todo o processo de distribuição refrigerada é imprescindível para reduzir as perdas e garantir a segurança desses produtos. As falhas na cadeia do frio podem causar amadurecimento excessivo, perda de peso, mudanças de cor e textura, além de iniciar processos de degradação causados por microrganismos e fungos. Todas essas alterações afetam o frescor, a conveniência e, por fim, a comercialização do produto (JEDERMANN et al., 2009; MERCIER et al., 2017).

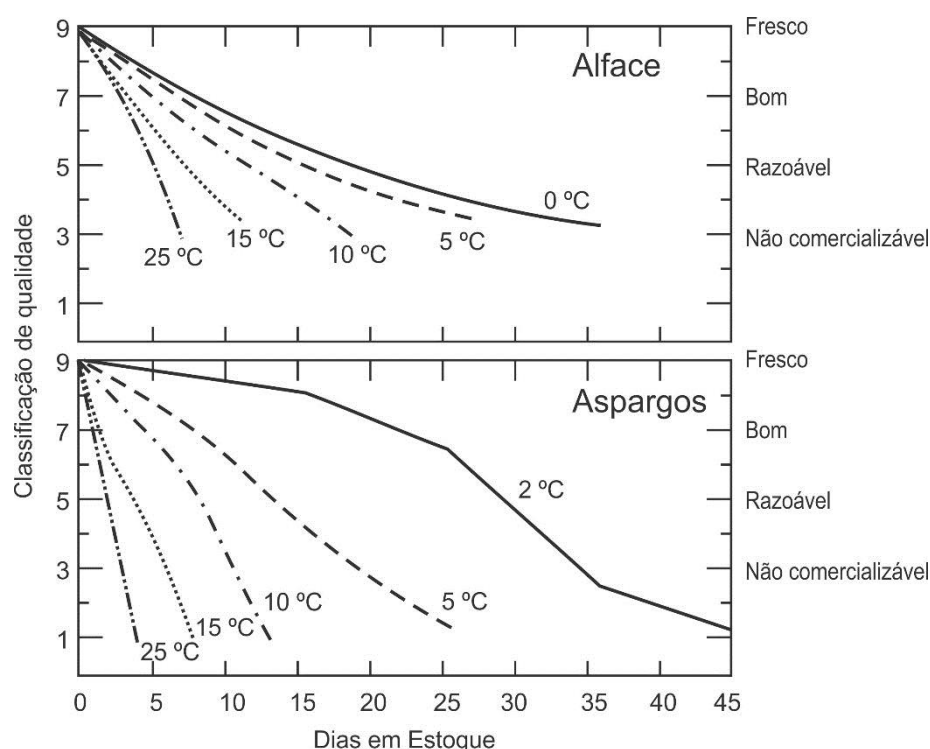


Figura 3.6. Perda de qualidade em alface e aspargos frescos armazenados em diferentes temperaturas (FAO, 2017).

Uma vez que o alimento seja exposto a uma temperatura inadequada, haverá uma redução da qualidade do produto que é irreparável e acumulativa, ou seja, mesmo que a temperatura volte a se estabilizar no ambiente refrigerado, o alimento não voltará a ter sua condição de qualidade anterior (NEVES FILHO e SILVEIRA JÚNIOR, 2008).

Além do controle de temperatura, outros fatores também devem ser controlados nos ambientes refrigerados, como: circulação de ar adequada, para garantir a retirada do calor rapidamente do alimento e; a umidade relativa. Uma exposição à umidade relativa baixa resseca os alimentos e uma umidade relativa alta pode se condensar na superfície dos alimentos possibilitando o crescimento de fungos (AZEREDO e FARIA, 2004). Em alimentos embalados, esse efeito da umidade relativa sobre o alimento depende das características de permeabilidade ao vapor d'água da embalagem utilizada.

Quando se inicia a distribuição física desses alimentos, o produto pode estar sujeito a variações de temperatura desde o momento da expedição até o consumidor. Quanto maior a complexidade das operações de distribuição, aumenta também a dificuldade de manutenção das condições adequadas de temperatura em cadeias do frio.

3.2.1. Aumento da complexidade das operações logísticas

O crescente nível de complexidade encontrado nas operações logísticas dos mercados atuais foi influenciado por três grandes fatores: a mudança da produção em massa para uma produção de produtos personalizados com aumento do número das vendas por unidade; o aumento do uso do transporte rodoviário para entrega de remessas pequenas em tempo curto; e uma individualização dos transportes (HRIBERNIK et al., 2010).

Hanfield (2013) descreve que a globalização das atividades logísticas se caracteriza pela crescente complexidade e um grande número de parâmetros de controle. Essas mudanças, consideradas como tendências pelos autores, ocorrem com grande velocidade nos sistemas logísticos.

Uma série de mudanças ocorreu na última década na logística de alimentos. A entrada de varejistas globais, a consolidação das indústrias, as novas atitudes/formas de

consumo, bem como a existência de regulamentos e leis mais exigentes referentes à produção de alimentos, têm alterado o ambiente de negócios para a maioria das empresas desse setor. Os consumidores hoje em dia, estão interessados em consumir alimentos saudáveis e estão mais conscientes dos problemas relacionados às perdas de alimentos (MATAPOULOS et al., 2007).

Dentro desse contexto, estudo realizado por Handfield et al. (2013) mostra quais são, atualmente, as principais demandas a serem gerenciadas segundo a visão dos executivos da área de logística (Figura 3.7).

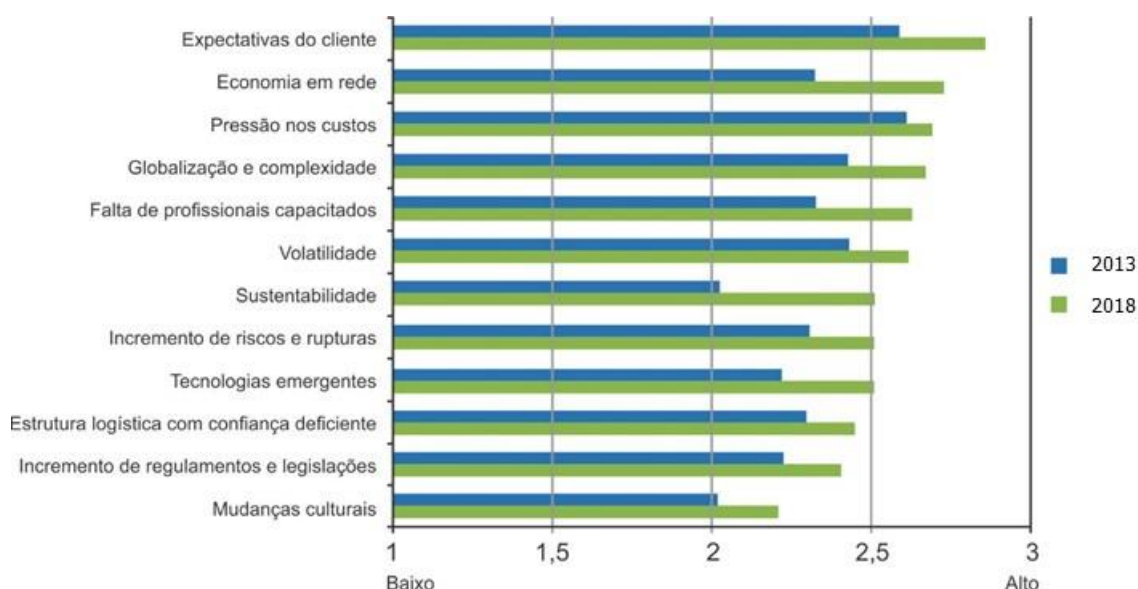


Figura 3.7. Tendências da logística e sua importância (HANDFIELD et al., 2013).

Em relação ao item “Expectativas dos Clientes”, as empresas fabricantes e operadores logísticos enfrentam o desafio de apresentar alta qualidade, baixo custo, entregas flexíveis, desempenho confiável e soluções sustentáveis com baixa emissão de carbono (HANDFIELD et al., 2013).

3.2.2. Aumento da complexidade da logística urbana

Ao longo das últimas décadas, as grandes cidades do mundo têm vivenciado o fenômeno de concentração da população nas áreas urbanas. Esse crescimento populacional gerou um aumento no número de veículos de passeio e de carga que circulam nessas áreas, muitas vezes incompatível com a infraestrutura local.

Conforme descrito por Lima Jr. (2015), a logística urbana tem relação direta com a mobilidade das pessoas, uma vez que as cidades são espaços para morar e trabalhar. As atividades econômicas geradoras demandam, na sua maioria, insumos e várias atividades relacionadas à moradia das pessoas, por isso a importância da logística urbana.

Para Macharis e Melo (2011) a distribuição urbana de mercadorias desempenha um papel importante no desenvolvimento sustentável das cidades. Ela apoia o estilo de vida urbano e mantém as atividades industriais e comerciais.

No entanto, as operações logísticas em áreas urbanas também tiveram um aumento na sua complexidade ao enfrentar ainda outros desafios como: a alta concentração de serviços e atividades culturais em áreas centrais (gerando grandes fluxos de pessoas e bens de consumo), a falta de infraestrutura adequada (com grande presença de ruas estreitas e becos) e uma visão de sustentabilidade voltada apenas para o fluxo de pessoas e não de cargas (com a inclusão de ciclovias, corredores de ônibus e amplas faixas de pedestres). Para a logística de carga urbana, um dos principais efeitos negativos dessa situação é a ocorrência de congestionamentos, que leva a perda de eficiência da atividade gerando impactos econômicos, sociais e ambientais (MUÑUZURI et al., 2012).

O aumento da complexidade das cadeias logísticas gerou uma multiplicidade de fluxo de distribuição de produtos. A Figura 3.8 apresenta algumas das principais configurações de fluxo de mercadorias, principalmente relacionadas à distribuição em áreas urbanas.

Cada um dos nós apresentados na Figura 3.8 implica, em geral, em uma movimentação/transferência da carga de local para veículo, veículo para veículo e veículo para local na qual pode ocorrer a quebra da cadeia do frio.

Essa complexidade das operações logísticas leva, em geral, a um maior número de movimentações de carga tendo como consequência um maior risco de “quebra/falha”

da cadeia do frio. A melhoria dos sistemas de monitoramento e gerenciamento da logística da cadeia de frio tornou-se uma preocupação de governos, empresas e pesquisadores que buscam controlar a qualidade e a segurança dos alimentos (XIAOHONG et al., 2010).

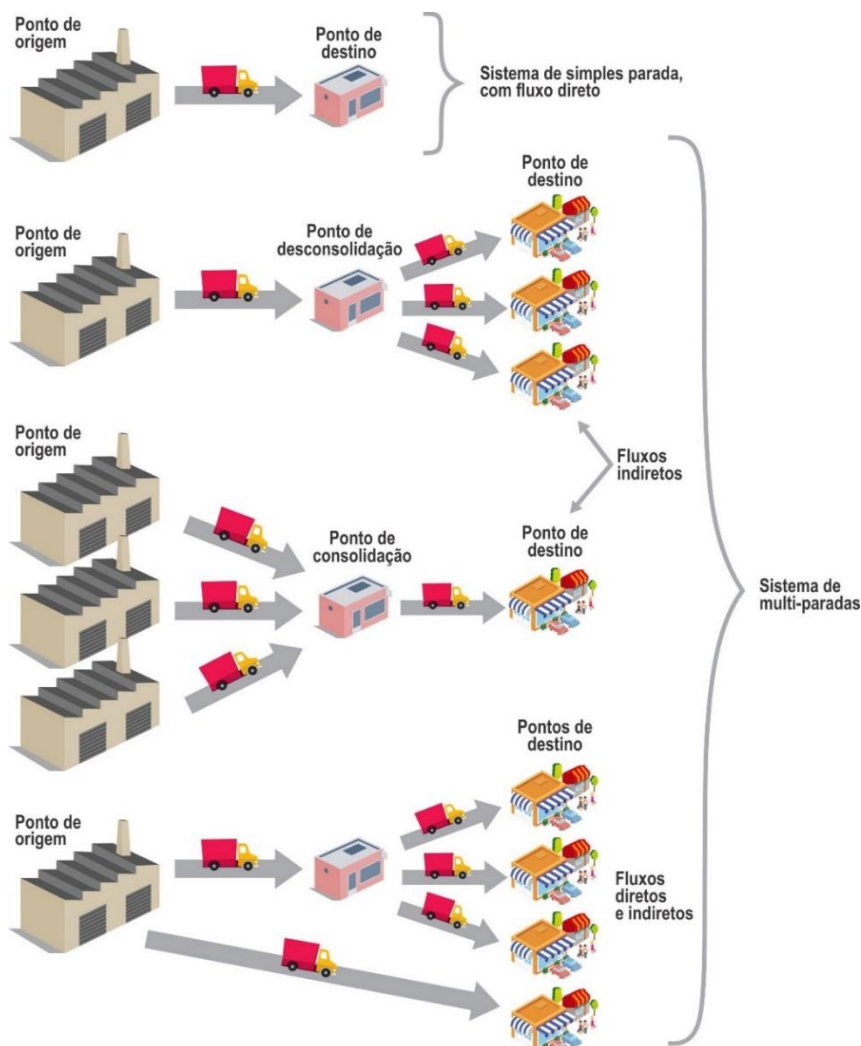


Figura 3.8. Exemplos de fluxos de mercadorias (baseado em DUTRA, 2004).

3.2.3. Transporte rodoviário de alimentos refrigerados

Na cadeia do frio, o veículo refrigerado não é responsável por realizar a refrigeração inicial da carga. Essa refrigeração deve ocorrer antes do transporte, em condições de temperatura e velocidade de refrigeração específicas para cada tipo de alimento.

É importante ressaltar esse processo de refrigeração prévia também é susceptível a falhas e o alimento pode ser colocado no veículo a uma temperatura acima da adequada, com um nível de qualidade parcialmente ou totalmente comprometido.

Após essa etapa, enquanto aguarda a sua expedição, o produto refrigerado é mantido sob temperatura controlada em câmaras de refrigeração.

Uma vez que a carga está no caminhão, a circulação de ar é um dos fatores mais importantes na sua proteção. Se ela não ocorrer corretamente, e de maneira uniforme, a capacidade do sistema de refrigeração perde grande parte de sua função. Além do calor que penetra através de paredes, piso e teto da carroceria, a circulação do ar retira também o calor do produto levando todo esse fluxo de ar quente para ser removido na unidade de refrigeração.

Existem dois principais sistemas de circulação de ar em veículos refrigerados: a) sistema no qual o insuflamento de ar refrigerado ocorre a partir da parte superior da carroceria. Esse método é o mais convencional e b) sistema no qual o insuflamento de ar ocorre a partir da parte inferior. Esse último é utilizado de forma limitada em reboques rodoviários.

Nas Figuras 3.9 e 3.10 observam-se os caminhos do fluxo de ar para esses dois métodos (VIGNEAULT e THOMPSON, 2009).

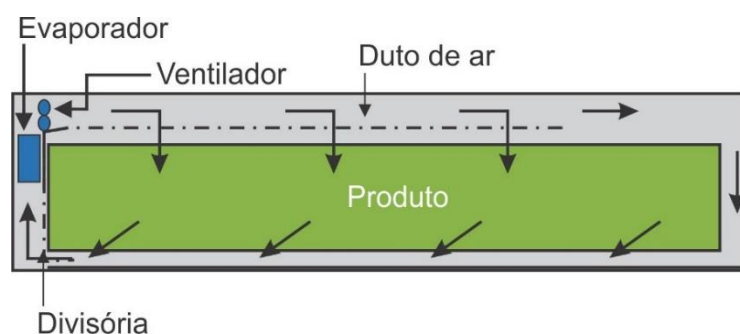


Figura 3.9. Sistema com entrega de ar refrigerado ocorrendo a partir da parte superior da carroceria (VIGNEAULT e THOMPSON, 2009).

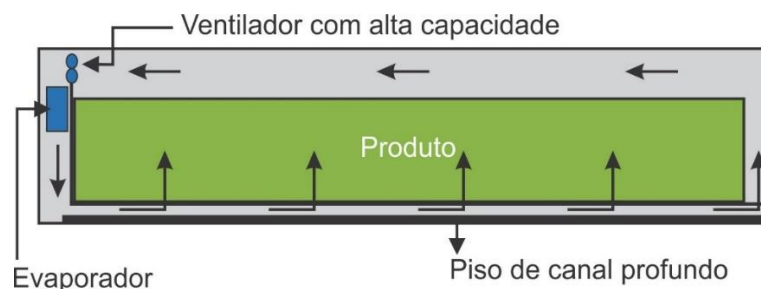


Figura 3.10. Sistema com entrega de ar refrigerado ocorrendo a partir da parte inferior da carroceria (VIGNEAULT e THOMPSON, 2009).

3.2.3.1. Oscilações de temperatura no transporte rodoviário sob refrigeração

Durante o transporte, as condições obtidas nas câmaras frias de estocagem devem ser mantidas. No entanto, manter a temperatura correta nos veículos sob refrigeração é mais difícil devido a fatores como (EVANS, 2008):

1) O calor introduzido durante o carregamento e descarregamento do veículo.

O tempo necessário para a operação de carregamento/descarga (que deve ser o menor possível) e o nível de proteção da carga durante essas operações. As Figuras 3.11 a 3.13 apresentam as diferentes proteções oferecidas às cargas durante o carregamento e descarregamento nas docas (de embarcadores, centros de distribuição e/ ou pontos de venda).

2) O possível contato entre os alimentos e as paredes laterais que sofrem com a insolação.

Esse problema pode ser grave quando o veículo não está funcionando e o sol está irradiando sobre o topo e uma parede lateral. Neste caso, a temperatura da superfície externa pode atingir valores próximos a 90°C e a temperatura interna da superfície pode ser aumentada em função da proximidade da carga na parede.

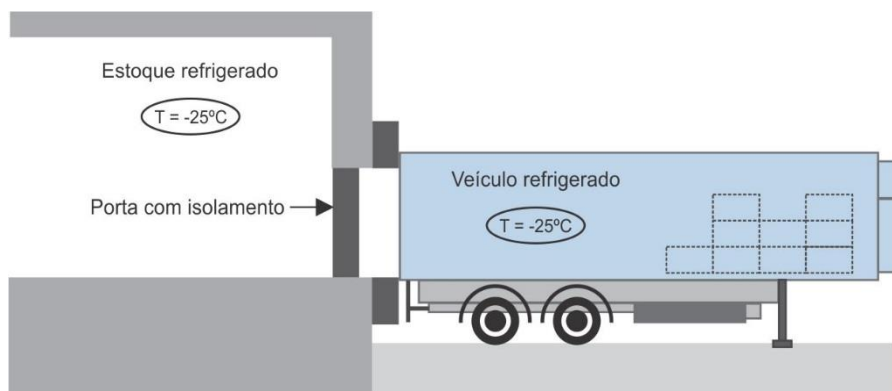


Figura 3.11. A carga é carregada diretamente da doca para o veículo. O alimento refrigerado é altamente protegido e o tempo de carregamento pode ser longo (EVANS, 2008).

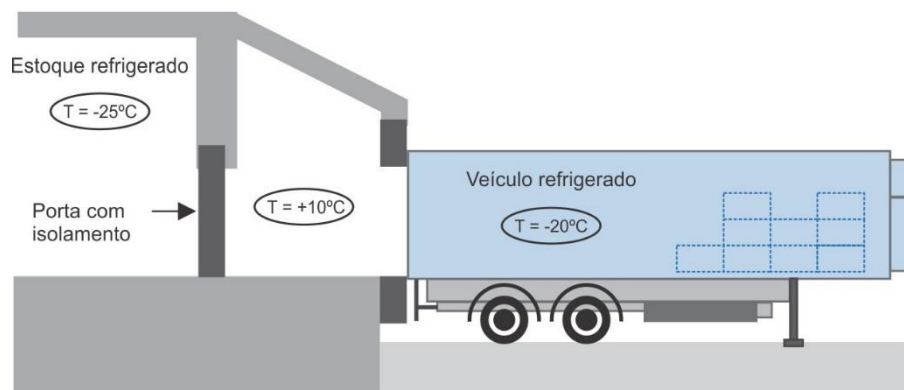


Figura 3.12. A carga atravessa uma antecâmara com temperatura intermediária em relação ao estoque refrigerado e ao ambiente externo. A proteção do alimento refrigerado é fraca e o tempo de carga é limitado (EVANS, 2008).

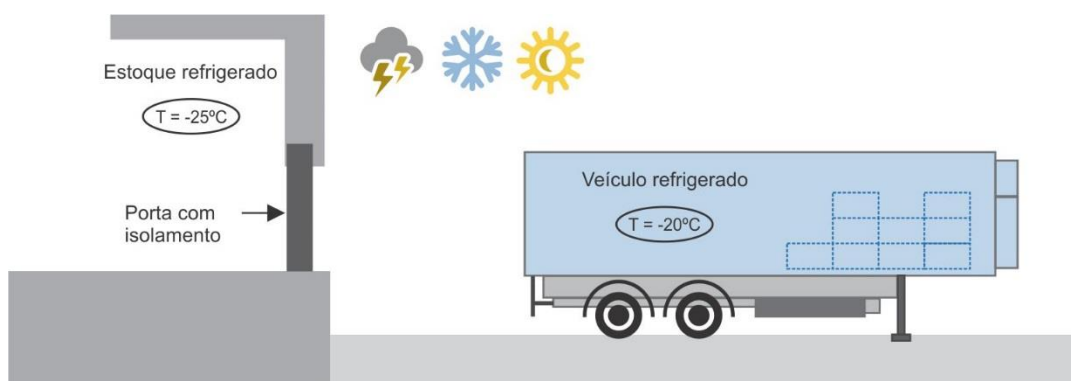


Figura 3.13. A carga deve atravessar o pátio para ser carregada. O alimento refrigerado não tem proteção e o tempo de carregamento deve ser o mais curto possível (EVANS, 2008).

Rodrigue (2014) considera que, com o aumento do transporte de cargas refrigeradas, deve ser dada uma maior atenção para a identificação de locais, equipamentos e circunstâncias nas quais pode ocorrer falha na cadeia do frio. O autor lista os dois pontos mais críticos durante a distribuição refrigerada:

Durante o transporte:

- Mau funcionamento (ou uma interrupção involuntária do equipamento de refrigeração) por algumas horas pode comprometer a cadeia de frio, dependendo da temperatura ambiente.
- Carregamento de produtos que não foram previamente refrigerados em câmaras pode sobrecarregar a unidade de transporte refrigerado (carroceria ou contêiner) de tal forma que a temperatura do ambiente de distribuição nunca atinja a faixa especificada.
- Devido ao desgaste ao longo do uso, as unidades de transporte refrigerado podem oferecer um ambiente de armazenamento a frio inadequada, incluindo a má circulação do ar frio e falhas de isolamento térmico nas portas.
- Motoristas podem desligar ou reduzir a potência do sistema de refrigeração com o objetivo de reduzir os custos com consumo de combustível, deixar as portas abertas por muito tempo durante as entregas ou; ser forçado a desligar o veículo durante o tempo de espera para iniciar a carga ou descarga devido a legislação local (Figura 3.14) ;



Figura 3.14. Placa indicando que o veículo deve ser desligado durante o tempo ocioso (Ex: carga e descarga).

Durante transbordo e armazenagem:

- Durante a carga, descarga ou armazenagem de um produto, existem situações potenciais nas quais a cadeia de frio pode ser comprometida (Figura 3.15). Por exemplo, um produto pode ser deixado na plataforma de carga por um período prolongado ou a unidade de transporte refrigerado pode ser desligada durante o transbordo. Alguns armazéns podem ter várias câmaras refrigeradas com diferentes temperaturas de estocagem, enquanto outros não têm diferentes instalações de armazenamento a frio. Essa limitação de infraestrutura pode fazer com que, alimentos com diferentes faixas de temperatura ideal de armazenamento, sejam mantidos juntos em uma mesma temperatura.

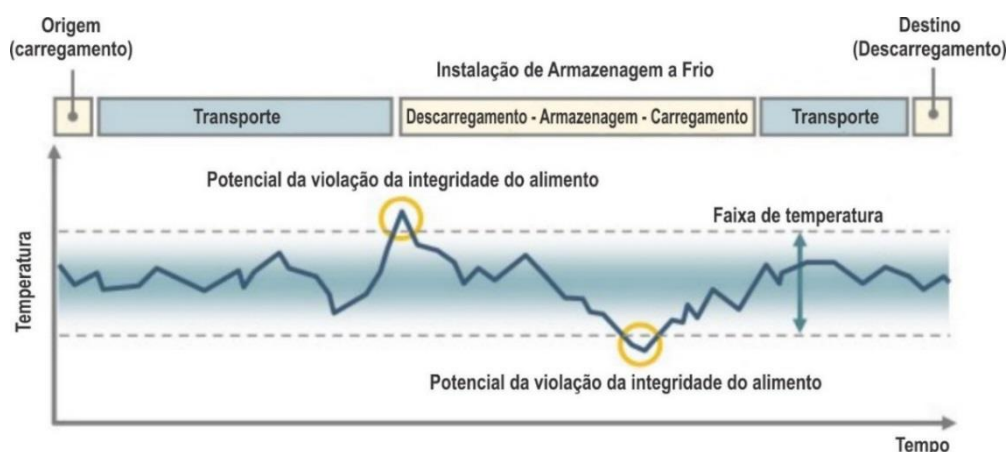


Figura 3.15. Pontos de possível falha na cadeia do frio (RODRIGUE, 2014).

Além desses pontos, a abertura e o fechamento de portas do veículo refrigerado ao longo da distribuição também podem causar flutuações na temperatura do ambiente (Carvalho, 2009).

Estudo realizado por PEREIRA et al. (2010) avaliou a variação da temperatura da carroceria de um caminhão refrigerado após uma sequência de aberturas e fechamentos de porta, que simulou a entrega de alimentos refrigerados ao longo de um roteiro de distribuição. Após as monitorações, foi verificado que as aberturas de portas no momento das entregas resultaram na elevação da temperatura interna da câmara acima dos valores recomendados para a conservação adequada dos produtos transportados. Além disso, o aumento no número de aberturas de porta provocou um efeito acumulativo de aumento da temperatura interna. O trabalho concluiu que, para

as condições testadas, o sistema de refrigeração do caminhão não possuía uma capacidade instantânea suficiente para retomar a temperatura adequada entre as entregas.

Para Mercier et al. (2017) a variação de temperatura pode ser decorrente de várias razões como “mau desempenho de sistemas de controle de temperatura, oscilações de temperatura causadas pelos ciclos de desligamento dos sistemas de refrigeração, a presença de fontes de calor locais em caminhões ou armazéns e abusos de temperatura durante o carregamento e descarga de caminhões”.

Para Abad et al. (2009) a redução de perdas e controle de qualidade de produtos é garantida através do monitoramento da temperatura em todas as etapas presentes nessa cadeia.

Laguerre et al. (2013) descreve que a disposição da carga dentro do caminhão também influencia na manutenção da temperatura adequada em seu interior. Os alimentos refrigerados estão, de forma geral, acondicionados em embalagens para transporte (caixas de madeira ou papelão ondulado) que são empilhadas e arranjadas formando as unidades paletizadas. A renovação do ar fornecida pelo fluxo de ar forçado, proveniente do sistema de refrigeração do caminhão, deve compensar os fluxos de calor trocados através das paredes isoladas ou gerados pelos produtos. No entanto, um eficiente fluxo de ar dentro da carroceria pode ser comprometido devido a questões como: tipo de arranjo das embalagens no palete, distância entre as unidades paletizadas, distâncias entre as unidades paletizadas e o teto do caminhão e possíveis bloqueios dos dutos de ar pelas unidades paletizadas.

O trabalho de Oury et al. (2015) apresenta previsões de distribuição de temperatura na carroceria de um caminhão refrigerado onde a distribuição de ar frio é feita por apenas um ponto de insuflação. Essas previsões são obtidas através do uso de métodos computacionais e simulam a carroceria com a porta traseira aberta e fechada.

As Figuras 3.16 e 3.17 ilustram o movimento do fluxo de ar frio e a distribuição de temperatura na carroceria do caminhão com a porta fechada, respectivamente.



Figura 3.16. Movimento do fluxo de ar frio no caminhão refrigerado com a porta traseira fechada e o sistema de refrigeração ligado (OURY et al., 2015).

A Figura 3.17 ilustra a distribuição de temperatura na carroceria do caminhão com a porta fechada e o sistema de refrigeração ligado. Nesta condição, o sistema está em condições quase estacionárias. A temperatura segue basicamente a mesma distribuição que a velocidade do ar, onde as áreas mais frias correspondem a regiões de alta velocidade e áreas mais quentes a regiões de baixa velocidade do ar frio. Nesse exemplo, com sistema de refrigeração para produtos congelados, o ar frio produzido pelo sistema de refrigeração entra na carroceria a uma temperatura de -27°C e é aquecido pelo contato com as paredes mais quente da carroceria.

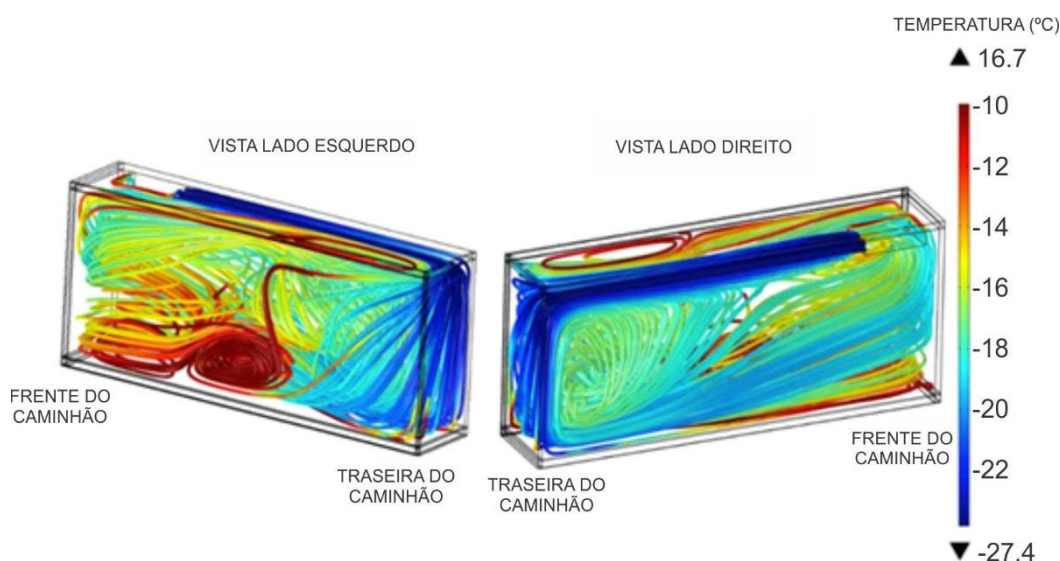


Figura 3.17. Distribuição de temperatura na carroceria com a porta fechada (OURY et al., 2015).

A Figura 3.18 ilustra a distribuição de temperatura quando a porta está aberta e o sistema de resfriamento e ventilação está desligado (OURY et al., 2015). A única força motriz para o ar é a convecção natural decorrente da diferença entre as temperaturas interna e externa. Pode-se observar as diferentes temperaturas de ar na carroceria após 2, 10, 50 e 500 segundos de porta aberta. O ar quente entra rapidamente na carroceria durante os primeiros segundos e, após um curto período de tempo (aproximadamente 10 s), a maior parte do volume da carroceria está com a mesma temperatura do ambiente externo (cerca de 25°C), exceto próximo ao sistema de refrigeração.

O impacto das oscilações de temperatura, que podem ocorrer ao longo da distribuição de alimentos refrigerados, vai desde a progressiva redução do seu *shelf life* passando para alterações mais severas que podem comprometer a segurança alimentar desses produtos.

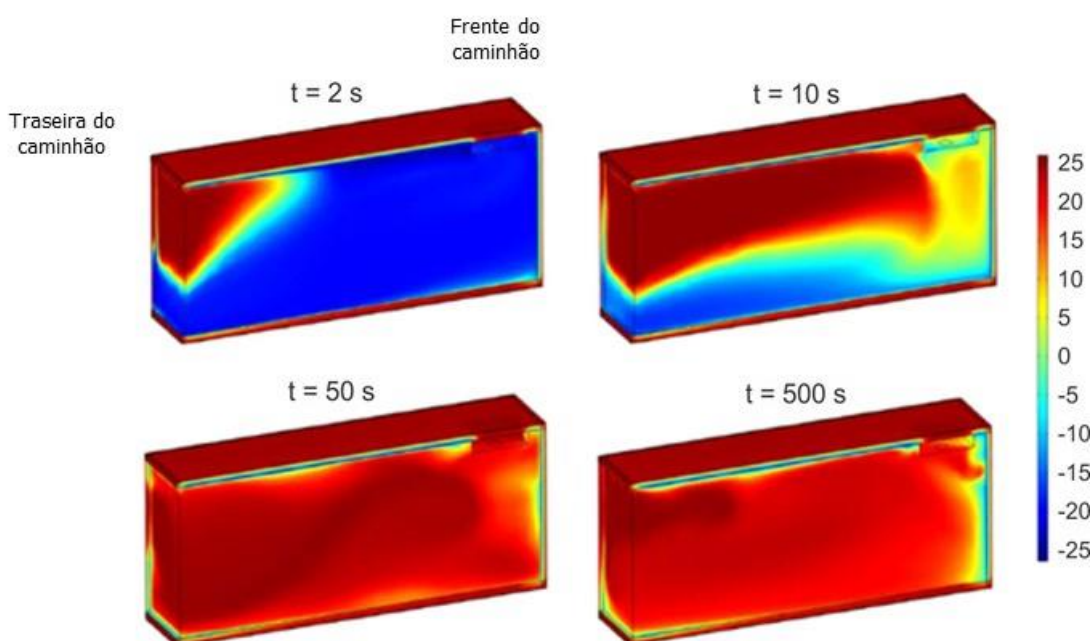


Figura 3.18. Evolução da temperatura do ar (em °C) na carroceria do caminhão, em diferentes tempos após a abertura da porta (OURY et al., 2015).

3.2.3.2. Injúrias mecânicas em alimentos refrigerados causadas pelo transporte

Apesar da temperatura ser o parâmetro de controle mais importante para o transporte de alimentos refrigerados, as injúrias físicas sofridas pelos alimentos perecíveis mais

sensíveis (ex: frutas e verduras) também devem ser consideradas e são decorrentes de impactos durante a distribuição.

Durante o transporte, a vibração, compressão e impactos, que ocorrem devido à movimentação da carroceria do caminhão, podem causar danos físicos aos alimentos. Esses danos podem ser minimizados através de uma especificação de embalagem adequada, de uma correta amarração das caixas paletizadas e da colocação desses paletes no veículo refrigerado.

As cargas paletizadas devem ser dispostas de uma maneira que impeça seu deslocamento dentro da carroceria durante o manuseio ou o transporte. No caso do uso de caixas de papelão ondulado como caixas de embarque, o uso de cola específicas aplicadas entre as caixas durante a formação do palete ajuda a reduzir o deslizamento das mesmas (Figura 3.19). A aplicação de filmes esticáveis (filmes *stretch*) em volta de toda a carga paletizada também impede a movimentação das caixas (VIGNEAULT e THOMPSON, 2009).



Figura 3.19. Cargas paletizadas com cantoneiras e aplicação de filmes stretch.

Apesar de todos esses recursos, os esforços mecânicos ocorrem ao longo do transporte e, por isso, a possibilidade de identificação dos níveis mais severos de impactos que possam ocorrer na carroceria durante um transporte podem ajudar os gestores a detectar problemas como rotas inadequadas (vias deterioradas),

problemas de suspensão do veículo e até mesmo condução inadequada do motorista do veículo (VIGNEAULT e THOMPSON, 2009).

3.2.4. Novas abordagens de monitoramento da temperatura

O desenvolvimento de novas tecnologias para monitoramento e gerenciamento da temperatura tem tornado possível a implementação de sistemas de controle em tempo real ao longo da cadeia de frio. Como exemplo dessas tecnologias, as etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID), acopladas a sensores de temperatura, entre outros, permitem o gerenciamento eficiente baseado no histórico tempo-temperatura dos alimentos. Em relação a esse tipo de monitoramento, Mercier et al. (2017) identificaram que a temperatura dos alimentos dentro de uma caixa que compõe um palete deveria ser conhecida, uma vez que a distribuição de temperatura dentro de uma unidade paletizada de alimentos pode ser significativamente heterogênea. Por exemplo, os alimentos colocados no topo da unidade paletizada geralmente são mais afetados pelas mudanças que ocorrem no ambiente.

Mercier et al. (2017) citam dois estudos para exemplificar essas questões. No primeiro estudo foram observadas diferenças de temperatura de até 8,5°C dependendo da posição do alimento (peixes) dentro das unidades paletizadas em ambientes refrigerados em que houve flutuação da temperatura. Em um segundo estudo, a vida útil do alimento (suplemento alimentar militar) transportado na região do canto da unidade paletizada era até 15% menor do que a vida útil do alimento posicionado no centro de uma unidade paletizada quando submetido a 24 horas de um transporte durante o verão.

A utilização de tecnologias para monitoramento em tempo real das condições da temperatura do alimento refrigerado ao longo do tempo de distribuição possibilita um gerenciamento otimizado. Os dados levantados em tempo real permitem a estimativa de vida útil desses alimentos, durante o transporte, possibilitando a adoção de novas abordagens de definição de inventário e definições de rotas onde o primeiro produto a expirar é o primeiro a ser entregue (*First Expired First Out* - FEFO) ao contrário do

tradicional sistema *First-In-First-Out* (FIFO) no qual o produto que chega primeiro ao estoque é o primeiro a ser entregue.

Estudo realizado por NASCIMENTO NUNES et al. (2014) com a fruta *blackberry* mostrou como podem ser reduzidas as perdas desse alimento se a sua vida útil real for calculada de forma dinâmica ao longo da cadeia de distribuição. A Figura 3.20 ilustra os dados para entrega da fruta seguindo o modelo convencional FIFO, em comparação com uma distribuição baseada no FEFO, a partir do ajuste da vida útil restante das frutas baseado em dados de exposição de temperatura em relação ao tempo, monitorados por um registrador ao longo do transporte.

Essa analogia também poderia ser aplicada nos varejistas através de uma informação mais precisa a respeito da vida útil restante do alimento, ao invés de considerar uma data fixa vinculada apenas ao processamento do alimento com indicações de “Válido Até” ou “*Best Before*” impressas nas embalagens. Estas novas ferramentas dinâmicas têm o potencial de diminuir significativamente o desperdício de alimentos (JEDERMANN et al., 2009).

typical FIFO inventory rotation and routing - based on physical inspection						FEFO inventory rotation and routing - pallet level			
lot no.	palletno.	product	actual date received US warehouse	FIFO ship by date (inventory rotation)	FIFO routing (distance to retailer)	shelf life adjustment per logged time and temperature	FEFO ship by date (inventory rotation)	FEFO routing (distance to retailer)	ship - route order
1234	5678	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	-2.91	IMMEDIATE	very close	1
1234	5679	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	-2.15	IMMEDIATE	very close	2
1234	5680	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	-2.02	IMMEDIATE	very close	3
1234	5681	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	+0.56	11 Dec 2011	normal	4
1234	5682	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	+0.67	11 Dec 2011	normal	5
1234	5683	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	+0.75	11 Dec 2011	normal	6
1234	5684	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	+1.25	12 Dec 2011	longer	7
1234	5685	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	+1.43	12 Dec 2011	longer	8
1234	5686	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	+1.45	12 Dec 2011	longer	9
1234	5687	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	+1.51	12 Dec 2011	longer	10
1234	5688	blackberry 1218	09 Dec 2011	11 Dec 2011	all OK	+2.05	13 Dec 2011	very long	11

Figura 3.20. Modelo de padrão avançado para monitoramento de vida útil de alimentos perecíveis (NASCIMENTO NUNES et al., 2014).

Em Novaes et al. (2013) é apresentada uma metodologia para roteirização dinâmica de veículo que combina o problema da variação da temperatura no transporte de alimentos refrigerados e congelados a aspectos logísticos, melhorando assim o cenário atual de perdas e danos deste tipo de mercadoria.

As cadeias do frio se tornam “inteligentes” através do uso de novas tecnologias para monitoramento da temperatura em tempo real. Além da identificação por radiofrequência (RFID), os sensores e as redes de sensores sem fio oferecem análises e modelagens avançadas que permitirão aos gestores dessas cadeias a tomada de decisão de forma prática e eficiente (AUNG e CHANG, 2014).

Para Ruiz-Garcia e Lunadei (2010) os *stakeholders* presentes na cadeia do frio devem utilizar métodos melhores para garantir a manutenção adequada da temperatura através de um controle automatizado e eficiente de todas as operações.

Dentro desse contexto, novas alternativas para melhoria e controle das operações logísticas podem trazer contribuições expressivas para a distribuição de alimentos refrigerados. Este trabalho apresenta uma proposta baseada em uso de tecnologias para melhorar o desempenho térmico do transporte de alimentos refrigerados.

3.3. O Uso de Tecnologia para Soluções em Logística

A logística de carga tem sido pauta de vários estudos que visam a criação de modelos mais eficientes para melhoria do tráfego (ANAND et al., 2012; MUÑUZURI et al., 2012).

Entre as dificuldades encontradas nas áreas urbanas, para o desenvolvimento e aplicação desses novos modelos e planos para gestão da carga, estão o conflito entre os *stakeholders* associados ao transporte de produtos (embarcadores, transportadoras, comerciantes, gerenciadores de tráfego e a população) e a falta de infraestrutura urbana para receber os veículos que realizam o transporte (HOLGUÍN-VERAS et al., 2012).

Com foco em todas essas questões, Taniguchi et al. (2001) apresentaram o conceito de *City Logistics* como sendo “um processo de otimização total das atividades de logística e de transporte, por empresas privadas, nas áreas urbanas, que leve em consideração as questões relacionadas ao ambiente, congestionamento e consumo de energia”. Nesse processo o setor privado e as empresas transportadoras têm como

objetivo principal a redução de custos enquanto o setor público tenta aliviar o congestionamento do tráfego e resolver as questões ambientais.

Algumas medidas e iniciativas foram destinadas a melhorar o desempenho de distribuição de mercadorias e reduzir os efeitos negativos ambientais e socioeconômicos da distribuição de áreas urbanas. Entre essas medidas estão as restrições referentes ao tamanho dos veículos, janelas de tempo para entrega e área de circulação dos veículos.

No entanto, os resultados mostraram o surgimento de alguns “efeitos colaterais” na implementação dessas ações. Por exemplo, a restrição do tamanho dos veículos gera um aumento no número de veículos de menor porte circulantes, o que também dificulta a atividade. Para Macharis e Melo (2011), esses “efeitos colaterais” ocorrem principalmente pelo fato de que nem todas as partes interessadas foram consultadas em um pré-avaliação das ações e/ou devido a dificuldades em cooperação entre os diferentes *stakeholders*.

Segundo Lima Jr. (2013), existem duas possibilidades para inovações em logística urbana: soluções baseadas no uso de tecnologia, e soluções através de governança. As soluções baseadas em tecnologias são as mais exploradas atualmente, no Brasil e no exterior, e tratam de alternativas que incluem tanto as vias como as operações logísticas.

Para Taniguchi et al. (2001) a utilização de Sistemas de Informação Avançados (uso de tecnologia) está entre as soluções apresentadas para a logística urbana. Muitos outros autores também destacam o uso de tecnologia como solução para os problemas de logística como Bahnes et al. (2016), Morana (2014), Mancini et al. (2014), Muñuzuri e Cortes (2012) e Giannopoulos (2004).

O uso de tecnologias na área de transporte é usualmente chamado de Sistemas Inteligentes de Transportes (SIT). O termo SIT é descrito como “...um termo genérico para a aplicação integrada de tecnologias de comunicação, controle e processamento de informações para o sistema de transporte...e que cobre todos os modos de

transporte e considera todos os elementos do sistema de transporte: o veículo, a infraestrutura, o motorista ou usuário, que interagem juntos dinamicamente. A função geral do SIT é melhorar a tomada de decisões, muitas vezes em tempo real” (ITS, 2004).

Segundo Hoel et al. (2011), os “Sistemas Inteligentes de Transportes – SIT referem-se à aplicação de tecnologias de informação, tais como programas de computador, equipamentos, tecnologias de comunicação, dispositivos de navegação e eletrônica para melhorar a eficiência e a segurança dos sistemas de transportes”.

O uso de SIT está entre as cinco políticas bem-sucedidas identificadas por Dablanc (2011) que considera também que, conforme as tecnologias evoluem e se tornam financeiramente acessíveis, elas podem ser mais amplamente utilizadas para a melhoria da logística de carga em áreas urbanas.

Existem muitas tecnologias que dão suporte aos SIT como: equipamentos de bordo, sistemas de posicionamento global (GPS) e painéis de mensagem variáveis que podem ser ligados a sistemas de gestão de tráfego e/ou sistemas de gerenciamento de transporte de mercadorias. A demanda por tais sistemas tem crescido nos últimos anos, sendo utilizados para melhorar a rota e o planejamento de viagem, bem como os serviços prestados aos clientes (por exemplo, tempo estimado de chegada do produto). Muitos desses sistemas foram iniciados e operados por autoridades urbanas, como parte dos sistemas de gestão de tráfego utilizados para melhorar a situação do tráfego dentro da área urbana (por exemplo, por regulamentos de trânsito ou de controle de acesso) (WORLD ROAD ASSOCIATION, 2000).

Nos sistemas de gerenciamento de transporte de mercadorias, operados pelo setor privado, os SIT são aplicados principalmente para otimizar a logística e processos de distribuição, contribuindo assim para a otimização de custos da cadeia de fornecimento.

Segundo Allen et al. (2007) conforme o uso (por gestores públicos ou privados) os SIT se dividem em sistemas de gestão da mercadoria e sistemas de gestão do tráfego.

- 1) Sistemas de gestão do transporte de mercadorias. Exemplos:

- Ordenação das entregas / Roteirização de veículos;
- Sistemas de navegação e controle de tráfego: Usado para fornecer orientações específicas a partir de informações obtidas em tempo real sobre a localização do veículo, os incidentes de trânsito e as mudanças nos requisitos dos clientes.

O uso de SIT e da Tecnologia de Informação (TI) podem ajudar as empresas a reduzir seus custos operacionais, melhorar a confiabilidade e reduzir o tempo de viagem, e dar maior agilidade para resolver incidentes inesperados. Embora a utilização de tais sistemas esteja relativamente limitada às empresas de logística, sua utilização tem sido crescente.

2) Sistemas de gestão do tráfego. Exemplos:

- Coordenação dos sistemas de semáforos para controle do tráfego em áreas específicas;
- Painéis de mensagem variável para transmitir informações aos motoristas em tempo real;
- Sensores de presença nas vagas de estacionamento.

As linhas de pesquisa e os campos de atuação dos Sistemas Inteligentes de Transportes (SIT) estão amadurecendo, expandindo-se e associando-se com outros aspectos da mobilidade e da sociedade.

Segundo Santos e Leal (2015), num primeiro momento os SIT estavam mais voltados para os aspectos básicos de segurança e gestão do tráfego. Com as novas demandas, os SIT podem ser dividido em três novos domínios: Gestão de Energia, Serviços de Mobilidade Personalizados utilizando Big Data, e Sistemas de Transporte Resilientes.

Os dois primeiros conceitos surgem a partir do amadurecimento da tecnologia de veículos elétricos e da contínua evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação e, o terceiro conceito, referente aos Sistemas de Transporte Resilientes, implica em se ter um sistema de transporte robusto o suficiente para se adaptar/rearranjar em caso de catástrofes como furacões e terremotos.

Dentre as tecnologias para o futuro, as comunicações de Veículo para Veículo (V2V) e de Veículo para Infraestrutura (V2I) avançarão significativamente nos Sistemas Inteligentes de Transportes (SIT) através de serviços de segurança de veículos e gerenciamento de tráfego, e serão totalmente integrados em infraestruturas de *Internet of Things* (BANDYOPADHYAY e SEN, 2011).

O conceito de Open, apresentado no *20th Intelligent Transport Systems World Congress Tokyo 2013*, foi adotado como a palavra-chave para descrever a expansão dos potenciais retornos sociais e econômicos obtidos nos Sistemas Inteligentes de Transportes através de novas abordagens como: plataformas abertas, conectividade aberta, oportunidades e colaboração para os três novos domínios (Figura 3.21).



Figura 3.21. Expansão do campo de atuação de Sistemas Inteligentes de Transportes (SIT) (SANTOS e LEAL, 2015).

O conceito de *Internet of Things* (IoT) propõe uma abordagem ainda mais ampla do uso de tecnologias para redução de problemas nas operações logísticas de distribuição.

3.4. *Internet of Things* (IoT) na Logística

Existem várias definições para o termo IoT, entre elas, a apresentada pelo *Cluster of European Research Projects* (IERC, 2010): “uma infraestrutura de rede global dinâmica, com capacidade de autoconfiguração com base em protocolos de

comunicação padrão e interoperáveis, onde "coisas" virtuais e físicas têm identidade, atributos físicos e personalidade virtual e usa interfaces inteligentes, e estão perfeitamente integrados na rede de informação "

O conceito de IoT está baseado no uso da Internet para interligar dispositivos inteligentes que se comunicam entre si e/ou com pessoas, a fim de oferecer um determinado serviço (MIORANDI et al., 2012; MATTERN e FLOERKEMEIER, 2010). Esse conceito congrega o uso de várias tecnologias que foram evoluindo ao longo das últimas décadas conforme apresentado na Figura 3.22.

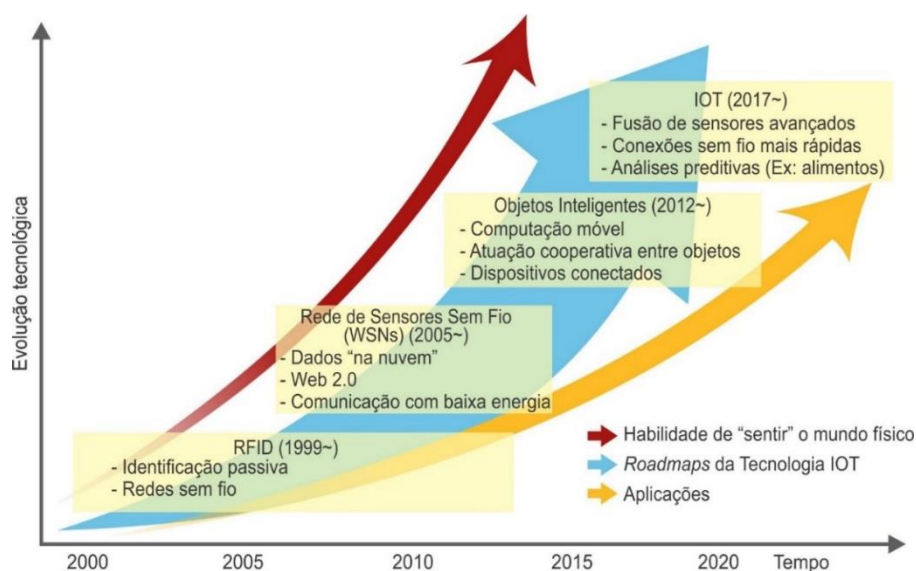


Figura 3.22. Evolução da IoT (LI et al., 2015).

As descrições da estrutura dos sistemas IoT variam na sua apresentação e vêm sendo representadas com diferentes níveis de camada, variando em geral entre 3 e 5 camadas. As representações com 3 camadas apresentam os elementos fundamentais presentes em um sistema IoT (Figura 3.23):

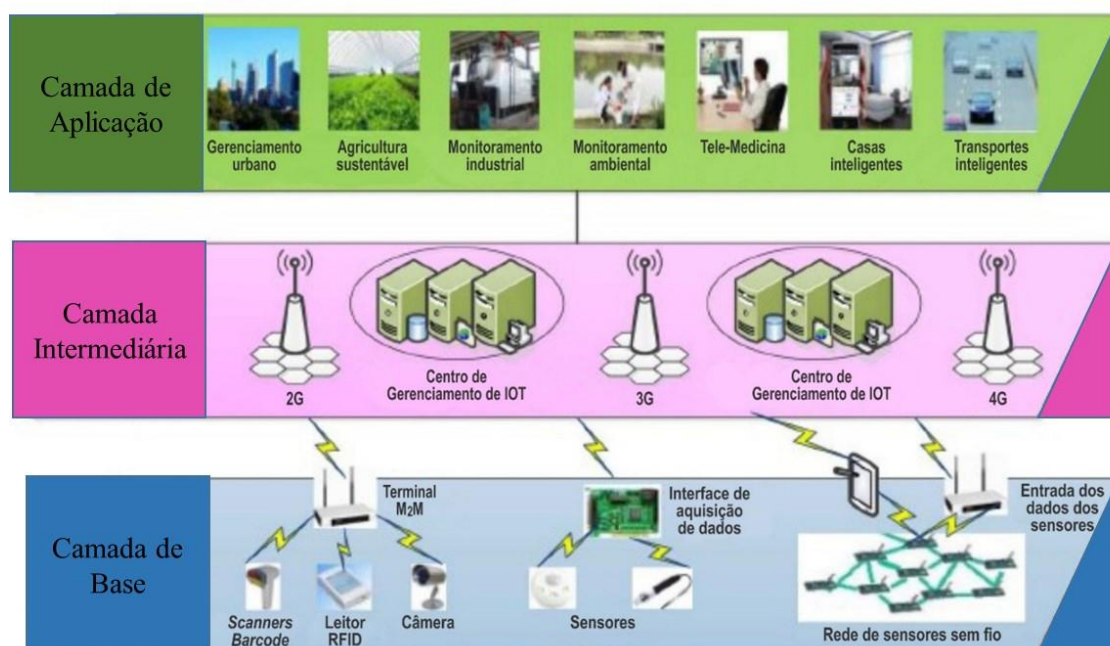


Figura 3.23. Arquitetura de sistemas IoT (CHI et al., 2014).

Na Camada de Base (Camada de Percepção, Camada de Aquisição de Dados, Camada de Sensores) estão os objetos inteligentes, ou seja, instrumentados com sensores, códigos de barras, microprocessadores e que estão presentes no sistema para realizar as medições no ambiente (TSAI et al., 2014; ZHENGXIA e LAISHENG, 2010; WHITMORE et al., 2015).

Na Camada Intermediária (Camada de Rede, Camada de Envio de Dados) as leituras realizadas pelos objetos inteligentes são coletadas para terminais autônomos interligados (TSAI et al., 2014; ZHENGXIA e LAISHENG, 2010; WHITMORE et al., 2015). Segundo Zhang e Yu (2013) essa camada “inclui a rede móvel de comunicação, internet, rede via satélite, rádio e redes de televisão, rede particular virtual (Virtual Private Network – VPN) industrial e rede integrada” além de possuir “uma plataforma de processamento de dados” onde os mesmos são avaliados, analisados e compreendidos para sejam feitas as tomadas de decisão.

Na Camada de Aplicação (Camada de Intercâmbio de Dados) o conhecimento obtido na Camada Intermediária é aplicado.

Os sistemas IoT têm aplicação em inúmeras áreas conforme apresentado na Figura 3.24 (ATZORI et al., 2010).

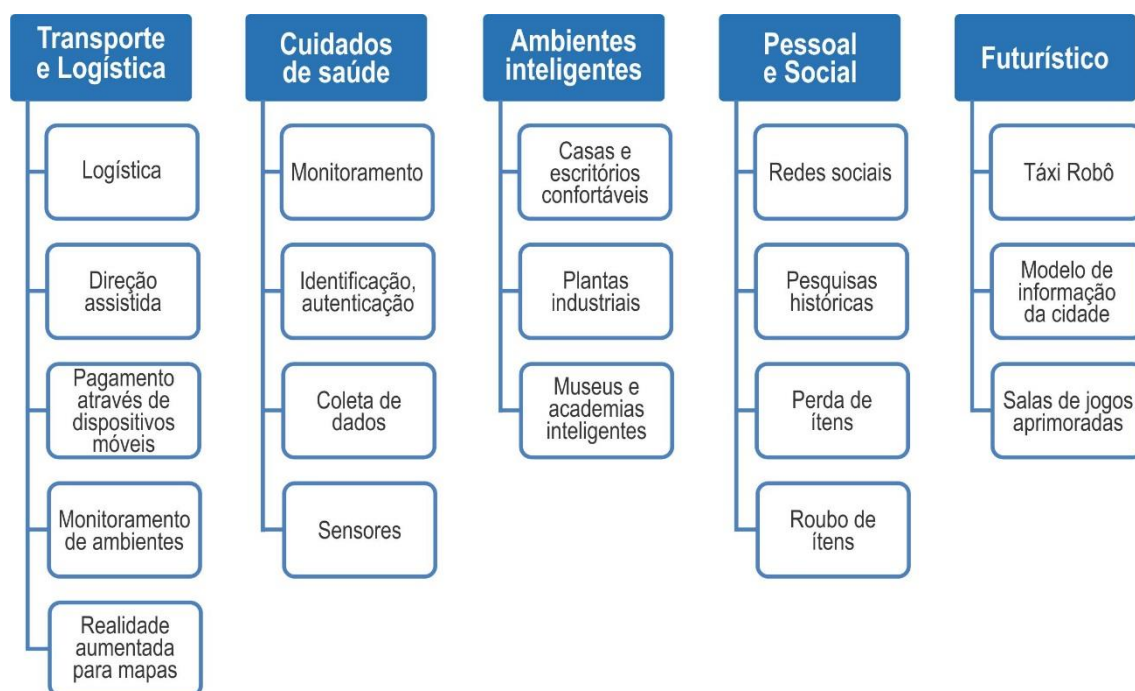


Figura 3.24. Domínios de aplicações e as subáreas relevantes (ATZORI et al., 2010).

As estimativas de ganho de valor para a área de logística, com a aplicação de sistemas IoT, estão na ordem de US\$1,9 trilhão. Este ganho de valor está relacionado a:

- Embarques rastreados que possibilitam maior eficiência operacional;
- Paletes e produtos com sensores viabilizando um gerenciamento de inventário mais inteligente;
- Análises de frota conectada para prevenção de falha de ativos e as verificações de manutenção de cronograma automaticamente (MACAULAY et al., 2015).

Caminhões de carga providos de sensores e, atuando em sistemas IoT, permitem que os operadores logísticos possam avaliar, entre outras informações, o consumo de combustível em tempo real e como os motoristas estão dirigindo seus veículos. Os sistemas equipados com GPS acompanham em tempo real a posição do caminhão na rota e podem ajudar os motoristas a evitarem as áreas com trânsito congestionado.

Os caminhões equipados com sensores indicam a necessidade de manutenção de freios, pneus, óleo e outros sistemas críticos, viabilizando uma manutenção preventiva

do veículo e evitando falhas inesperadas (Figura 3.25) (MACAULAY et al., 2015; EURSAP, 2017).



Figura 3.25. Gestão de frotas através de IoT – Caminhão com sensores (EURSAP, 2017).

Os dispositivos de monitoramento e sensoriamento interligados permitem aos caminhoneiros a execução dos trabalhos de forma mais rápida e segura através: da geração automática de relatórios de inspeção de veículos, que reduz o tempo gasto no preenchimento dos diários de bordo para cumprir os regulamentos de horas de serviço e da maior rapidez na movimentação da carga, com cargas e pontos de entrega providos de dispositivos como RFID, NFC ou Bluetooth (MACAULAY et al., 2015).

A redução dos custos de etiquetas inteligentes viabilizará sua maior utilização nas cargas, permitindo a completa integração dos dados entre paletes, caminhões e frotas. Além disso, sensores fixados nas embalagens transmitirão seus dados de localização, condição e indicarão uma possível violação (MACAULAY et al., 2015).

A infraestrutura rodoviária também será equipada com sensores que enviarão informações importantes para os locais de controle de tráfego (ATZORI et al., 2010).

No monitoramento de parâmetros ambientais, os sistemas IoT permitirão que os produtos refrigerados como carnes frescas, frutas e produtos lácteos sejam monitorados em tempo real (temperatura, umidade relativa, impactos mecânicos) para garantir os níveis de

qualidade. Os sistemas IoT oferecem grande potencial para melhorar a eficiência da cadeia de distribuição de alimentos (ATZORI et al., 2010)

Para Jones (2014) o uso de sistemas IoT trará importantes melhorias para logística na área de alimentos, entre elas:

- Alimentos refrigerados podem ser monitorados e controlados durante a distribuição através de sistemas de refrigeração ativados por sensores;
- As flutuações de temperatura podem disparar alertas e ajustar automaticamente o sistema de refrigeração do caminhão. Se o sistema não for capaz de autocorreção, um alerta pode ser enviado para o fabricante do produto, que pode substituir produtos deteriorados antes da chegada ao cliente;
- A gestão de frotas através de sistemas IoT podem permitir a visibilidade contínua em caminhões conectados permitindo a otimização da roteirização através da priorização da entrega de alimentos baseada em um cálculo em tempo real do seu *shelf life*.
- Os sensores presentes ao longo dos pontos de distribuição podem identificar onde exatamente ocorreu a flutuação de temperatura, facilitando a substituição correção de equipamentos de forma mais rápida.

Em um primeiro momento, esse conceito pode apresentar muita similaridade com sistemas M2M - *Machine to Machine* (Máquina para Máquina), porém, na IoT as fontes de informações são múltiplas e estão voltadas para atender questões com maior nível de complexidade e, principalmente, buscando soluções globais (HOLLER et al., 2014).

Conforme descrito por Jones (2014) os sistemas M2M são fechados e particulares, o que os tornam caros. Os sistemas IoT são normalmente construídos em tecnologia aberta, com compartilhamento de informações. Os vários dispositivos presentes no fabricante podem estar conectados e interligados a outros dispositivos e aplicativos

presentes ao longo cadeia de alimentos, o que torna os custos, de forma geral, mais acessíveis.

Em estudo apresentado por Dahad (2014) é apresentada uma aplicação real de sistema IoT para alimentos refrigerados na qual os sensores, presentes ao longo da cadeia de distribuição informam, em tempo real, sobre flutuações de temperatura ou quando câmaras ou veículos refrigerados estão com as portas abertas. É importante ressaltar que, em sistemas IoT o monitoramento em tempo real não é a questão mais relevante, uma vez que será apenas um dado. A questão mais importante é a análise e interpretação dos dados que asseguram o fornecimento de alimentos dentro dos padrões de segurança alimentar.

Para Whitmore et al. (2015), em relação à implementação, os sistemas IoT apresentam desafios, como:

- A troca de dados, em grande escala, entre objetos inteligentes heterogêneos que possuem autonomia dinâmica local e buscam a convergência dos dados em uma rede com alta eficiência (sistemas de comunicação/plataformas compatíveis);
- A representação, reorganização e uso dos dados captados pelos dispositivos inteligentes e a solução dos problemas de interação tais como balanço entre eficiência e energia e níveis de segurança;
- A construção de novas arquiteturas de *software*, para proporcionar aos sistemas IoT a capacidade de autonomia, evolução e fornecimento de serviços inteligentes através do entendimento dos parâmetros: exigência do usuário, domínio da informação e domínio físico.

Para Holler et al. (2014), entre os principais desafios de implementação de sistemas IoT estão o compromisso com a privacidade e à proteção da integridade pessoal de seus usuários. Além desses, a confiabilidade e a precisão dos dados e das informações fornecidas por um grande número de fontes, também são uma preocupação.

Conceitos como Proveniência dos Dados e Qualidade da Informação tornam-se importantes, especialmente quando se considera a agregação de dados e análises. Como existe um risco em se confiar em informações imprecisas ou mesmo erradas em um processo de decisão, a questão da responsabilidade torna-se muito relevante (HOLLER et al., 2014).

3.4.1. Internet of Things e Controle Autônomo

Existem vários trabalhos na área da logística onde são aplicados os conceitos relacionados a IoT. Algumas dessas abordagens são listadas a seguir (Hribernik et al., 2010):

- Transporte autônomo de objetos de logística do remetente ao destinatário;
- Aplicação de algoritmos dinâmicos de planejamento de rotas em redes de logística de transporte autônomo;
- Rastreamento de produtos ao longo da cadeia de suprimentos com potencial geral de otimização de processos;
- Soluções automatizadas de posicionamento e gerenciamento de armazéns;
- A garantia de qualidade através de um rastreamento em tempo real de alimentos ou medicamentos;
- Proteção contra o roubo de produtos com base em tecnologias únicas de identificação e posicionamento;
- Modelos de negócios completamente novos como a logística 4PL (ou *Fourth Part Logistics*) com base em IoT.

A idéia principal de estruturas IoT é que “coisas” são capazes de processar informações e interagir entre si e com o ambiente aonde estão inseridas. Dentro desse

conceito, as entidades logísticas inteligentes podem ser as "coisas" (HRIBERNIK et al., 2010).

3.4.2. Entidades logísticas autônomas

O controle autônomo dos processos logísticos significa delegar a tomada de decisões para entidades locais denominadas “entidades logísticas autônomas” (ou objetos logísticos inteligentes). Essas entidades logísticas autônomas são capazes de interagir umas com as outras e podem ser elementos físicos ou não. Os elementos materiais (físicos) de logística podem ser, por exemplo, veículos ou mercadorias, enquanto que os elementos não físicos poderiam ser, por exemplo, uma ordem de entrega (HRIBERNIK et al., 2010).

Na Figura 3.26 é apresentada uma proposta de arquitetura das tecnologias exigidas para as entidades logísticas autônomas (SCHULDT, 2011).

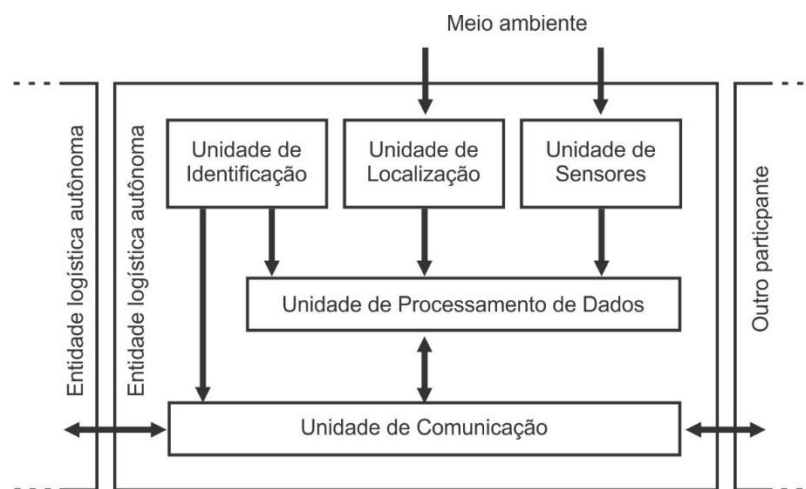


Figura 3.26. Arquitetura de entidades logísticas autônomas (SCHULDT, 2011).

As tecnologias permitem que as entidades apresentem diferentes componentes: Unidade de Identidade Própria, Unidade de Localização, Unidade de Sensores, Unidade de Comunicação e Unidade de Processamento de Dados. As funções de cada uma dessas unidades são descritas por Schuldt (2011):

- **Unidade de identidade** - Fornece os meios para identificar unicamente entidades logísticas. Essa unidade é indispensável porque permite que a

entidade logística autônoma tenha uma identidade única. Além disso, essa unidade possui uma ligação direta com a unidade de comunicação. A identificação de objetos é uma tarefa frequente na logística, por exemplo, durante o transporte ou o recebimento;

- **Unidade de localização** - Monitora a localização atual da entidade de logística para permitir rastreamento das mercadorias transportadas;
- **Unidade de sensores** - Monitora continuamente a condição da carga, seu conteúdo e seu ambiente;
- **Unidade de comunicação** – Realiza a interação com outras entidades autônomas ou outros participantes como seres humanos quando as entidades autônomas devem cooperar com outras, por exemplo, para negociar as capacidades de transporte ou de armazenamento;
- **Unidade de processamento de dados** - Integra todos os dados de sensores recebidos do ambiente e coordena a interação com o mundo exterior. Essa unidade é a parte central das entidades de logística autônoma, pois elas implementam a inteligência para o objeto de logística que representa.

Apesar da importância da unidade de localização e da unidade de sensores, essas partes podem estar ausentes em entidades logísticas autônomas se a informação puder ser adquirida de outra forma (em outros níveis). Schuldt (2011) apresentada dois exemplos relacionados a essa questão dos níveis:

- 1) Uma embalagem de transporte que monitora seu interior e que fornece informações sobre todas as embalagens primárias que estão em seu interior e que possuem, elas próprias, seus próprios sensores. Nesse caso, as unidades sensores estão apenas nas embalagens primárias que comunicam essa informação para a embalagem de embarque que não possui sensores mas transmite as informações.

- 2) Um caminhão que assume a responsabilidade de localizar todas as embalagens de embarque (entidades logísticas) que estão em sua carroceria mas que não possuem a informação a respeito de suas localizações. A unidade de comunicação entre as entidades atua como um substituto das unidades faltantes que compõe o sistema.

As entidades logísticas autônomas devem ser capazes de processar informações, tomar decisões e interagir entre si. Hribernik et al. (2010) descreve de forma bem completa, os requisitos que a entidade deve possuir para ser capaz de tomar decisões: “Primeiro, um mecanismo de tomada de decisão deve ser implementado. Em segundo lugar, esse mecanismo deve ser integrado ao ambiente logístico do objeto. Ou seja, deve ser capaz de avaliar sua situação atual por percepção direta usando sensores ou indiretamente por informações adquiridas de outras fontes. Em terceiro lugar, os meios para implementar as decisões afetando o meio ambiente são essenciais, seja fisicamente por meio de atuadores ou virtualmente através de comunicação. O último refere-se não apenas à aquisição de informações, mas também à propagação de decisões para empresas associadas ou pares dentro da própria organização, bem como a coordenação entre objetos logísticos inteligentes para alcançar metas comuns”.

Dentro do contexto de sistemas IoT, observa-se que a presença de entidades logísticas autônomas é fundamental. No próximo tópico será apresentado o conceito de embalagens inteligentes que podem atuar como entidades logísticas autônomas.

3.5. Embalagens na Logística

A distribuição física de alimentos está intrinsecamente ligada à presença das embalagens uma vez que elas são imprescindíveis para garantir a proteção e preservação de bens de consumo dos centros de produção até o consumidor.

Os principais parâmetros de qualidade de alimentos são: sabor, odor, textura, cor, aparência, composição nutricional e características microbiológicas que podem apresentar sensíveis alterações durante o processo e estocagem.

Com exceção do valor nutritivo, as alterações que podem ocorrer nestes parâmetros podem ser facilmente observadas pelo consumidor antes e/ou durante a ingestão do alimento. De maneira geral, estas alterações podem ser impedidas, retardadas e/ou minimizadas pelo uso de uma embalagem adequada (ROBERTSON, 2016).

As técnicas de preservação de alimentos, entre elas a refrigeração e a utilização de embalagens têm possibilitado a redução de perdas e o aumento da segurança de alimentos.

Para cumprir as funções de conter, proteger, identificar e facilitar a venda e distribuição de produtos, as embalagens apresentam-se em diversos formatos e tamanhos, com possibilidade de utilização de vários tipos de material em sua composição e com desenvolvimento de estruturas com elevada resistência física, química e mecânica.

Um sistema de embalagem é formado pelo conjunto de embalagens utilizadas para um determinado produto (Figura 3.27). Esse sistema pode ser formado, em geral, por uma, duas ou três embalagens. Para alguns produtos específicos, um número maior de embalagens pode ser utilizado, dependendo das necessidades específicas de cada tipo de produto.

Embalagem primária



Figura 3.27. Exemplo de sistema de embalagem composto por embalagem primária e embalagem de transporte.

São inúmeros os trabalhos científicos que abordam especificamente as questões referentes à colaboração das embalagens na distribuição de produtos. Estes estudos exploram o potencial da embalagem em facilitar as etapas de manuseio, movimentação e armazenagem tendo como consequência a melhorias das operações e a redução de custos (KLEVAS, 2005; GARCÍA-ARCA e PRADO-PRADO, 2008; SOHRABPOUR et al., 2012; ARVANITOYANNIS, 2008; PEREIRA, 2007).

Nesse sentido, Lambert et al. (1998) e Peres (2006) afirmam que as embalagens, quando dotadas das informações e das características adequadas de proteção e nível de padronização, possibilitam a redução do tempo de expedição, a diminuição do tempo de efetivação de pedidos, a redução do número de avarias, a melhoria de movimentações como carga/descarga, impactando diretamente nos tempos e de custos envolvidos.

3.5.1. Inteligência em máquinas, dispositivos e produtos

Antes de discutir as definições relacionadas à embalagem inteligente, é importante entender o conceito de inteligência em máquinas, dispositivos ou produtos. Segundo Setzer (2009), a inteligência pode ser classificada de duas formas: criativa ou incorporada. A inteligência criativa é inerente ao ser humano e se refere à capacidade de criar novas idéias e fazer algo útil com elas, conforme defendido pelo sociólogo Domenico di Masi.

Nas máquinas e dispositivos o que se observa é uma inteligência incorporada oriunda de seus projetistas (referente a forma e funcionalidade) e programadores, e que apresenta uma lógica-matemática restrita à matemática algorítmica e discreta. Dessa forma, o autor entende que o conceito de Inteligência atribuída às máquinas deve ser considerado de forma específica uma vez que esses objetos podem avaliar um grupo de dados somente de forma sintática sem lhes dar uma atribuição semântica.

Wong et al. (2002), ao definir as características que um produto deve ter para ser considerado inteligente, apresentou os seguintes itens:

- Possuir uma identidade única;
- Ser capaz de comunicar de forma eficaz com o seu ambiente;

- Ter capacidade de reter ou armazenar dados sobre si;
- Possuir uma linguagem para exibir suas características, requisitos de produção, etc;
- Ser capaz de participar ou tomar decisões relevantes para o seu próprio destino.

Para López et al. (2011) as características seriam:

- Identidade e o armazenamento de quaisquer outros dados relevantes;
- Detectar a sua condição física e seu meio ambiente;
- Atuação sobre dispositivos internos ou externos;
- Tomada de decisão e participação no controle de outros dispositivos ou sistemas;
- Rede para chegar e receber informações através de uma rede com ou sem fio (wireless predominantemente, como fios ou conectores de violar a independência de objetos inteligentes).

Os autores (Wong et al., 2002 e López et al., 2011) descrevem que um objeto que é composto de objetos inteligentes é também um objeto inteligente, e que a sua inteligência é naturalmente uma combinação de todos os seus objetos inteligentes constituintes. Além disso, o nível de inteligência de um dispositivo depende da quantidade de características listadas acima que fazem parte do dispositivo/produto.

McFarlane et al. (2003) define o Produto Inteligente como "uma representação física e baseada em informações de um item para varejo que possui uma identificação única, é capaz de se comunicar efetivamente com seu ambiente, pode reter ou armazenar dados sobre si mesmo, implementa um idioma para exibir suas características, requisitos de produção, etc., e é capaz de participar ou tomar decisões relevantes para o seu próprio destino". O grau de inteligência que um produto inteligente pode exibir varia do processamento de dados simples ao comportamento pró-ativo complexo com capacidade de tomada de decisão.

Existem vários trabalhos que abordam os temas *active packaging*, *smart packaging* ou *intelligent packaging*. Nesses trabalhos observa-se que nem sempre há uma

definição desses termos e em alguns deles existe uma certa “confusão” de termos. A seguir são apresentados alguns dos artigos que definem o conceito de *intelligent packaging*.

Em Goddard et al. (1997), o autor considera que os termos *intelligent packaging* e *smart packaging* tem o mesmo significado e se referem à combinação de materiais avançados e sensores capazes de monitorar seu ambiente operacional em tempo real, e responder apropriadamente.

Schilthuizen (1999) caracteriza o conceito de embalagens com funções inteligentes descritas como sendo identificação, medições sensoriais (sensing), detecção, rastreamento e controle (que pode ser interpretado como o acesso remoto a essas informações).

Para Muredzi (2013), o conceito de embalagem inteligente está vinculado a um grupo de tecnologias acopladas a uma embalagem ou produto que lhe confere inteligência adequada para a autenticidade, a rastreabilidade, a evidência de adulteração, proteção contra roubo e qualidade do produto.

Em Kruijfy et al. (2002) os sistemas de embalagens inteligentes são descritos como sendo aqueles que monitoram a condição dos produtos embalados para dar informações sobre sua qualidade durante o transporte e armazenamento.

Yam et al. (2005) definiu embalagem inteligente como um sistema de embalagem que é capaz de realizar funções inteligentes (tais como a detecção, sensoriamento, gravação, comunicação e aplicação da lógica científica) para facilitar a tomada de decisão de forma a prolongar a vida de prateleira do produto, melhorar a segurança, melhorar a qualidade, prestar informações e avisar sobre possíveis problemas. Dessa forma, a embalagem teria capacidade de monitorar o produto, sentir o ambiente dentro ou fora da embalagem, e se comunicar.

Em Kerry et al. (2006) os termos *intelligent packaging* e *smart packaging* novamente tem o mesmo significado e se referem a embalagens que monitoram as propriedades

do produto e do ambiente e informam sobre elas. O autor também considera que uma embalagem inteligente pode ser usada para avaliar a eficácia de embalagens ativas.

Dainelli et al. (2008) define como sendo embalagens que monitoram a qualidade do produto, identificam pontos críticos, e fornecem informações mais detalhadas ao longo da cadeia de abastecimento.

Segundo a União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2009), embalagens inteligentes possuem um componente que permite o acompanhamento da condição do alimento ou do ambiente que o envolve durante o transporte e armazenamento.

Em Vanderroost et al. (2014) as embalagens inteligentes são descritas como sendo embalagens que têm a capacidade de perceber, detectar, ou gravar as mudanças no produto ou no seu ambiente.

No trabalho de Dobrucka e Cierpiszewski (2014) novamente o termo *intelligent packaging* é considerado o mesmo que *smart packaging* e é definida como sendo uma embalagem que contém indicadores internos e externos para fornecer informações a respeito da história da embalagem e da qualidade do alimento. Os dispositivos acoplados a essas embalagens devem ser capazes de informar sobre a integridade, qualidade e segurança do produto além de serem utilizados para garantir autenticidade, proteger contra roubo e rastreabilidade do produto.

Em Regattieri et al. (2014) os termos *intelligent*, *smart* e *active* são considerados o mesmo conceito para descrever embalagens que incorporaram recursos eletrônicos sensíveis onde os dados são detectados eletronicamente a distância, usando um sistema de identificação automática como a tecnologia RFID.

Considerando-se todos os atributos descritos, observa-se que os trabalhos que abrangem um maior conjunto deles são os artigos de Goddard et al. (1997), Schilthuizen (1999), Muredzi (2013), Kruijfy et al. (2002) e Yam et al. (2005) conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Possíveis atributos de embalagens inteligentes.

Atributos	Goddard et al. (1997)	Schilthuisen (1999)	Muredzi (2013)	Kruijfy et al. (2002)	Yam et al. (2005)
Possuir identidade		X	X		
Monitorar condições do ambiente e do produto	X	X	X	X	X
Possuir sistema de rastreamento		X	X	X	X
Realizar a comunicação	X	X		X	X
Tomar decisão	X				X

3.5.2. Tipos de embalagens inteligentes

Dentro do abordado até o momento, podemos definir que as Embalagens Inteligentes descrevem embalagens que apresentam, de forma parcial ou integral, o conjunto das seguintes características: Identidade Própria, Monitoramento das Condições do Produto e/ou Ambiente, Comunicação, Rastreabilidade e Lógica para Tomada de Decisão (SCHILTHUIZEN, 1999; YAM et al., 2005; DAINELLI et al., 2008; VANDERROOST et al., 2014; DOBRUCKA e CIERPISZEWSKI, 2014; NOLETTO et al., 2014).

Embalagens inteligentes disponíveis no mercado e em desenvolvimento apresentam uma série de tecnologias que permitem à embalagem agir sobre o produto, controlar e documentar parâmetros e interagir com a cadeia de suprimentos e/ou com o consumidor, ampliando os limites de aplicação das embalagens tradicionais. As principais tecnologias hoje disponíveis ou em desenvolvimentos para o segmento de alimentos são apresentadas na Figura 3.28.

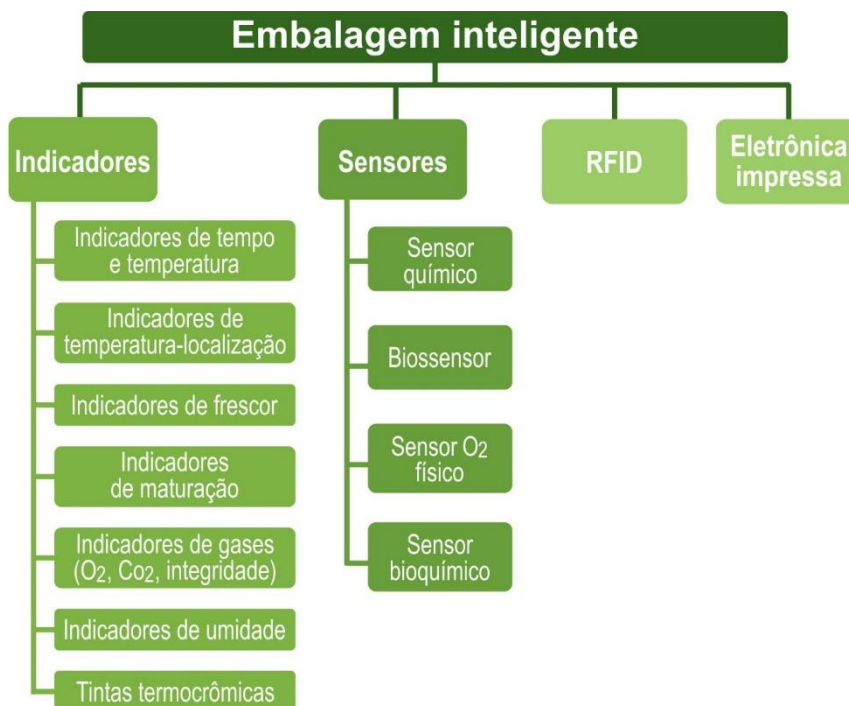


Figura 3.28. Embalagens inteligentes disponíveis no mercado e em desenvolvimento (DEVELOPMENT, 2017)

As principais tecnologias empregadas e/ou em desenvolvimento para embalagens inteligentes atualmente são descritas a seguir:

3.5.2.1. Indicadores

Os indicadores fornecem informação a respeito de uma condição a que o produto está sujeito ou foi submetido, como, por exemplo, exposição a temperaturas muito elevadas. A informação é expressa, em geral, de forma visual, através de mudança de cor ou de sua intensidade e indica a presença ou ausência de uma substância, a extensão de uma reação entre duas ou mais substâncias ou a concentração de uma substância ou classe específica de substâncias. Dentre os principais parâmetros identificados pelos indicadores têm-se: tempo e temperatura, gases (CO_2 , O_2) ou vapores (vapor d'água, etileno) (DAINELLI et al., 2008; VANDERROOST et al., 2014; GHAANI et al., 2016).

Apesar da grande variedade de indicadores, todos podem ser razoavelmente incluídos dentro de três categorias (GHAANI et al., 2016):

- a) Indicadores visuais de temperatura ou de tempo e temperatura: a temperatura geralmente é o fator ambiental mais importante que influencia a deterioração dos alimentos. Há também indicadores de temperatura e geolocalização.
- b) Indicadores de frescor: Os indicadores de frescor fornecem informações imediatas sobre a qualidade do produto com relação ao crescimento microbiano ou a mudanças químicas num alimento (Figura 3.29). A qualidade microbiológica pode ser percebida visualmente por meio de reações entre metabólitos de crescimento microbiano e indicadores integrados dentro da embalagem. Os indicadores de frescor também podem ser usados para fornecer uma estimativa sobre a vida útil restante de produtos perecíveis (VANDERROOST et al., 2014).



Figura 3.29. Exemplo de Indicador de Frescor (ONVU, 2017).

- c) Indicadores de gases: Os indicadores de gases fornecem informações qualitativas ou semi-quantitativas sobre modificações da composição da atmosfera do espaço-livre da embalagem (CO₂, O₂, vapor de água etc.) através de mudanças colorimétricas visuais, o que é muito útil em sistemas de atmosfera modificada (MAP) (VANDERROOST et al., 2014).

3.5.2.2. Sensores

São usados para detectar, localizar ou quantificar energia ou matéria, fornecendo um sinal para a medição de uma propriedade física ou química. Esses dispositivos podem enviar de forma remota essas informações, além de coletar e armazenar dados.

Os sensores são considerados uma tecnologia promissora e inovadora para o futuro dos sistemas de embalagem inteligentes. Um sensor é um dispositivo ou sistema composto por controlador e processador eletrônicos, uma rede de interconexão e um *software*. Na prática, um sensor responde a uma quantidade química ou física para produzir uma saída quantificável proporcional à medida. Além de coletar e armazenar dados, esses dispositivos podem enviar de forma remota essas informações.

As tecnologias de sensores mais avançadas que podem ser utilizadas em embalagens inteligentes pertencem a dois grupos principais: biossensores e sensores de gás (VANDERROOST et al., 2014; GHAANI et al., 2016). A principal diferença entre sensores químicos e biossensores reside na camada de reconhecimento. Enquanto nos sensores químicos o receptor é um composto químico, a camada de reconhecimento de biossensores é feita de materiais biológicos, como enzimas, anticorpos, antígenos, fagos e ácidos nucleicos (WANG, 2006).

3.5.2.3. Etiquetas RFID

As etiquetas RFID (*Radio Frequency IDentification*) são o exemplo de um dispositivo de suporte de dados. Um sistema RFID inclui três elementos principais: a) uma etiqueta formada por um microchip conectado a uma minúscula antena; b) um leitor que emite sinais de rádio e recebe respostas da etiqueta em troca e c) um *middleware* (uma rede local, servidor *web*, etc.) que faz a ponte entre o *hardware* RFID e as aplicações empresariais. Dois recursos importantes da tecnologia RFID são: a elevada variedade de códigos que podem ser armazenados na etiqueta e a possibilidade de transferir e comunicar informações mesmo em uma longa distância (acima de 100 metros), melhorando assim as operações automáticas de identificação e rastreabilidade.

Os mais diversos tipos de sensores (temperatura, umidade relativa, pressão etc.) podem ser acoplados as etiquetas RFID permitindo uma expansão da funcionalidade dessas etiquetas além da identificação e rastreabilidade da carga (Figura 3.30).



Figura 3.30. Etiquetas RFID com sensores aplicados através de eletrônica impressa em filmes plásticos (THIN FILM ELECTRONICS, 2017).

A utilização de sistemas RFID em embalagens apresenta novas possibilidades para a área de logística. Os dados obtidos incluem desde o rastreamento da carga, o monitoramento de características ambientais como temperatura, umidade relativa e concentração de gases até o registro das acelerações provocadas pelo modal de transporte, obtidos por sensores que podem ser acoplados à etiqueta. Como resultado, é possível gerar relatórios completos sobre o que ocorre com a embalagem/produto ao longo da distribuição (GHAANI et al., 2016; NOLETTTO et al., 2014).

Embalagens inteligentes que agregam todos os atributos descritos na Tabela 3.1 apresentam também as principais características de entidades logísticas autônomas (ou agentes autônomos) e, representam entidades dentro de um sistema de distribuição física. Este trabalho desenvolve uma pesquisa experimental baseada em uma abordagem de modelagem e simulação baseada em agentes (ABMS) para avaliar o comportamento dessas embalagens na logística de distribuição de produtos refrigerados.

3.6. Embalagens Inteligentes como Agentes Autônomos

O desenvolvimento de projetos conceituais e/ou a construção entidades inteligentes no mundo real podem ser mais facilmente executados com uso de agentes virtuais (computacionais) (HIBERNIK, 2010).

Segundo Hibernik (2010) “A construção de estruturas heterárquicas com sistemas de decisão autônoma, através de sistemas multiagentes, têm se tornado mais fácil através do mapeamento natural da entidade do mundo real que representa o agente e da disponibilidade de ferramentas (*softwares*) para desenvolvimento de agentes. Novas abordagens para o controle autônomo que foram implementadas em termos de comportamentos de agentes podem então ser comparadas com a simulação baseada em multiagentes para receber indicações sobre quais cenários e em que medida o controle autônomo pode ser introduzido de forma benéfica para a operação do mundo real”.

3.6.1. Agentes autônomos

Ferber et al. (2003) descrevem um agente autônomo como “entidade real ou abstrata” que é capaz de agir num ambiente, de se comunicar com outros agentes, que é movido por um conjunto de inclinações; que possui recursos próprios; que é capaz de perceber o ambiente; que dispõe de uma representação parcial do ambiente; que possui competência e oferece serviços; que pode eventualmente se reproduzir e cujo comportamento tende a atingir seus objetivos utilizando competências e os recursos que dispõe, e levando em conta os resultados de suas funções de percepção e comunicação, bem como suas representações internas.”

Segundo Wooldridge e Jennings (1995) essa diversidade na definição do conceito de agentes ocorre, pois, as diferentes características que os definem são mais ou menos relevantes em função da área de estudo na qual os agentes estão sendo aplicados.

Para Jennings et. al (1998) um agente é “um sistema de computador, situado em algum ambiente, que é capaz de ação autônoma flexível, a fim de cumprir seus objetivos de projeto”. Para validar essa definição, os autores consideram que existem três conceitos chaves que definem um agente: contextualização, autonomia e flexibilidade.

- Contextualização. O agente deve perceber e reagir ao ambiente ao qual está inserido;

- **Autonomia.** O agente ou o sistema multiagentes deve ser capaz de agir sem a intervenção direta de pessoas (ou outros agentes), apresentando controle sobre si próprio e suas ações;
- **Flexibilidade.** Capacidade de responder com agilidade às mudanças do ambiente, apresentar um comportamento voltado para objetivos, e interagir com outros agentes para resolução de problemas próprios ou do grupo de agentes que fazem parte do sistema ao qual está inserido (WOOLDRIDGE e JENNINGS, 1995)

Para Macal and North (2010), um agente pode possuir atributos adicionais como:

- Ser adaptável contendo regras ou mecanismos mais abstratos que modificam seus comportamentos;
- Capacidade de aprender e adaptar os seus comportamentos com base em suas experiências acumuladas;
- Ser dirigido por objetivos, tendo metas a atingir (não necessariamente objetivos para maximizar) no que diz respeito aos seus comportamentos. Isso permite que um agente possa comparar o resultado das suas condutas em relação a seus objetivos e ajustar suas respostas e comportamentos em interações futuras;
- Ser heterogêneos. Ao contrário da simulação de partículas que consideram as partículas relativamente homogêneas, as simulações por agente muitas vezes consideram a uma diversidade dos agentes presentes em uma população;
- Possuir extensão da memória com base nos eventos passados. O agente mantém e usa essa memória na tomada de suas decisões (MACAL e NORTH, 2006).

A Figura 3.31 apresenta uma representação de um agente.



Figura 3.31. Agente típico (MACAL e NORTH, 2006).

O objetivo do desenvolvimento do conceito de agentes e de sistemas multiagentes é a obtenção de resolução de problemas complexos que precisam de soluções não tradicionais (WOOLDRIDGE e JENNINGS, 1995).

3.6.2. Modelagem e Simulação Baseada em Agentes (*Agent-Based Modeling and Simulation – ABMS*)

Carson e Maria (1997) definiram a simulação como “um teste ou uma série de testes nos quais mudanças significativas são feitas para as variáveis de entrada de um modelo de simulação para que possamos observar e identificar as razões para mudanças na variável (ou variáveis) de saída. Um modelo geral de simulação compreende as n variáveis de entrada ($x_1, x_2, \dots, x_n$) e as m variáveis de saída ($y_1, y_2, \dots, y_m$)” conforme representado na Figura 3.32.

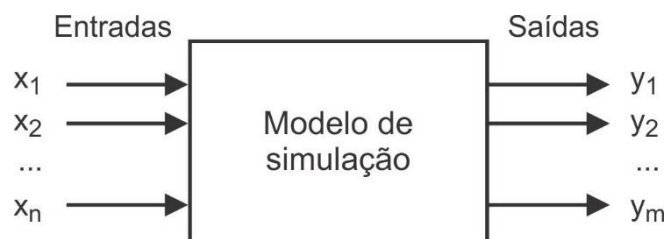


Figura 3.32. Modelo geral de simulação (CARSON e MARIA, 1997).

Para Sokolowski e Banks (2009) um **modelo** é a representação de um sistema real, enquanto que a **simulação** é uma metodologia aplicada que pode descrever o comportamento desse sistema usando um modelo matemático ou um modelo simbólico. A simulação é simplesmente uma imitação da operação de um processo de mundo real ou sistema ao longo de um período de tempo.

Para Maria (1997) a **simulação** de um sistema é a operação de um **modelo** do sistema. A vantagem da construção de um modelo para realização de uma simulação é que o mesmo pode ser reconfigurado e experimentado (testado) várias vezes, o que dificilmente poderia ser feito no sistema real. Através das simulações, o modelo pode ser estudado e as propriedades relativas ao comportamento real do sistema podem ser inferidas. Na Modelagem e Simulação Baseada em Agentes (*Agent Based Modeling and Simulation - ABMS*) o conceito principal é a utilização de agentes autônomos no entendimento e solução de fenômenos simples ou complexos que ocorrem dentro de um sistema (SAMUELSON e MACAL, 2006).

A simulação ABMS se fundamenta na possibilidade de mudança de comportamento dos agentes (entidades) em função das condições do sistema/ambiente no qual ele está inserido. A sua aplicação abrange diversas áreas, que vão desde mercado de ações a cadeias de suprimentos (SAMUELSON e MACAL, 2006).

Os Modelos baseados em Agentes (*Agent Based Model – ABM*) são simulações realizadas através de computadores, nas quais, a dinâmica de um sistema é modelada em relação aos indivíduos (agentes) que realizam suas operações. Na ABM os agentes interagem uns com os outros e com o ambiente e, o que eles fazem depende das relações estabelecidas entre eles (MALANSON e STEPHEN, 2015).

Em relação aos outros métodos de modelagem, a ABMS apresenta a vantagem de permitir uma modelagem mais intuitiva da estrutura do sistema em estudo uma vez que, em geral, é mais fácil descrever o comportamento dos agentes individuais do que descrever o comportamento de todo o sistema. Sua utilização é mais voltada para lidar com sistemas complexos, caracterizados por um grande número de entidades agindo individualmente. A similaridade entre o sistema real e o modelo, no que diz

respeito à estrutura e às interações existentes, é o aspecto mais interessante dos modelos baseados em agentes. A aplicação prática da simulação multiagente necessita de sistemas computacionais eficientes (SIEGFRIED, 2014).

A modelagem do ambiente é um fator fundamental na ABMS. Segundo Loureiro (2014), a ABMS possui duas estruturas básicas: o ambiente e os agentes. No ambiente se encontram os elementos físicos e os agentes do modelo e, também, a dinâmica global do modelo combinando os efeitos da influência individual de cada agente. Entre as responsabilidades do ambiente estão:

- Refletir e gerir a estrutura do arranjo físico e social do sistema global;
- Apoiar a regulamentação do acesso aos objetos e partes do sistema que não são modelados como agentes;
- Apoiar a percepção do agente e situar a ação;
- Manter a dinâmica interna;
- Definir e aplicar as regras.

Uma boa descrição do ambiente onde os agentes irão interagir tem importância primordial na construção do modelo de simulação baseada em agentes. Usualmente a descrição do ambiente e suas interações não é realizada com o rigor necessário, em função das dificuldades de se descrever o ambiente. Uma forma de superar este obstáculo é representar o ambiente em função de seus comportamentos e interações/coordenações entre os agentes (LOUREIRO, 2014).

3.6.3. Coordenação entre Agentes

Em um ambiente compartilhado, a coordenação entre os agentes existe para que sejam evitadas operações estranhas ao ambiente, para que haja um melhor uso dos recursos, para evitar a ocorrência de bloqueios e impasses, e para manter as condições de segurança (HUHNS e STEPHENS, 1999, NWANA e JENNINGS, 1996).

Segundo descrito por Huhns e Stephens (1999), “os agentes se comunicam a fim de alcançar melhores objetivos de si mesmos ou do sistema no qual estão inseridos através da coordenação de suas ações e comportamentos, resultando em sistemas mais coerentes”.

Dessa forma, a **Coerência** é descrita como sendo o quanto esse (sistema) se comporta como uma unidade. Em sistemas multiagente, apesar do agente não ter um controle sobre tudo, ele pode manter a coerência global do sistema através dos próprios os objetivos que compartilha com outros agentes, das tarefas comuns e evitando conflitos (HUHNS e STEPHENS, 1999).

A coordenação pode ocorrer de duas formas: por **Cooperação** ou por **Competição** (Huhns & Stephens, 1999). Na cooperação os agentes compartilham dos mesmos objetivos, enquanto na Competição os agentes têm interesses próprios (Oliveira, 2003). A Figura 3.33 ilustra as diferentes formas de coordenação entre os agentes.

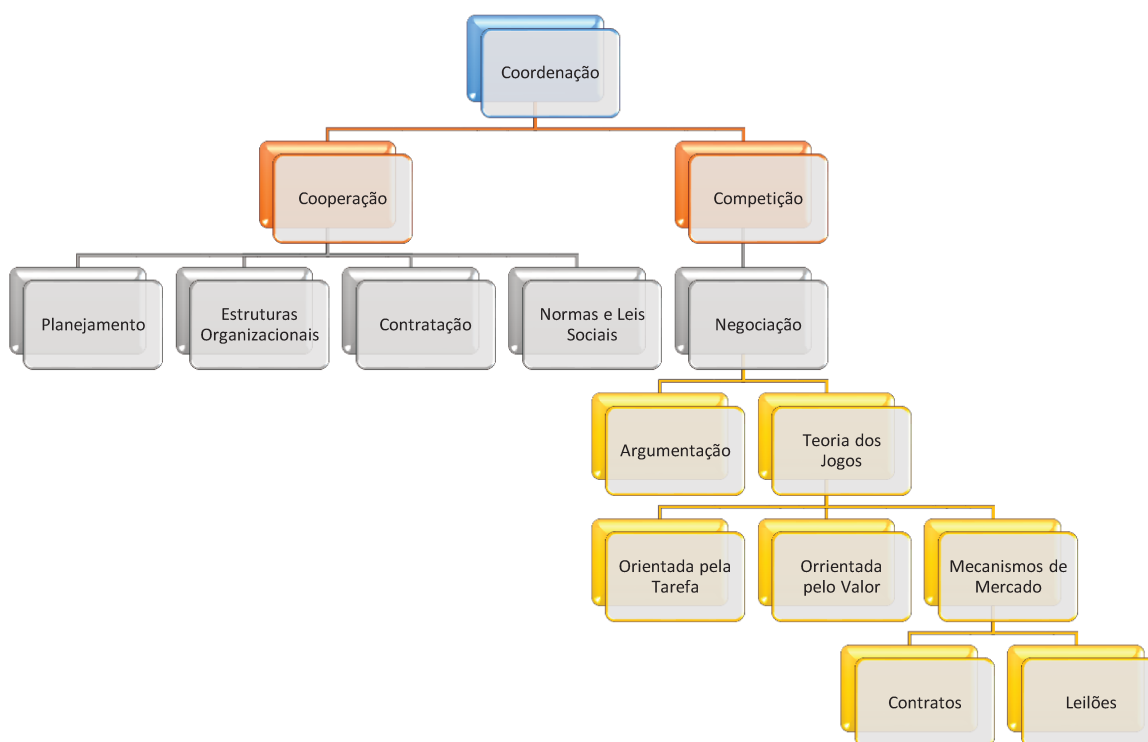


Figura 3.33. Tipos de Coordenação (OLIVEIRA, 2003).

Os protocolos de interação entre os agentes são os mecanismos que regem a coordenação, tanto para a cooperação quanto para a competição (OLIVEIRA, 2003 e HUHNS e STEPHENS, 1999).

3.6.3.1. Tipos de Coordenação por Cooperação

Segundo descrito por Oliveira (2003), para realizar uma determinada tarefa a operação de Cooperação é composta de duas fases: Na Fase 1, ocorre uma decomposição da tarefa em tarefas menores (subtarefas) e na Fase 2 ocorre a distribuição das subtarefas entre os agentes que cooperam entre si.

No trabalho de Oliveira (2003) são descritas as diferentes estratégias de cooperação para execução de tarefas:

- **Planejamento** – O planejamento pode ocorrer de forma centralizada ou descentralizada. No **planejamento centralizado**, um agente coordenador é responsável pela geração do plano e sua execução. No **planejamento distribuído**, cada agente está ciente dos planos dos outros agentes e age em conformidade (OLIVEIRA, 2003).
- **Estruturas organizacionais** – Nessa abordagem são definidas as funções de cada agente, as formas de comunicação e as relações de autoridade entre eles (OLIVEIRA, 2003)
- **Contratos** – Nos contratos há uma definição de que um agente não consegue resolver um determinado problema usando os recursos/conhecimento local. Esse agente divide o problema em subproblemas e emite uma solicitação de lances para os múltiplos agentes. Uma vez que recebe as repostas dos agentes, o solicitante avalia as propostas e decide qual é o agente com a melhor proposta (OLIVEIRA, 2003; PEREIRA e GOMES, 2004).
- **Normas e Leis Sociais** - Nesta situação, a cooperação é alcançada por cada agente seguindo um padrão de comportamento esperado ou estabelecido, conhecido como normas, desenvolvido dentro da sociedade e que se espera que seja seguido por cada um dos seus membros (OLIVEIRA, 2003).

3.6.3.2. Tipos de Coordenação por Competição

Quando agentes com objetivos diferentes precisam interagir para atingir acordos de interesse mútuo, esse processo é chamado de **Negociação**. Os agentes primeiro informam sobre suas posições e tentam chegar a um acordo fazendo concessões ou buscando alternativas. As propostas que cada agente faz são definidas por sua estratégia e devem seguir um protocolo (WOOLDRIDGE e JENNINGS, 2001).

A Negociação se divide em duas abordagens: Teoria dos Jogos e Argumentação. Na **Teoria dos Jogos** não há uma preocupação referente a forma como as alternativas e os valores de utilidade são obtidos, mas sim com quais alternativas devem ser selecionadas no caso de múltiplos tomadores de decisão. Na **Argumentação**, um agente tenta convencer o outro ou outros sobre seus pontos de vista. Isso é feito através da troca de proposições (argumentos), com justificativas, sobre o motivo pelo qual os argumentos estão sendo aceitos ou rejeitados (OLIVEIRA, 2003).

Dentro da Teoria dos Jogos os mais importantes tipos de negociação são descritos a seguir:

- **Mecanismos de mercado** - eles implementam estratégias geralmente usadas em mercados ou empresas. Esta abordagem é dividida em **Contratos e Leilões**.
- O **Contrato** é considerado um dos métodos mais reconhecidos de coordenação para atribuição de tarefas e recursos entre agentes. Inicialmente utilizado apenas como um mecanismo de negociação, sua aplicação foi considerada um método de coordenação mais abrangente (PEREIRA e GOMES, 2004).
- Nos **Leilões**, o objetivo do leiloeiro (a entidade que aloca os bens ou serviços) é maximizar o preço no qual os bens serão vendidos, enquanto que para os licitantes (as entidades que querem os bens ou serviços), o objetivo é minimizá-lo. Os tipos mais importantes de leilões são: Inglês, Holandês e Vickrey (OLIVEIRA, 2003).

- **Orientados para Tarefa** - Embora os agentes possam ter todos os recursos e habilidades para realizar suas tarefas sem a ajuda ou interferência mútua, podem se beneficiar com o compartilhamento de algumas das tarefas. As tarefas do agente são explicitamente definidas, bem como o custo deles, que o agente tenta minimizar (OLIVEIRA, 2003).
- **Orientado para Valor** - Neste caso, a negociação ocorre para maximizar o valor do agente. Os vários estados que podem ser alcançados pelo agente são quantificados por uma função de valor. O agente usa esta função de valor para negociar com os outros agentes para gerar o estado com o maior valor (OLIVEIRA, 2003).

CAPÍTULO 4. CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL DE USO DE EMBALAGENS INTELIGENTES E IoT NAS CADEIAS DE ALIMENTOS DO BRASIL

A caracterização do cenário atual de uso de embalagens inteligentes e IoT nas cadeias de alimentos do Brasil e avaliação do potencial de uso dessas embalagens na logística urbana foram realizadas através da aplicação de questionários tipo *Survey* e entrevistas.

Conforme descrito por Gil (2010), os Levantamentos/Entrevistas realizados se referem à “solicitação de informações a um grupo significativo de pessoas acerca do problema estudado para, em seguida, mediante análise quantitativa, obter as conclusões correspondentes aos dados coletados”. Freitas et al. (2000) descreve que, a definição da escolha da estratégia para obtenção das informações em uma pesquisa, deve levar em consideração, entre outros aspectos, o tamanho da amostra (número de respondentes necessários para confiabilidade dos resultados), além dos custos e tempo envolvidos na sua aplicação.

No trabalho de caracterização do cenário atual de uso de embalagens inteligentes e IoT, nas cadeias de alimentos do Brasil, foram aplicados questionários do tipo *Survey* enviados para profissionais da área de logística das principais empresas de alimentos do Brasil. Antes do envio dos questionários por e-mail foi realizado um contato prévio com os profissionais para que eles tivessem conhecimento da pesquisa e entendessem a importância de sua colaboração. Após uma seleção, foram identificadas as 20 maiores empresas (em vendas), para envio dos questionários. Entre as 20 empresas, 13 delas responderam representando 75,3% da indústria de alimentos do país (vendas em US\$), sendo que dessas 13 empresas, 4 delas estão entre as maiores empresas de alimentos do mundo.

Para a formulação do questionário foram consideradas algumas das informações obtidas na revisão da literatura referentes aos conceitos/definições de embalagens inteligentes e sistemas IoT. O questionário é apresentado como Anexo 1 deste trabalho.

Como resultado dessa pesquisa foi elaborado o **Artigo 1 - “*Intelligent Packaging and the Internet of Things in Brazilian Food Supply Chains: the Current State and Challenges*”**. Este artigo foi apresentado no *5th International Conference on Dynamics in Logistics - LDIC 2016* realizado na cidade de Bremen na Alemanha.

Noletto, Ana Paula Reis, Sérgio Adriano Loureiro, Rodrigo Barros Castro e Orlando Fontes Lima Júnior. "*Intelligent Packaging and the Internet of Things in Brazilian Food Supply Chains: The Current State and Challenges.*" In: **Dynamics in Logistics**, pp. 173-183. Springer, Cham, 2017.

O artigo completo é apresentado como Anexo 2. Parte dos resultados levantados através dos questionários é apresentada na Figura 4.1.

No trabalho de avaliação do potencial de uso dessas embalagens na logística urbana foram realizadas entrevistas semiestruturadas com a ajuda de um roteiro previamente elaborado (Manzini, 2012). Foram escolhidos gestores públicos de cidades brasileiras que apresentam grandes desafios na logística urbana: Campinas, Guarulhos e São Paulo. Estas três cidades possuem um PIB per capita superior às médias do Brasil (R\$ 27.229,00) e do Estado de São Paulo (R\$ 30.800,00), com valores de R\$ 38.926,69; R\$ 35.893,99; e R\$ 43.894,63 respectivamente.

Para formulação do roteiro foram consideradas algumas das informações obtidas na caracterização do cenário atual de uso de embalagens inteligentes e IoT nas cadeias de alimentos do Brasil.

Como resultado dessa pesquisa foi elaborado o **Artigo 2 - “*Potential use of intelligent packaging in urban logistics: Public and private sectors’ vision*”**. Este Artigo foi apresentado no *XIX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística - PANAM 2016* realizado na cidade do México.

Noletto, Ana Paula Reis, Sérgio Adriano Loureiro, Rodrigo Barros Castro, and Orlando Fontes Lima Júnior. "*Potential use of intelligent packaging in urban logistics: Public*

and private sectors' vision". **Anais do XIX Congresso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística**, pp. 488-493. 2017. México.

O artigo completo é apresentado como Anexo 3.

Os resultados apresentados na Figura 4.1 demonstram que os atributos considerados mais relevantes para os profissionais da área de logística, que atuam em empresas fabricantes de alimentos, são a rastreabilidade, o monitoramento das condições do ambiente e o monitoramento das condições do produto. Para esses atributos, a soma dos níveis de importância "Muito importante" e "Muitíssimo importante" somaram respectivamente 92,3%, 84,6% e 100%.

Em relação à Tabela 4.1, os resultados mostram que para os três gestores públicos entrevistados, um dos os principais problemas da logística urbana é a falta de uma infraestrutura adequada para as operações de carga e descarga. Em relação ao compartilhamento das informações oriundas de embalagens inteligentes, o Gestor 1 que desconhecia o conceito dessas embalagens não visualiza a possibilidade desse tipo de compartilhamento. Já para os outros dois gestores que conheciam o conceito de embalagens inteligentes, esse compartilhamento pode ser aplicado. Os três gestores consideram que, caso ocorra esse tipo de compartilhamento, as contribuições seriam muito relevantes em relação aos quesitos: 1) Monitoramento das condições do tráfego; 2) Uso de vagas para carga e descarga; 3) Informações sobre o veículo; 4) Informações sobre o tipo de carga.

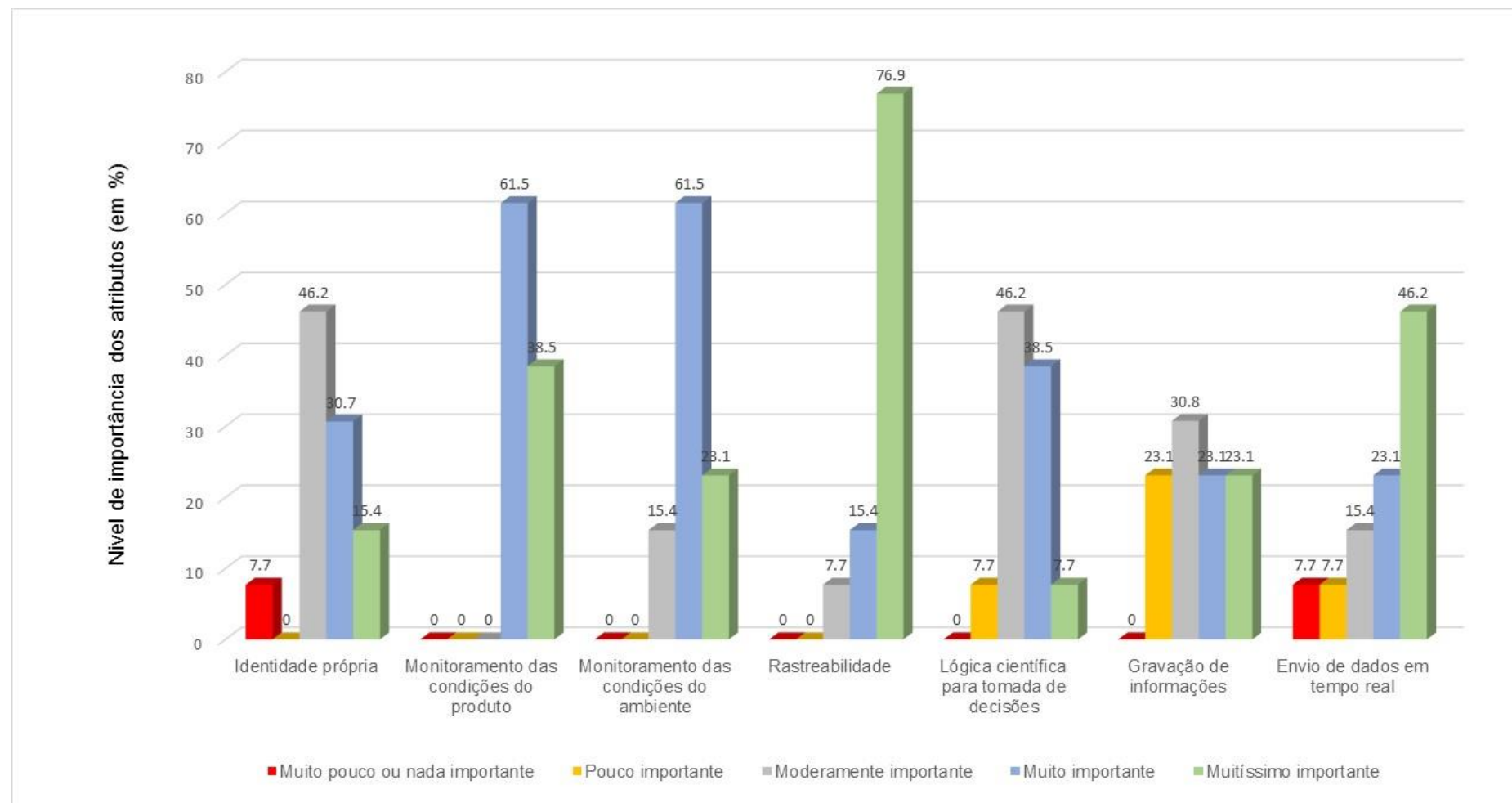


Figura 4.1. Nível de importância dos atributos.

Tabela 4.1. Resumo das entrevistas com gestores públicos.

Perguntas	Respostas		
	Gestor 1	Gestor 2	Gestor 3
Quais os principais problemas oriundos da logística urbana na sua cidade	Dificuldades na distribuição das cargas junto aos estabelecimentos comerciais	Falta de infraestrutura e roubo de carga	Grande desperdício de recursos devido a disputa de espaço urbano entre cargas e pessoas, falta de espaço para carga e descarga e falta de coordenação geral das entregas e recebimentos
Você conhece o Conceito de Embalagens Inteligentes?	Não. (Nesse caso o entrevistado foi informado sobre o conceito de EI)	G2 – Sim. (Rastreamento e sustentável)	Não. (Nesse caso o entrevistado foi informado sobre o conceito de EI)
Você acredita que possa haver um compartilhamento de dados oriundos das EI entre o setor público e privado?	Não	Sim	Acredita, e acha que é o futuro próximo. Citando exemplo de pesquisas realizadas em conjunto com o setor privado para organizar a circulação da carga em áreas urbanas
Dentre as possibilidades de colaboração citadas abaixo, qual o nível de contribuição que as EI podem proporcionar (sendo 1 = pouca contribuição e 5 muitíssima contribuição)			
1) Monitoramento das condições do tráfego	Nota 5	Nota 5	Nota 4
2) Uso de vagas para carga e descarga	Nota 5	Nota 5	Nota 4
3) Informações sobre o veículo	Nota 5	Nota 5	Nota 5
4) Informações sobre o tipo de carga	Nota 5	Nota 5	Nota 5

CAPÍTULO 5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Os itens 5.1 a 5.4 apresentam a aplicação da metodologia. No item 5.1 é feita uma identificação de critérios para definição dos atributos de uma embalagem inteligente. Com base nesses critérios é feita uma proposta conceitual de uma embalagem de embarque inteligente dentro do conceito de entidade logística autônoma e desenvolvido um protótipo físico de dispositivo inteligente conforme apresentado no item 5.2. No item 5.3 são descritos os experimentos realizados para obtenção de curvas térmicas em câmara refrigerada e os resultados obtidos, com a utilização de termopares e do protótipo de dispositivo inteligente. As curvas obtidas são aplicadas na Modelagem e Simulação baseada em Agentes descrita no item 5.4. Esse item também apresenta uma descrição do modelo e as lógicas de interação entre os agentes visando a melhoria do desempenho térmico de produtos refrigerados.

5.1. Critérios para definição dos atributos de uma embalagem inteligente

De acordo com Phaal et al. (2001), as empresas estão conscientes de que a implementação de tecnologias deve ser acompanhada por uma análise crítica de custos, complexidade e vantagens competitivas. Os recursos tecnológicos devem ser alinhados com os objetivos comerciais atuais e futuros. Este preceito também se aplica ao setor de alimentos refrigerados, no qual a introdução de tecnologias deve atender às necessidades específicas de cada empresa de acordo com seu tamanho, demanda e tipo de produto etc.

Nesse contexto, esse trabalho sugere que a definição do conjunto de atributos que uma embalagem inteligente possui para realizar o monitoramento de alimentos refrigerados, deve levar em consideração os seguintes critérios:

- 1) Identificação das tecnologias disponíveis e aplicação;
- 2) Avaliação dos custos envolvidos nas tecnologias utilizadas em relação ao valor agregado do produto alimentício;
- 3) Identificação de oportunidades e desafios do mercado de embalagens inteligentes

5.1.1. Identificação das tecnologias disponíveis e aplicações

Conforme descrito no item 3.5.2 da Revisão da Literatura, entre as principais tecnologias hoje disponíveis ou em desenvolvimento para o segmento de alimentos estão os indicadores, os sensores e as etiquetas RFID.

As pesquisas sobre uso de indicadores estão quase que totalmente voltados ao uso em embalagens primárias, necessitando de: a) contato direto com a atmosfera dentro da embalagem (próximo ao alimento) ou; b) serem incorporados ao material de embalagem ou; c) estarem impressos na embalagem para reagir às mudanças de temperatura, reações metabólicas etc., que podem ocorrer com o alimento. Essa tecnologia não possibilita o envio de dados em tempo real, sendo necessária uma avaliação visual posterior da resposta apresentada pelo indicador.

Já a aplicação de sensores e etiquetas RFID pode ser feita tanto em embalagens primárias quanto em embalagens secundárias (embalagens de embarque/transporte) uma vez que suas leituras não dependem exclusivamente de um contato mais direto com o alimento. Esses recursos podem ser agregados a outras tecnologias mais sofisticadas como sistema de rastreamento (GPS) e sistema de comunicação, além de microprocessadores mais complexos para processamento de dados e implementação de lógicas de interação. Através do uso dessas tecnologias é possível o envio de dados em tempo real, permitindo a intervenção durante a ocorrência de desvios (exemplo: flutuação de temperatura acima dos limites desejados) e evitando as perdas de produtos.

5.1.2. Avaliação dos custos envolvidos nas tecnologias utilizadas em relação ao valor agregado do produto alimentício

O alto custo ainda é uma das maiores barreiras para adoção das embalagens inteligentes e se refere à implementação de tecnologias especializadas e, frequentemente, sofisticadas. Os componentes inteligentes ainda representam uma parcela significativa do custo total da embalagem. Dentro desse contexto, a definição dos atributos de uma embalagem inteligente para alimentos refrigerados, assim como de qualquer outro tipo de embalagem, deve levar em conta o valor agregado do produto nela acondicionada, sendo que, entre as principais categorias de alimentos

refrigerados podemos destacar: carnes frescas (carne vermelha, carne de frango, carne de porco e peixes), frutas, hortaliças, laticínios (como margarinas, iogurtes e sobremesas lácteas) e frutos do mar (DAINELLI et al., 2008; RESTUCCIA et al., 2010).

5.1.3. Identificação das principais oportunidades e desafios para as embalagens inteligentes para alimentos no Brasil

A definição dos atributos de uma embalagem inteligente também deve considerar algumas das principais oportunidades e desafios enfrentados por esse setor no Brasil. Para esse levantamento, foi realizada uma pesquisa junto a cinco profissionais da área de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de embalagens que atuam entre as dez maiores empresas fabricantes de alimentos do Brasil, e que possuem produtos que fazem uso da cadeia do frio. Os profissionais responderam a uma pesquisa do tipo *Survey* contendo 12 perguntas sendo que algumas delas eram perguntas de múltipla escolha. Os principais resultados dessa pesquisa são apresentados nas Figuras 5.1 a 5.4 e discutidos a seguir.

Em relação ao nível de importância dos atributos de uma embalagem inteligente apresentado na Figura 5.1, o maior nível de concordância entre os profissionais é a respeito da necessidade de “Lógica científica para tomada de decisões”, no qual quatro dos profissionais consideraram “Moderadamente importante”. Em relação ao atributo “Monitoramento das condições do produto”, três profissionais consideraram “Muitíssimo importante”.

Para o grau de impacto das embalagens nas atividades logísticas, a maior concordância e a maior importância foram dadas à “Identificação de pontos críticos da cadeia que impactam na qualidade e/ou preservação do produto”.

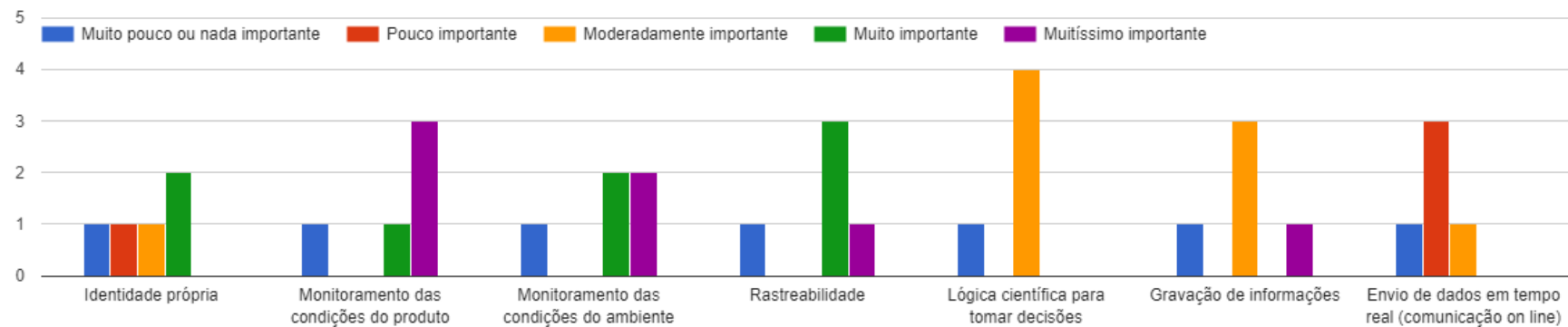


Figura 5.1. Nível de importância dos atributos de uma embalagem inteligente.

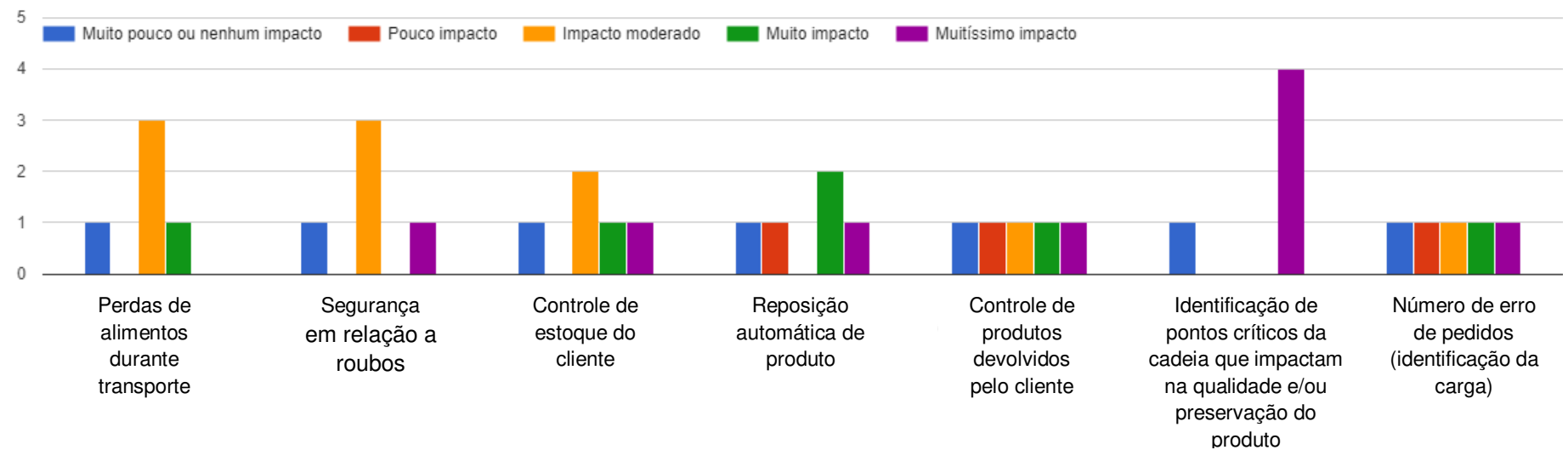


Figura 5.2. Grau de impacto (que você espera) nas atividades logísticas.

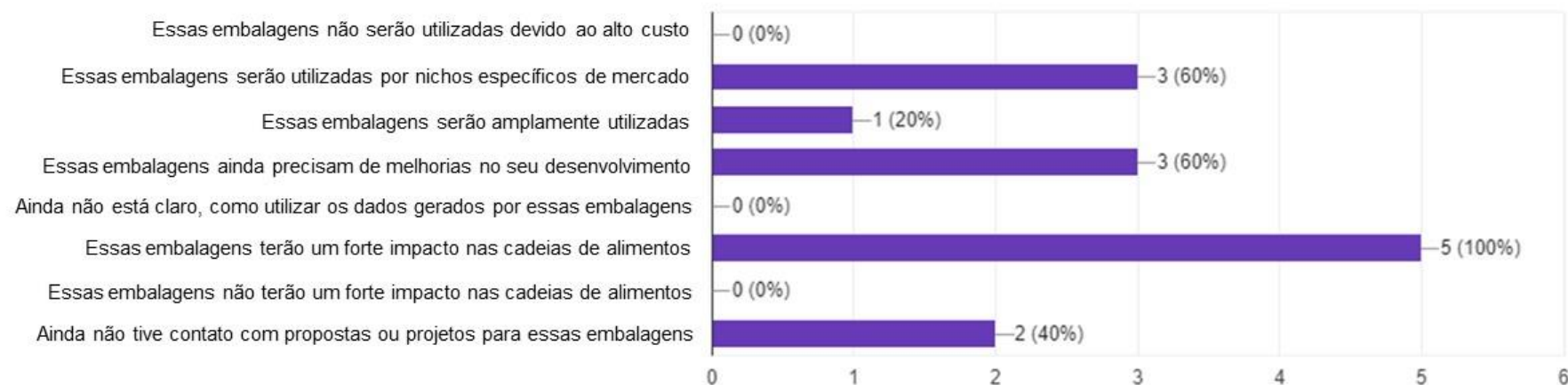


Figura 5.3. Opinião em relação aos projetos de embalagens inteligente com os quais o profissional teve contato.

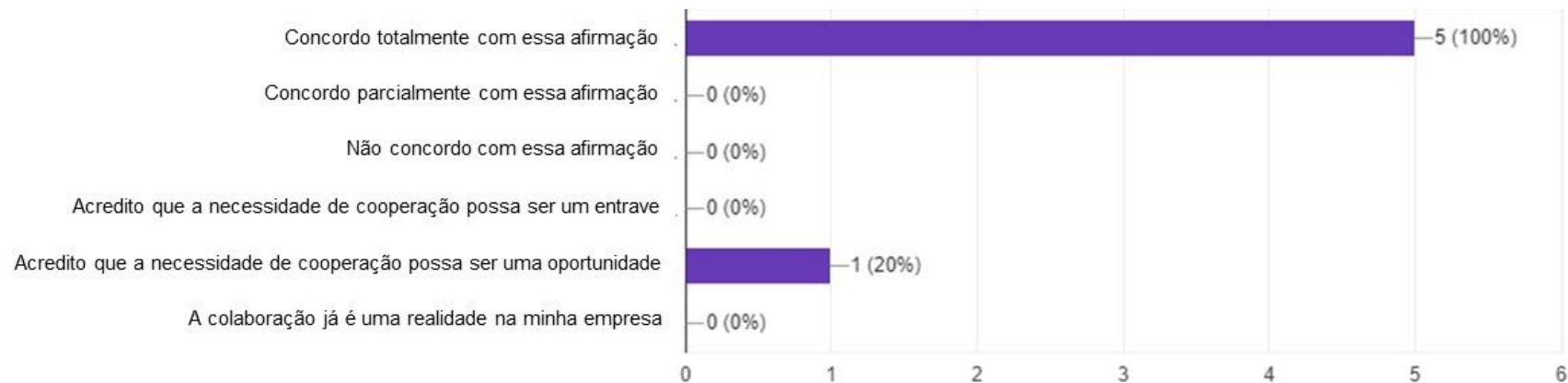


Figura 5.4. Opinião em relação à afirmação “A utilização de embalagens inteligentes exige uma melhor cooperação entre os diferentes setores de uma empresa de alimentos (exemplo: Setores de Embalagem, Logística e Qualidade)”.

Sobre “os projetos de embalagens inteligentes com os quais o profissional teve contato”, todos entrevistados acreditam que as embalagens inteligentes terão forte impacto sobre as cadeias de alimentos, mesmo para o profissional que ainda não teve contato com projetos sobre o tema.

As maiores concordâncias entre os profissionais foram sobre as afirmações “Essas embalagens serão utilizadas por nichos específicos de mercado” e “Essas embalagens ainda precisam de melhorias no seu desenvolvimento”. Em relação à afirmação “A utilização de embalagens inteligentes exige uma melhor cooperação entre os diferentes setores de uma empresa de alimentos (exemplo: Setores de Embalagem, Logística e Qualidade)”, todos os profissionais concordam totalmente.

5.2. Embalagem de embarque inteligente

Uma vez que foram avaliados os critérios para definição dos atributos de uma embalagem inteligente, esse trabalho propõe uma embalagem de embarque inteligente para produto refrigerado com alto valor agregado (ex: categorias de carne bovina *premium*). Essa proposta se baseia no acoplamento de um dispositivo inteligente às embalagens de embarque, conferindo a essas embalagens um conjunto de tecnologias e lógicas de decisões necessárias para o monitoramento de alimentos refrigerados, conforme ilustrado na Figura 5.5.



Figura 5.5. Conjunto embalagem de embarque e dispositivo inteligente.

Provida de sensores, sistema de comunicação e uma unidade de processamento de dados, essa embalagem monitora o alimento, comunica essas informações e toma decisões autônomas para melhorar o desempenho térmico do produto. Dentro dessa proposta, a embalagem inteligente é retornável, possibilitando que o dispositivo inteligente seja utilizado inúmeras vezes, inclusive em uma nova embalagem de embarque, sendo confeccionada com papelão ondulado. As caixas de papelão ondulado são as mais utilizadas no Brasil e no mundo, oferecendo proteção às solicitações mecânicas que ocorrem durante a distribuição e dentro dos requisitos de sustentabilidade ambiental devido a sua alta reciclabilidade (NOLETTTO, 2010).

5.2.1. Desenvolvimento de um protótipo de dispositivo inteligente

Para a identificação de alguns dos possíveis desafios de implementação dessa proposta de embalagem em relação ao dispositivo inteligente, foi desenvolvido um protótipo físico de dispositivo baseado nas especificações de dispositivos inteligentes utilizados por empresas como Fedex e DHL.

Um primeiro protótipo de dispositivo inteligente (Figura 5.6) foi desenvolvido para esse trabalho em parceria com o CEMEQ - Centro de Manutenção de Equipamentos da UNICAMP. O dispositivo desenvolvido captava, por meio de sensores, as informações de tempo, temperatura, umidade relativa, aceleração, pressão, luminosidade, localização (sistema GPS) e enviava esses dados para um sistema de monitoramento *online*.



Figura 5.6. Primeiro protótipo de dispositivo inteligente (CEMEQ/UNICAMP).

O dispositivo apresentou bom desempenho em relação ao acompanhamento das condições de temperatura, umidade relativa, aceleração e luminosidade. No entanto,

as falhas provenientes do sistema GSM inviabilizaram a comunicação dos dados levantados e observou-se a necessidade de desenvolvimento de um novo protótipo.

O desenvolvimento desse novo protótipo foi realizado em parceria com o Departamento de Semicondutores, Instrumentos e Fotônica – DSIF da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC da UNICAMP. O dispositivo desenvolvido possui identidade própria, monitoramento do tempo e dois sensores para monitoramento da temperatura. Os dados gerados podem ser enviados em tempo real para um sistema de monitoramento *on line* Figura 5.7.



Figura 5.7. Segundo protótipo de dispositivo inteligente (FEEC /UNICAMP).

O sistema de monitoramento apresenta uma proposta didática de plataforma IoT, onde ocorre um compartilhamento dos dados oriundos do dispositivo para possíveis usuários. O desenvolvimento dessa proposta foi realizada no Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes – LALT da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC da UNICAMP e se baseou na arquitetura protótipo desenvolvida por Roelands et al. (2011). A proposta didática de plataforma IoT desenvolvida é apresentada na Figura 5.8.



Figura 5.8. Proposta didática de plataforma IoT (adaptada de Roelands et al., 2011).

A descrição dos sensores e módulos utilizados na construção do dispositivo é apresentada no Anexo 4 deste trabalho.

O segundo dispositivo apresentou bom desempenho em relação ao acompanhamento das condições de temperatura. Através da implementação de um novo sistema de comunicação pela Internet, houve uma maior constância no envio de informações em tempo real, o que viabilizou a realização de testes nos sensores de temperatura do dispositivo em câmara refrigerada conforme descrito na etapa a seguir.

5.3 Avaliação do comportamento térmico de ambiente refrigerado, embalagem de embarque e produto

Com o objetivo de avaliar o comportamento térmico no interior de ambientes refrigerados e, das embalagens e dos produtos nela condicionados, foram realizados experimentos que simularam a flutuação de temperatura causada pela abertura de porta em uma câmara refrigerada (4°C).

Para essa avaliação foi feito um delineamento de experimento considerando diferentes tempos de porta aberta, que podem ocorrer nas operações de carregamento, descarregamento e/ou movimentação de paletes, durante as entregas de um caminhão refrigerado. Para a definição dos tempos de abertura de porta

utilizados no experimento foi realizada uma consulta junto a duas empresas de logísticas de médio e grande porte do Brasil que atuam no transporte de carne refrigerada embalada.

O experimento consistiu no monitoramento das flutuações de temperatura no ambiente refrigerado, no ambiente dentro de uma embalagem de embarque (caixa de papelão ondulado) e, em um produto cárneo, durante a abertura de porta. Além disso, também foi determinado o tempo necessário para a câmara refrigerada se estabilizar, atingindo novamente os 4°C (tempo de retorno). A Tabela 5.1 apresenta o delineamento do experimento realizado.

Os experimentos foram realizados em câmara refrigerada equipada com sistema de refrigeração trifásico, com capacidade de refrigeração 24.000 BTU/hora (Unidade Térmica Britânica) e, dimensões internas de 1,95 metros de largura, 4 metros de profundidade e 2,7 metros de altura. A câmara possui sistema de desligamento automático quando a porta está aberta. Cerca de um terço do volume da câmara estava ocupada com produtos diversos.

A potência de refrigeração dessa câmara se assemelha a potência de equipamentos utilizados em caminhões refrigerados conforme descrito em catálogo de capacidades de equipamentos para caminhões da Thermo King (THERMO KING, 2017).

Para a avaliação da flutuação da temperatura de um produto refrigerado foi utilizada carne processada. O produto foi adquirido em um grande atacadista da região de Campinas e se apresentava em embalagem plástica termoformada (embalagem primária) de 3kg. As embalagens plásticas contendo o produto cárneo foram acondicionados em caixas de papelão ondulado.

Tabela 5.1. Delineamento do Experimento.

Ponto de leitura da temperatura	Posição na câmara refrigerada	Tempo de porta aberta
Ambiente refrigerado	Fundo da Câmara (próximo ao Sistema de Refrigeração)	15 minutos
		30 minutos
		45 minutos
		60 minutos
	Meio da Câmara	15 minutos
		30 minutos
		45 minutos
		60 minutos
	Próximo à Porta da Câmara	15 minutos
		30 minutos
		45 minutos
		60 minutos
Ambiente dentro da Caixa de Embarque	Fundo da Câmara	15 minutos
		30 minutos
		45 minutos
		60 minutos
	Meio da Câmara	15 minutos
		30 minutos
		45 minutos
		60 minutos
	Próximo à Porta da Câmara	15 minutos
		30 minutos
		45 minutos
		60 minutos
Produto refrigerado	Fundo da Câmara	15 minutos
		30 minutos
		45 minutos
		60 minutos
	Meio da Câmara	15 minutos
		30 minutos
		45 minutos
		60 minutos
	Próximo à Porta da Câmara	15 minutos
		30 minutos
		45 minutos
		60 minutos

Foram realizadas 5 repetições de cada condição

As caixas de papelão ondulado foram gentilmente doadas pela empresa Celulose Irani S/A, uma das maiores empresas de papelão ondulado do país.

As caixas de papelão ondulado doadas eram do tipo tampa e fundo (modelo 0301) conforme descrito na norma ABNT NBR 5980:2011 e são as comumente utilizadas no mercado de produtos cárneos para um total de peso de produto até 20kg.

As embalagens utilizadas nesse experimento são apresentadas nas Figuras 5.9.a e 5.9.b).



Figura 5.9.a e 5.9.b. Embalagens utilizadas no experimento.

5.3.1. Caracterização das embalagens primárias e secundárias

As embalagens primárias (embalagem plástica termoformada) foram caracterizadas quanto aos seguintes parâmetros: dimensões externas, gramatura e espessura. As embalagens de embarque (caixas de papelão ondulado) foram caracterizadas quanto aos seguintes parâmetros: dimensões internas, gramatura, espessura, resistência à compressão de coluna, resistência ao arrebentamento (Mullen), resistência ao esmagamento de onda e resistência à compressão da caixa. A seguir são descritas as metodologias empregadas na caracterização das embalagens e os resultados encontrados.

5.3.1.1. Embalagem plástica termoformada

Dimensões externas

As dimensões externas da embalagem foram determinadas com régua metálica com resolução de 1 mm, com base em metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). Foram determinadas a largura, comprimento e altura da embalagem.

Gramatura total

A gramatura total da amostra foi determinada por pesagem de uma área de material de 25 cm², em balança analítica Mettler, com resolução de 0,1 mg, de acordo com metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). Foram realizadas vinte e cinco determinações de gramatura na região da tampa e fundo da embalagem.

Espessura total

A espessura total das amostras foi determinada de acordo com a norma ISO 4593:1993 em um sistema de medição de espessura Mitutoyo, composto por base plana de granito e relógio comparador com resolução de 0,5 µm. Foram realizadas vinte e cinco determinações de espessura na região da tampa e fundo da embalagem.

Todos esses ensaios foram conduzidos em ambiente controlado a 23 °C ± 2 °C e (50 ± 3)% de umidade relativa, após condicionamento da amostra neste mesmo ambiente por no mínimo 48 horas.

Os resultados obtidos na avaliação das embalagens plásticas termoformadas (embalagem primária) são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Resultados da caracterização das embalagens plásticas termoformadas.

Parâmetro	Resultados Obtidos		
	Média	Intervalo de Variação	Desvio Padrão
Dimensões externas (mm)			
• Comprimento	316	314 – 318	1,7
• Largura	231	230 – 233	2,1
• Profundidade	70	69 - 70	0,6
Espessura (µm)			
• Região da tampa	70,8	68,5 – 73,5	1,3
• Região do fundo	73,0	55,0 – 88,5	10,3
Gramatura (g/m ²)			
• Região da tampa	72,8	72,2 – 73,8	0,8
• Região do fundo	69,7	59,4 – 78,5	7,6

Média = Resultados referentes a 10 determinações

5.3.1.2. Caixas de papelão ondulado

Dimensões internas

Determinada de acordo com a norma NBR 14979:2009. Para determinação das dimensões internas foram utilizados instrumentos de medição específicos (Figura 5.10). Os resultados foram expressos em mm.

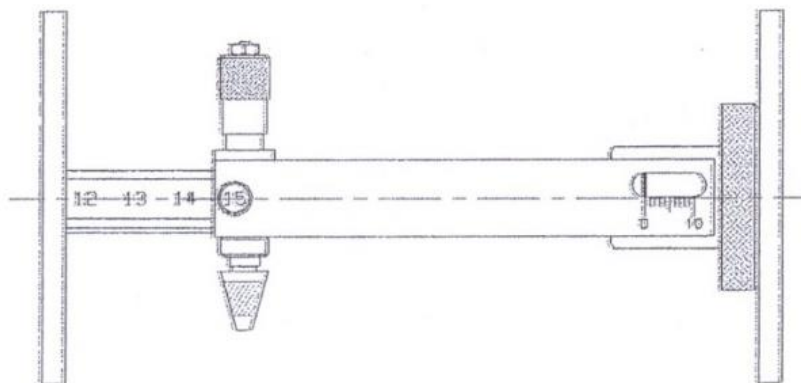


FIGURA 5.10. Instrumento para determinação das medidas internas da caixa (NBR 14979).

Gramatura

Baseada na metodologia descrita na norma NBR NM ISO 536:2000. Os corpos-de-prova foram cortados no tamanho 100 x 100mm com auxílio de dispositivos padrão e pesados em balança analítica Mettler modelo AE 163. Os resultados foram expressos em g/m².

Espessura

Determinada de acordo com a norma NBR 3034:2012. Utilizou-se micrômetro da marca Lorentzen & Wettre, com área de contato igual a 10,0cm² e pressão exercida sobre a amostra igual a 20,0 kPa. Os resultados foram expressos em mm.

Resistência à compressão de coluna

Determinada de acordo com a norma NBR 6737:2009. Utilizou-se prensa de compressão, marca REGMED, modelo CT 2000, tipo placa rígida, com velocidade de compressão constante de 12,5mm/min. Os resultados foram expressos em kN/m.

Resistência ao arrebentamento (Mullen)

Determinada de acordo com a norma NBR NM ISO 2759:2001. Utilizou-se aparelho tipo Mullen, marca Lorentzen & Wettre. Os resultados foram expressos em kPa.

Resistência ao esmagamento de onda

Determinada de acordo com a norma NBR 6736:2001. Corpos-de-prova circulares com 100 cm² de área foram comprimidos em prensa de compressão, marca REGMED, modelo CT 2000, tipo placa rígida, com velocidade de compressão constante de 12,5 ± 2,5mm/min, até o colapso das ondas. Os resultados foram expressos em kgf/cm².

Capacidade de absorção de água (Cobb₁₂₀)

Determinada de acordo com a norma NBR NM ISO 535:1999. O ganho de peso foi acompanhado em balança analítica Mettler AE 163 e o tempo de contato igual a 60s. Os resultados foram expressos em g/m².

Resistência à compressão da caixa

Determinada de acordo com a norma NBR 6739:2009. As caixas montadas foram colocadas entre duas placas paralelas e submetidas à compressão na direção das suas alturas, com velocidade de 10,0mm/min. A resistência à compressão foi medida na mesa de compressão Lansmont, modelo 152-50K Touchtest, com capacidade máxima de 2 toneladas. A carga máxima suportada foi registrada em kgf (Figura 5.11).

As caixas para estes ensaios foram previamente condicionadas a 23°C ± 1°C e 50 ± 2 %UR de acordo com a norma NBR NM ISO 187:2000.

Os resultados obtidos na avaliação das caixas de papelão ondulado (embalagem de embarque) são apresentados na Tabela 5.3.



Figura 5.11. Caixa de papelão ondulado durante ensaio de compressão.

Tabela 5.3. Resultados da caracterização das caixas de papelão ondulado.

Parâmetro	Resultados Obtidos		
	Média	Intervalo de Variação	Desvio Padrão
Fundo			
Dimensões internas (mm)			
• Comprimento	555	554 – 556	0,7
• Largura com junta	375	375 – 375	0,0
• Largura sem junta	383	383 – 383	0,0
• Altura	92	90 – 93	0,9
Gramatura (g/m ²)	504	501 - 509	2,8
Espessura (mm)	4,1	4,1 – 4,1	0,0
Capacidade de absorção de água - Cobb ₁₂₀ (g/m ²)			
• Face interna	8,0	7,5 – 8,5	0,34
• Face externa	23,5	22,5 – 24,0	0,37
Resistência ao arrebentamento – Mullen (kPa)			
• Fluxo interno – externo	845	741 – 923	58,4
• Fluxo externo - interno	934	854 - 1007	54,2
Resistência à compressão de coluna (kN/m)	6,49	6,27 – 6,84	0,2
Tampa			
Gramatura (g/m ²)	430	425 - 433	2,8
Espessura (mm)	2,9	2,9 – 2,9	0,0
Capacidade de absorção de água - Cobb ₁₂₀ (g/m ²)			
• Face interna	10,5	10,0 -10,5	0,3
• Face externa	24,0	23,0 – 24,5	0,5
Resistência ao arrebentamento – Mullen (kPa)			
• Fluxo interno – externo	618	543 – 753	63,5
• Fluxo externo - interno	679	570 - 764	64,8
Resistência à compressão de coluna (kN/m)	5,69	5,26 – 6,04	0,2
Conjunto Tampa e Fundo			
Resistência à compressão de caixa (kgf)	329	298 - 358	22,9

Média = Resultados referentes a 10 determinações

5.3.2 Realização dos experimentos

Para realização dos experimentos foram colocadas 3 embalagens de carne processada, totalizando 9 quilos de produto em cada caixa de papelão ondulado. As caixas de papelão ondulado foram dispostas nas regiões do fundo, do meio e da porta

da câmara refrigerada. Foram fixados termopares nas embalagens plásticas, no ambiente dentro das caixas e no ambiente refrigerado ao lado das caixas conforme apresentado nas Figuras 5.12 e 5.13.

Foram utilizados nove termopares (cabos brancos) do Registrador de Temperatura PT-100, do fabricante Agilent Technologies, modelo 34972A (Figura 5.14). Além desses, também foram utilizados 2 termopares (cabos pretos) do dispositivo inteligente descrito no item 5.2. As Figuras 5.15 e 5.16 apresentam o ambiente instrumentado para realização dos experimentos.



FIGURA 5.12. Caixas e ambiente com os termopares.



FIGURA 5.13. Embalagens com os termopares.



FIGURA 5.14 Registrador de temperatura Agilent.



FIGURA 5.15. Ambiente instrumentado para os experimentos (embalagens).



FIGURA 5.16. Ambiente instrumentado para os experimentos (equipamentos).

Os experimentos para obtenção das curvas térmicas e a caracterização das embalagens foram realizados nos laboratórios do Centro de Tecnologia de Embalagens – CETEA do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL.

Durante os experimentos, a temperatura do ambiente externo onde se localizava a câmara refrigerada oscilou entre 21,8°C e 27,9°C.

5.3.3. Resultados obtidos nos experimentos

O equipamento da Agilent realizou leituras a cada dez segundos, em cada termopar, e os dados obtidos foram compilados em planilhas do Excel para avaliação das curvas térmicas. As leituras dos termopares que se encontravam na região de fundo da câmara refrigerada foram comparadas com as leituras de um termohigrômetro de marca Testo para que fosse verificado se o maior comprimento do fio desses termopares não estava causando distorções nas leituras da temperatura.

A Figura 5.17 apresenta um exemplo de curvas obtidas durante três repetições do experimento (tempo de porta aberta igual a 45 minutos), nas três diferentes posições da câmara (fundo, meio e próximo à porta da câmara). Em azul estão representadas as curvas referentes às leituras realizadas no ambiente. As curvas em verde representam as leituras realizadas no ambiente dentro da caixa de papelão ondulado. Em laranja são apresentadas as curvas de temperatura do lado externo da embalagem primária (descrita como Produto).

Em relação a uma mesma cor, a curva mais alta representa a posição próxima a porta, a curva do meio representa o meio da câmara e a curva mais baixa representa a posição de fundo da câmara.

Observa-se que, no momento da abertura da porta da câmara inicia-se imediatamente um aumento no valor da temperatura, sendo esse aumento mais

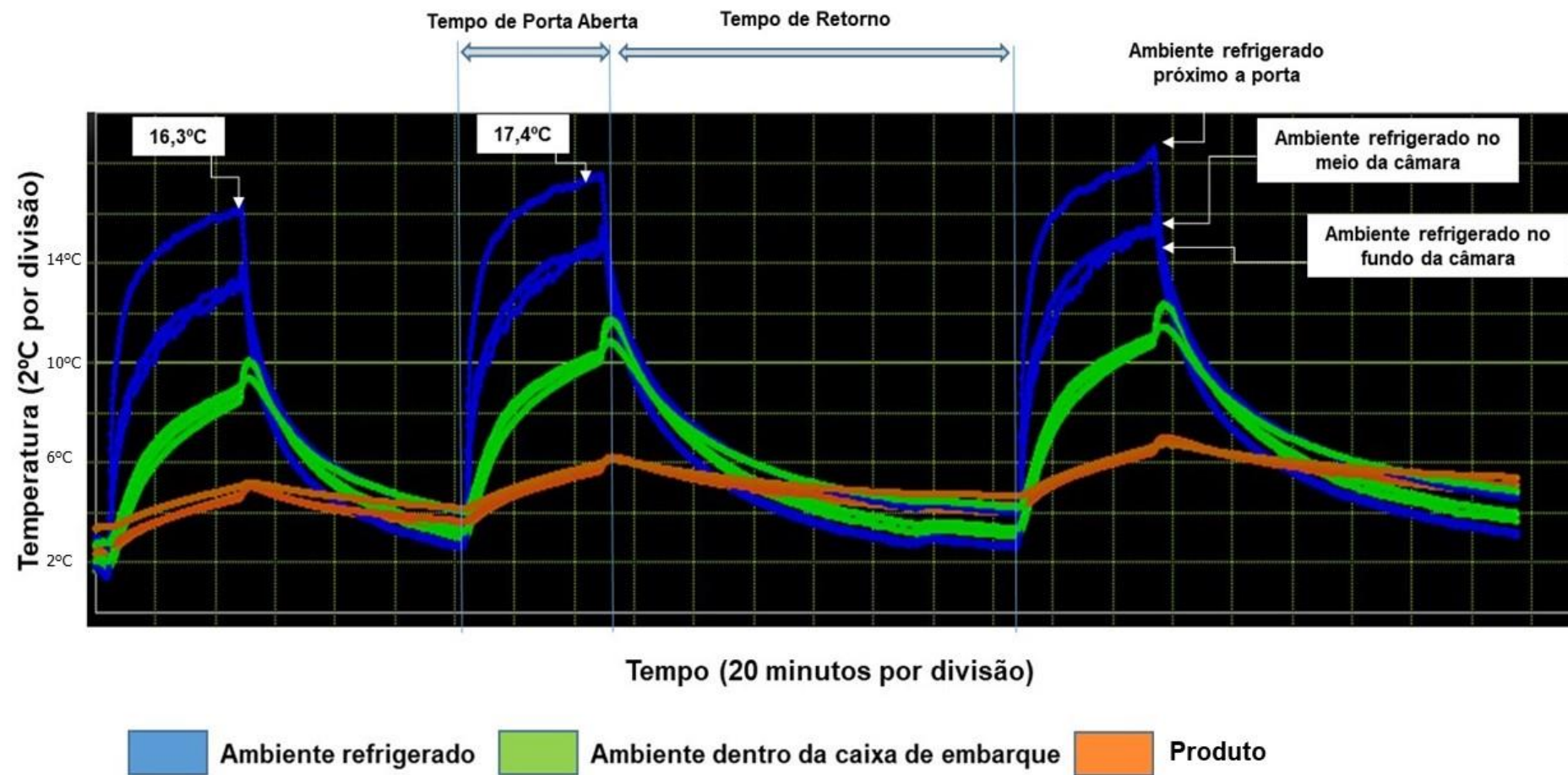


Figura 5.17. Exemplo de curvas obtidas durante os experimentos (tempo de porta aberta igual a 45 minutos).

intenso na região da porta para todos os pontos de leitura (ambiente, caixa e produto). Esse fenômeno se explica pela entrada de ar quente pela porta que, num primeiro momento, impacta mais rapidamente no aumento da temperatura dessa região.

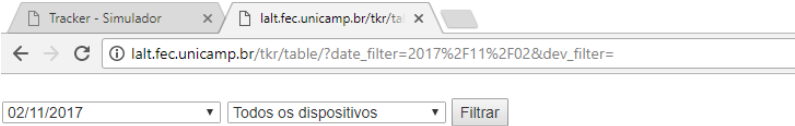
Após o fechamento da porta, que ocorreu depois do período de porta aberta pré-estabelecido (Tabela 5.3.1), a temperatura imediatamente começa a baixar. Esse processo de diminuição da temperatura ocorre mais rápido na região da porta e mais lento na região do fundo da câmara. Esse fenômeno se explica pelo insuflamento de ar frio oriundo da região do fundo mais próximo ao teto da câmara e que, devido a sua velocidade, impacta mais rapidamente na redução da temperatura da região da porta.

Os comportamentos térmicos observados seguiram o descrito por Oury et al., (2015) conforme apresentado na Revisão da Literatura desse trabalho e ilustrado nas Figuras 3.16 e 3.17.

Inicialmente, estava previsto que o tempo de retorno seria finalizado quando o produto atingisse 4°C. Durante os primeiros experimentos, duas repetições de teste foram monitoradas até que o produto próximo a porta atingisse os 4°C. Os resultados foram tempos de retorno iguais a 14 horas e 24 minutos e 15 horas e 39 minutos. Devido ao longo tempo que isso exigia durante o experimento, tornou-se impraticável usar essa referência. Dessa forma, foi considerado como fim do tempo de retorno, o tempo necessário para que a temperatura do ambiente na região do fundo da câmara retornar aos 4°C.

Os dados captados pelo dispositivo inteligente foram enviados em tempo real para a plataforma didática de IoT conforme ilustrado nas Figuras 5.18 e 5.19. Na Figura 5.18 é apresentada a tela de acesso aos dados de tempo e hora da leitura e as leituras de temperatura dos termopares (*Device 1* e 0). A Figura 5.19 apresenta a tela de acesso a um simulador. Nessa tela, é apresentada uma virtualização do ambiente refrigerado contendo as caixas de embarque. A cor da caixa indica seu estado em relação a temperatura de referência do produto. Nessa tela, também é apresentado o gráfico da temperatura que está sendo medida. Os termopares do dispositivo registraram corretamente as oscilações de temperatura do sistema seguindo as mesmas

flutuações de temperatura observadas pelo equipamento da Agilent. No entanto, durante a realização de algumas das repetições, houve momentos de falha de leitura do dispositivo, ocorrendo o registro de vários dados no mesmo momento (hora e minuto). Somado a isso, problemas de sinal na rede de Internet do local dos ensaios impossibilitaram a obtenção de todos os dados do experimento oriundos do dispositivo.



IP	Device	Data	Temp [C]	Recebido
177.190.212.1	1	02/11/2017 10:46:05	10.5000	02/11/2017 11:46:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 10:46:05	17.0000	02/11/2017 11:46:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 10:36:05	9.5000	02/11/2017 11:36:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 10:36:05	17.5000	02/11/2017 11:36:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 10:31:05	10.0000	02/11/2017 11:41:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 10:31:05	17.5000	02/11/2017 11:41:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 10:31:05	9.0000	02/11/2017 11:31:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 10:31:05	17.0000	02/11/2017 11:31:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 10:26:05	8.5000	02/11/2017 11:26:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 10:26:05	17.0000	02/11/2017 11:26:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 10:21:05	8.0000	02/11/2017 11:21:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 10:21:05	16.5000	02/11/2017 11:21:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:46:06	7.0000	02/11/2017 11:16:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:46:06	16.0000	02/11/2017 11:16:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:46:06	4.5000	02/11/2017 11:06:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:46:06	13.0000	02/11/2017 11:06:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:46:06	3.0000	02/11/2017 10:56:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:46:06	2.5000	02/11/2017 10:56:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:46:06	3.5000	02/11/2017 10:46:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:46:06	3.0000	02/11/2017 10:46:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:41:06	6.0000	02/11/2017 11:11:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:41:06	15.0000	02/11/2017 11:11:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:41:06	3.0000	02/11/2017 11:01:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:41:06	8.5000	02/11/2017 11:01:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:41:06	3.0000	02/11/2017 10:51:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:41:06	2.5000	02/11/2017 10:51:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:41:06	3.5000	02/11/2017 10:41:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:41:06	3.0000	02/11/2017 10:41:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:31:06	4.0000	02/11/2017 10:31:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:31:06	3.5000	02/11/2017 10:31:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:26:06	4.0000	02/11/2017 10:36:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:26:06	3.0000	02/11/2017 10:36:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 9:26:06	4.5000	02/11/2017 10:26:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 9:26:06	4.0000	02/11/2017 10:26:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 8:51:06	5.0000	02/11/2017 10:21:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 8:51:06	4.0000	02/11/2017 10:21:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 8:51:06	6.0000	02/11/2017 10:11:29
177.190.212.1	0	02/11/2017 8:51:06	5.0000	02/11/2017 10:11:29
177.190.212.1	1	02/11/2017 8:51:06	7.5000	02/11/2017 10:01:29

FIGURA 5.18. Dados registrados via internet na plataforma didática de IoT - Página de Dados (<http://lalt.fec.unicamp.br/tkr/table/>).

A Tabela 5.4 apresenta os dados referentes a: 1) temperatura máxima atingida por ambiente, caixa e produto, em relação a posição próxima a porta, após os diferentes tempos de porta aberta; 2) tempo de retorno necessário para a temperatura do ambiente, na região do fundo da câmara, atingir os 4°C, após os diferentes tempos de porta aberta.

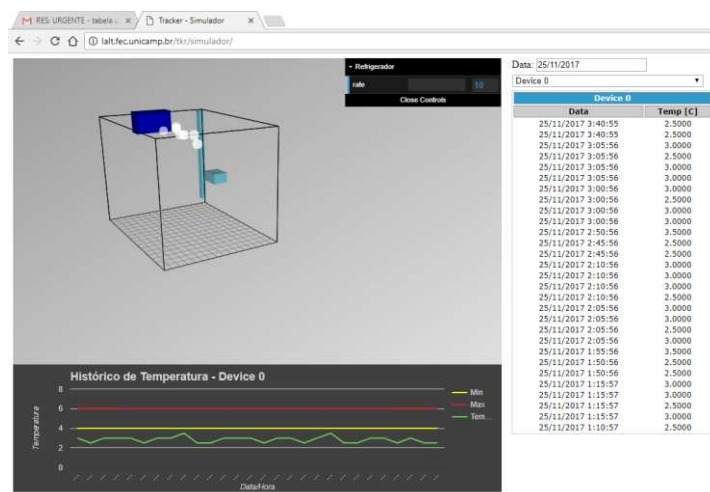


FIGURA 5.19 Dados registrados via internet na plataforma didática de IoT – Página do Simulador (<http://alt.fec.unicamp.br/itr/simulador/>).

Tabela 5.4. Resultados obtidos durante os experimentos.

Tempo de porta aberta	Repetição	Temperatura máximas atingidas * (°C)			Tempo de retorno ** (minutos)
		Ponto de leitura			Ponto de leitura
		Ambiente	Caixa	Produto	Ambiente
15 minutos	1	17,079	10,196	5,854	01:13:10
	2	16,097	10,177	5,967	01:09:00
	3	16,377	10,259	6,209	01:09:50
	4	15,217	9,013	3,958	00:40:00
	5	16,185	9,786	4,647	01:08:50
30 minutos	1	18,186	11,665	5,919	01:57:00
	2	19,243	12,385	6,629	01:51:40
	3	15,275	8,591	4,115	00:43:50
	4	16,198	9,273	4,879	01:16:20
	5	16,699	10,311	5,455	01:41:30
45 minutos	1	18,271	11,943	6,573	02:21:00
	2	16,374	10,115	5,043	01:14:10
	3	17,497	11,656	6,219	02:15:30
	4	18,606	12,382	6,992	03:10:40
	5	17,173	10,907	5,425	01:36:20
60 minutos	1	19,169	13,023	7,098	03:21:30
	2	19,983	14,032	8,179	04:23:30
	3	19,559	13,201	6,747	02:29:00
	4	20,273	14,411	8,161	04:05:00
	5	20,735	14,508	8,691	03:01:10

(*) Temperatura máxima - em relação a posição próxima a porta; (**) Tempo de retorno – em relação ao tempo necessária para que a temperatura do ambiente na região do fundo da câmara retorne-se aos 4°C.

Os dados apresentados na Figura 5.17 e na Tabela 5.4 mostram a diferença de temperatura entre o ambiente refrigerado, o ambiente dentro da caixa de embarque e a temperatura do produto. Observa-se que o ambiente refrigerado e a caixa de embarque sofrem flutuações de temperaturas diferentes entre si e muito maiores do que as observadas no produto. Em relação ao tempo de retorno, conforme comentado anteriormente, esse tempo é muito mais extenso para o produto do que para o ambiente refrigerado ou para o ambiente da caixa de embarque.

Esses resultados indicam que é necessária uma análise criteriosa em relação ao monitoramento da temperatura para controle de alimentos refrigerados. O monitoramento realizado exclusivamente no ambiente refrigerado, não permite uma indicação correta do que está acontecendo com a temperatura do produto. Dentro deste contexto, a utilização de fatores de correlação entre as temperaturas no ambiente refrigerado, o ambiente dentro da caixa de embarque e o produto pode ser uma estratégia para sistemas autônomos que não têm o valor efetivo da temperatura do alimento refrigerado, mas que precisam desse dado para se ajustarem.

5.3.4 Testes de bondade de ajuste

Uma vez realizado os experimentos, foi verificado se os dados obtidos seguiam uma determinada distribuição. Para isso, foi aplicado o teste de bondade de ajuste utilizado para denotar teste de hipóteses sobre a distribuição de uma variável x em uma população ou processo, utilizando-se o *software* XLSTAT (Tsuyuguchi, 2012). Como os dados não seguiram uma regressão linear foram feitas avaliações de ajuste entre os modelos não lineares.

Analizando os dados da tabela de estatísticas de bondade de ajuste através do *software* selecionado, foram selecionadas as regressões que obtiveram o melhor R^2 , ou seja, R^2 mais próximo de 1, sendo R^2 o coeficiente de determinação, correspondendo: a) Porcentagem de variabilidade da variável dependente (tempo de porta aberta) que é explicada pela variável resposta (tempo de retorno à temperatura de 4°C); b) Porcentagem de variabilidade da variável dependente (tempo de porta aberta) que é explicada pela variável resposta (temperatura do ambiente)

Também foi verificado se a função possuía os maiores GL (grau de liberdade) e SSE (soma de quadrado do erro) e os menores MSE (quadrado médio do erro), REQM (raiz do valor quadrático médio) e iterações. Uma vez satisfeitas todas as condições acima, o ajuste foi considerado apropriado para o conjunto de dados.

As funções de comportamento térmico obtidas são apresentadas na Tabela 5.5. As Funções 1 a 3 expressam o tempo necessário para retorno da temperatura ambiente (4°C) em relação ao tempo de porta aberta nas posições de fundo, meio e próximo a porta da câmara refrigerada. As Funções 4 a 6 expressam a temperatura máxima alcançada pelo ambiente em relação ao tempo de porta aberta nas posições de fundo, meio e próximo a porta da câmara refrigerada.

Para a Função 1, mesmo o melhor ajuste teve R^2 abaixo de 0,7, o que não é considerado um bom resultado para o experimento.

Além dessas funções, com os dados obtidos na Tabela 5.2, também foi possível identificar a Função 7 que correlaciona os dados de temperatura máxima atingida pelo produto em relação à temperatura máxima atingida pelo ambiente refrigerado.

É importante ressaltar que, os experimentos realizados na câmara refrigerada não representem as condições reais observadas em carrocerias refrigeradas, mas oferecem uma indicação do comportamento térmico do ambiente refrigerado e dos produtos nela condicionados. Conforme comentado anteriormente, a câmara utilizada apresentava cerca de 1/3 de seu volume ocupado com outros produtos. Em uma carroceria refrigerada na qual o produto ocupasse mais espaço, as flutuações de temperatura tenderiam a ser menores devido a barreira física formada em relação ao fluxo de ar e pela própria massa fria dos produtos.

Tabela 5.5. Funções de comportamento térmico obtidas durante os experimentos.

Descrição	Funções	R ²
Função 1 – Tempo de retorno da temperatura do Ambiente – Fundo da câmara refrigerada	$TRf = 16241,62 + \left(\frac{-12519,74}{1 + \left(\frac{TPA}{48,32} \right)^{3,91}} \right)$	0,639
Função 2 – Tempo de Retorno do Ambiente – Meio da câmara refrigerada	$TRm = \frac{e^{5,69+TAP*(-1,21*10^{-2})}}{(TPA + 1)^{-0,72}} + \frac{e^{5,34+TAP*0,11}}{(TPA + 1)^{0,96}}$	0,793
Função 3 – Tempo de Retorno do Ambiente – Próximo a porta da câmara refrigerada	$TRp = \frac{e^{5,85+TAP*(-1,08*10^{-2})}}{(TPA + 1)^{-0,65}} + \frac{e^{5,49+TAP*0,12}}{(TPA + 1)^{1,04}}$	0,797
Função 4 - Temperatura máxima atingida pelo ambiente – Fundo da câmara refrigerada	$TAf = \frac{e^{(0,10+TPA*101,4*10^{-5})}}{((TPA * 60) + 1)^{-0,33}} + \frac{e^{(-7,36+TPA*-144*10^{-3})}}{((TPA * 60) + 1)^{-1,48}}$	0,882
Função 5 - Temperatura máxima atingida pelo ambiente – Meio da câmara refrigerada	$TAm = \frac{1000,02 * TPA}{241,73 + (TPA * 60)}$	0,853
Função 6 - Temperatura máxima atingida pelo ambiente – Próximo a porta da câmara refrigerada	$TAp = \frac{1137,60 * TPA}{138,18 + (TPA * 60)}$	0,862
Função 7 - Temperatura máxima atingida pelo produto em relação à temperatura máxima atingida pelo ambiente (próximo a porta)	$TP = -6,51+0,71*TA$	0,868

TR = Tempo de Retorno da temperatura do Ambiente (segundos); TA = Temperatura do ambiente refrigerado (°C); TPA = Tempo de Porta Aberta (minutos); TP = Temperatura do Produto.

As funções 3, 6 e 7 obtidas nos experimentos (Tabela 5.5) foram utilizadas no modelo de simulação que será apresentado no item 5.4. As funções 3 e 6 foram selecionadas por representarem as maiores amplitudes de flutuação de temperatura (temperaturas e tempo de retorno referentes às leituras realizadas próximos à porta da câmara refrigerada). Para trabalhos futuros, sugere-se que o pesquisador obtenha suas próprias funções de comportamento térmico para utilização no Modelo desenvolvido.

5.4 Modelagem e Simulação baseada em Agentes

Esta pesquisa aplica o conceito de *Internet of Things*, com a utilização de embalagens inteligentes, para melhorar o desempenho térmico de alimentos refrigerados e, portanto, não tem como focos principais os modelos de simulação ou a efetiva quantificação de perda de qualidade dos alimentos refrigerados. Importante ressaltar também que, a abordagem apresentada ao longo do modelo de simulação proposto é uma abordagem de representação e não de otimização de rota.

5.4.1. Escolha da modelagem e simulação baseada em agentes (*Agent Based Modeling and Simulation - ABMS*)

As razões para escolha da modelagem e simulação baseada em agentes nesta pesquisa foram:

- a) A capacidade de representar estruturas heterárquicas como as estruturas encontradas em sistemas *Internet of Things* e simular o comportamento do sistema em função das interações desenvolvidas entre os agentes, e entre os agentes e o ambiente. Nesta pesquisa, o desempenho térmico dos alimentos refrigerados é influenciado pela dinâmica dos relacionamentos que é resultante das decisões individuais dos agentes, que reagem as decisões de outros agentes influenciando assim o comportamento global do sistema;
- b) A possibilidade de modelagem de comportamentos e regras individuais, características presentes nesta pesquisa, e que podem ser exemplificadas através de decisões e regras adotadas por uma embalagem inteligente em seu processo de interação como o caminhão e os pontos de venda;

- c) A capacidade de modelar sistemas de transporte reativos, onde existe uma tomada de decisão autônoma por uma coleção de entidades do subsistema chamadas agentes (ZHENG et al., 2013).

5.4.2. Etapas de desenvolvimento do modelo de simulação baseado em agentes

Para o desenvolvimento do modelo de simulação baseado em agentes desta pesquisa, foram utilizadas as cinco etapas apresentadas por Macal e North (2006). A Tabela 5.6 apresenta as etapas de desenvolvimento.

Tabela 5.6. Etapas de desenvolvimento do modelo de simulação (Macal e North, 2006).

Etapas	Descrição
Etapa 1 - Descrição dos Agentes	Identificação dos agentes, contemplando suas características, seu comportamento, atividades e necessidades e descrição das interações com os outros agentes
Etapa 2 – Descrição do Ambiente	Definição do ambiente e da interação deste com os agentes nele alocados. A descrição do ambiente deve contemplar suas dimensões espaciais, temporais e outros atributos, descrição das interações entre os agentes e o ambiente e das métricas de desempenho e critério de avaliação do modelo
Etapa 3 – Métodos do agente	Especificação dos métodos pelos quais os atributos do agente são atualizados em resposta a qualquer interações agente-agente ou interações de agentes com o meio ambiente
Etapa 4 - Interações do agente	Definição dos métodos que controlam quais agentes interagem, quando interagem, e como eles interagem durante a simulação
Etapa 5 - Implementação	Implementação do modelo de agente em <i>software</i> computacional

5.4.3 Desenvolvimento do modelo de simulação baseado em agentes

Na sequência, as etapas de desenvolvimento descritas na Tabela 5.6 são seguidas para construção do modelo de simulação que representa a aplicação de embalagens de embarque inteligentes como agentes autônomos no transporte de alimentos refrigerados.

Etapas 1. Descrição dos Agentes

Para desenvolvimento dessa pesquisa, foi considerada uma cadeia de distribuição hipotética de carne resfriada embalada. Foram definidos quatro agentes envolvidos nessa distribuição que possuem objetivos e comportamentos distintos: Frigorífico, Embalagens Inteligentes, Veículo e Pontos de Venda.

O agente Embalagem Inteligente representa uma embalagem de embarque (caixa de papelão ondulado inteligente) conforme descrita no item 5.2 deste trabalho, provida de identidade própria, sensor de temperatura e unidades de comunicação e processamento de dados. Essa embalagem acondiciona o produto cárneo refrigerado que tem como referência uma temperatura ideal de 4°C.

O modelo considera uma população que representa o agente Embalagem Inteligente, descrita como uma unidade de carga (palete) completa, do tipo PBR 1000 x 1200mm e distribuídos na carroceria refrigerada do agente Veículo conforme ilustrado na Figura 5.20. Conforme descrito por Mercier et al. (2017) e apresentado no item 3.2.4 da Revisão da Literatura desse trabalho, os alimentos colocados no topo do palete geralmente são mais sensíveis às mudanças no ambiente e, portanto, esse modelo supõe que as informações são provenientes da embalagem inteligente localizada no topo de cada palete. Cada elemento do agente Embalagem Inteligente tem um específico Ponto de Venda (PV) de destino.

O agente Veículo representa um veículo urbano de carga (VUC) refrigerado com dimensões conforme apresentado nas Figuras 5.21.a e 5.22.b, e ilustrado nas Figuras 5.22a e 5.22b.

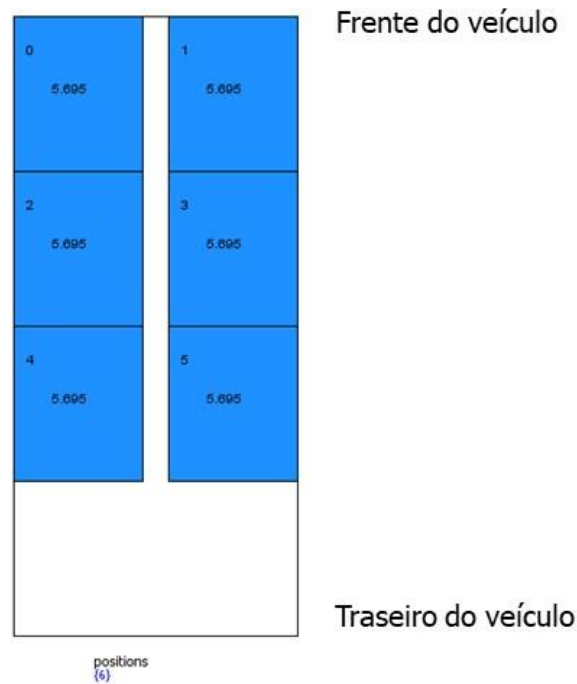
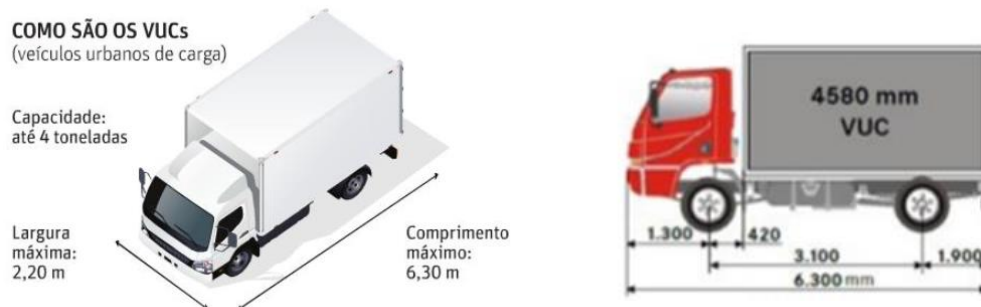


Figura 5.20. Elementos que representam o agente Embalagem Inteligente distribuídos na carroceria refrigerada do Agente Veículo.



Figuras 5.21a e 5.21b. Dimensões consideradas para o Agente VUC (Site da ANTT).

O agente Ponto de Venda (PV) representará os varejistas/atacadistas que atuam na cidade e que representam localizações geográficas reais na cidade.



Figuras 5.22a e 5.22b. Exemplo de VUC e vista no interior do veículo

O agente Frigorífico representa o armazém refrigerado de onde as caixas inteligentes são embarcadas e, não possui uma estrutura lógica, participando do modelo a partir de seus atributos relacionados a quantidade de carga e ponto de georreferência. Esse agente foi alocado na cidade de Cajamar, também representando a localização geográfica de um grande produtor de carne refrigerada do país.

A Tabela 5.7 apresenta o conjunto de objetivos, atributos e estrutura lógica dos agentes Embalagem Inteligente, Veículo e Ponto de Venda.

Etapas 2. Definição do Ambiente

A região metropolitana de São Paulo é o espaço urbano onde ocorre a interação dos agentes descritos nesse modelo. Neste ambiente, composto pela infraestrutura de vias, as zonas comerciais, residências e industriais da cidade ocorre a atividade de distribuição das mercadorias. O ambiente no modelo proposto é um espaço SIG (Sistema de Informação Georreferenciada). Portanto, a localização dos agentes no modelo, seu movimento e velocidade podem ser determinados em função da avaliação de sua variação de posição no mapa. A Figura 5.23 ilustra os agentes Veículo, Ponto de Venda (ícones verdes) e Frigorífico (ícone vermelho) no mapa.

Tabela 5.7. Conjunto de objetivos, atributos e estrutura lógica dos agentes.

Agente	Embalagem Inteligente	Veículo	Ponto de Venda (PV)
Objetivos	- Manter o alimento refrigerado na temperatura ideal ($\leq 4^{\circ}\text{C}$)	- Realizar a entrega do alimento refrigerado	- Receber o alimento refrigerado/caixa inteligente correta
Atributos	- Identificação - Temperatura do alimento refrigerado - Localização atual - Endereço de destino	- Identificação - Temperatura do ambiente da carroceria refrigerada - Localização atual - Percurso inicial	- Identificação - Localização - Tempo de porta aberta (sendo esse referente a uma distribuição normal com desvio e valor médio fixos para cada PV)
Estrutura Lógica	- Monitorar a temperatura do produto	- Realizar o transporte das embalagens inteligentes até o destino - Ao chegar ao destino, realizar a atividade de descarregamento, e informar aos agentes Embalagem Inteligente e Ponto de Venda que o processo de entrega foi concluído - Realizar as tomadas de decisões a partir da primeira entrega - Verificar se existem embalagens inteligentes na carroceria, se existirem, iniciar novo ciclo de atendimento. Caso contrário se movimentar para a Frigorífico	- Recebimento da carga - Identificar o tempo de porta aberta real durante a operação de descarregamento

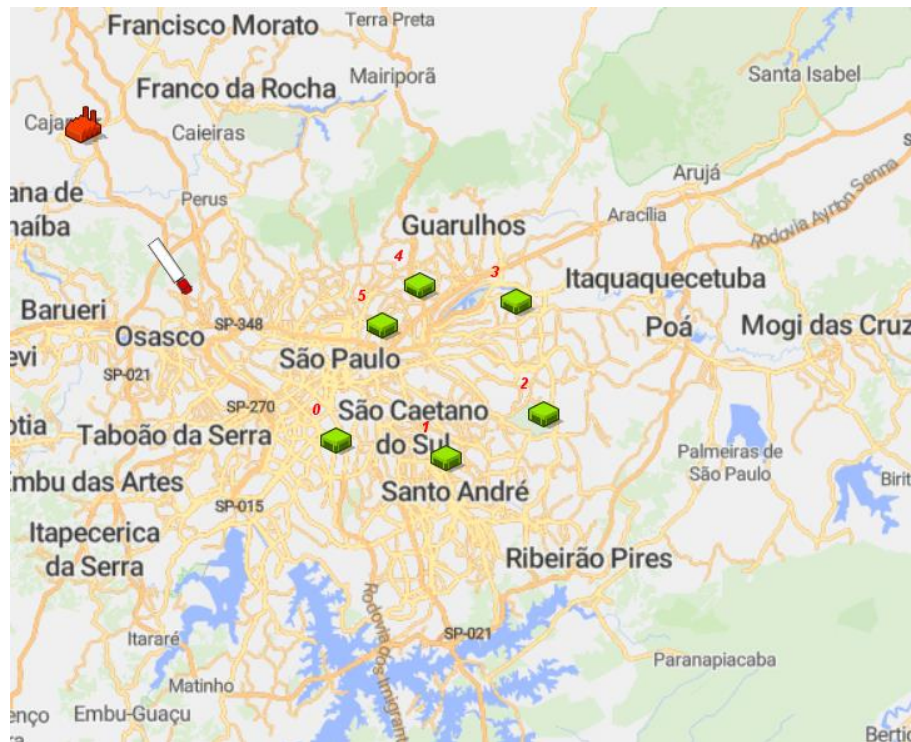


Figura 5.23. SIG do Espaço Urbano do Modelo

É importante destacar que a rede formada pelas ruas e avenidas apresentadas no modelo será utilizada pelo agente Veículo para se deslocar no ambiente.

Etapas 3. Métodos dos agentes

O processo de interação entre os agentes Embalagem Inteligente, Veículo e Ponto de Venda se inicia com agente Veículo partindo para realizar o seu percurso, inicialmente pré-definido, para os Pontos de venda.

A partir do descarregamento da primeira Embalagem Inteligente e do fechamento da porta, o agente Ponto de Venda informa qual o tempo de porta aberta que efetivamente ocorreu naquela entrega. Esse tempo de porta aberta e as funções de temperatura máxima atingida pelo ambiente e tempo de retorno da temperatura do ambiente apresentadas na Tabela 5.5, são utilizadas para calcular as demais variáveis do agente Ponto de Venda.

No modelo foram utilizadas a Função 6 - Temperatura máxima atingida pelo ambiente – Próximo a porta da câmara refrigerada e a Função 3 – Tempo de Retorno do

Ambiente – Próximo a porta da câmara refrigerada. Essas funções foram escolhidas por representarem a região da carroceria do veículo onde ocorre a maior alteração da temperatura após a abertura de porta. (Obs. Essas funções podem ser alteradas no modelo a qualquer momento, baseado no foco da investigação que se quer realizar).

Dessa forma, as variáveis calculadas pelo agente Ponto de Venda, logo após a identificação do tempo de porta aberta foram:

- a) Temperatura após abertura de porta: essa variável representa a temperatura atingida pelo ambiente interno da carroceria após o tempo de abertura de porta em cada PV (utilizando-se a Função 6 - Temperatura máxima atingida pelo ambiente – Próximo a porta da câmara refrigerada);
- b) Tempo de retorno: essa variável representa o tempo necessário para que o ambiente refrigerado retorne a 4°C (utilizando-se a Função 3 – Tempo de Retorno do Ambiente – Próximo a porta da câmara refrigerada);
- c) Distância de retorno: o Tempo de retorno é transformado na variável Distância de Retorno considerando-se a velocidade média do veículo igual a 25km/hora. Portanto, a Distância de retorno é a distância (em km) mínima necessária que o veículo deve percorrer para que a temperatura da carroceria retorne aos 4°C.
- d) Distância de retorno ajustada: essa variável representa a Distância de retorno reduzida em 30% considerando-se um ajuste do sistema de refrigeração que promoveria um Tempo de retorno menor para a estabilização da temperatura à 4°C (essa condição presume um maior consumo de energia sendo, portanto, uma opção alternativa).

Ao fim de cada entrega, após o fechamento da porta, o agente Embalagem Inteligente avalia qual a temperatura atingida pelo produto em função do tempo de abertura de porta. Esse cálculo é realizado utilizando-se a Função 7 - Temperatura máxima atingida pelo produto em relação à temperatura máxima atingida pelo ambiente, apresentada na Tabela 5.5. Caso essa temperatura seja menor ou igual a 4°C,

considera-se que o produto esteja em condições seguras e que não há necessidade de tomada de decisão, seguindo o veículo o trajeto inicialmente definido.

Caso a temperatura do produto esteja acima de 4°C, o agente Embalagem Inteligente comunica ao agente Veículo que é necessário iniciar uma tomada de decisão. A partir disso, o agente Veículo avalia preposições de tomada de decisão a fim de garantir que, durante o próximo trecho de viagem, a temperatura do ambiente refrigerado retorne a 4°C, antes da chegada ao próximo PV, reduzindo as chances de exposição do produto a uma temperatura inadequada durante o transporte. As preposições para tomada de decisão são apresentadas na Figura 5.24.

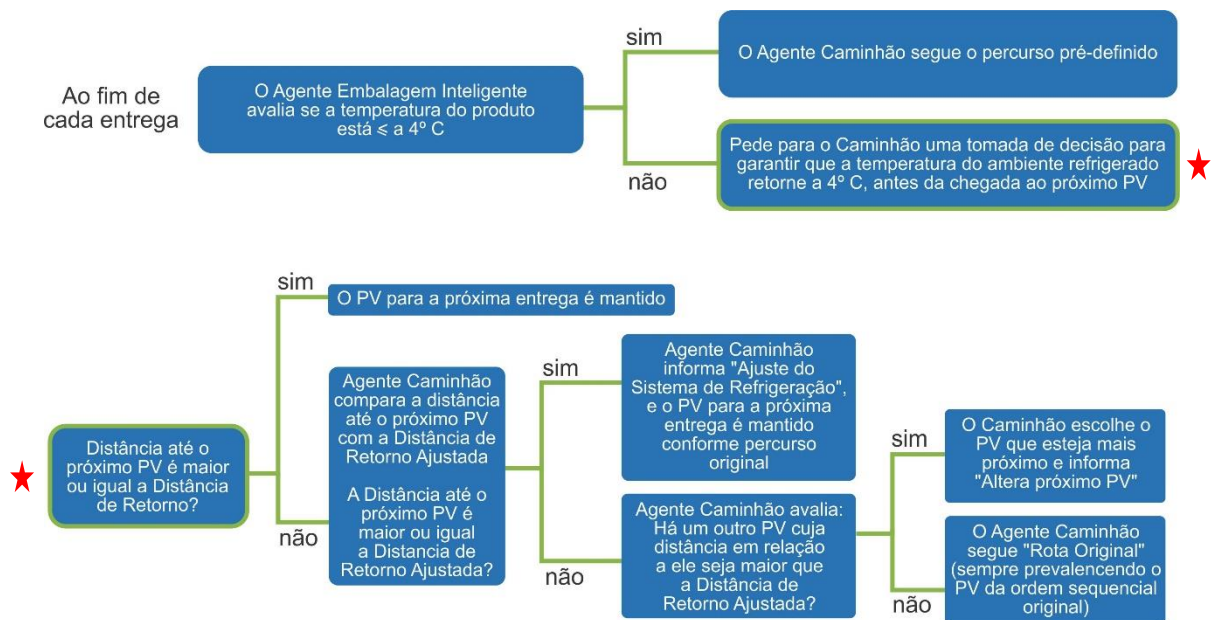


Figura 5.24. Preposições para tomada de decisão.

A Tabela 5.8 apresenta um detalhamento do tipo de coordenação e premissas adotadas nesse modelo de simulação.

Etapá 4. Interações do agente

Nesta etapa é definido o método de Atualização dos Atributos e Controle da Simulação. A atualização dos atributos dos agentes e o controle da simulação se dá em função da lógica de interação entre os agentes descrita na seção anterior. Assim, à medida em que o tempo de simulação passa, ocorre a necessidade do atendimento da demanda das Embalagens Inteligentes que funcionam como gatilho das demais atividades no modelo.

A troca de informações entre os agentes e o processo de transporte são responsáveis pela atualização dos atributos internos dos agentes, sendo processados pelos comportamentos de cada um deles.

A Figura 5.25 descreve o processo de interação dos agentes através de um diagrama de sequência *UML - Unified Modeling Language*.

Aragão Junior (2014), descreve que os agentes de um modelo são simulados em *threads*, definidas como as linhas de execução de comandos de um programa, podendo elas coexistirem, sendo estas executadas em paralelo ou não.

Tabela 5.8. Detalhamento do tipo de coordenação e premissas adotadas.

Preposição	Tipo de Coordenação	Premissas
Embalagens Inteligentes	-	No modelo foi adotada uma simplificação e a temperatura foi considerada igual ao longo da carroceria refrigerada
Ajuste do sistema de refrigeração	Colaboração entre as embalagens e o veículo para atuarem no sistema de refrigeração	Existe um percurso inicial pré-determinado Ocorre no início de um novo trecho de entregas Prevê uma eficiência de tempo de retorno da temperatura estimada em 30% nesse modelo
Altera o próximo Ponto de Venda	Colaboração entre as embalagens e o veículo para alterar o próximo ponto de entrega	Existe um percurso inicial pré-determinado Ocorre no início de um novo trecho de entregas Alteração do próximo Ponto de Venda provavelmente provocaria uma desorganização na ordem de disposição da carga na carroceria, provocando um aumento de tempo de operação (porta aberta) em todos os pontos de venda subsequentes. Esse aumento de tempo de porta aberta não foi considerado no modelo.

especialmente projetados que atendam aos requisitos especiais do modelamento de agentes. Linguagens de programação gerais, como Python, Java e C ++, e C podem ser usadas, mas o desenvolvimento do zero pode ser proibitivamente caro, pois isso exigiria o desenvolvimento de muitos dos serviços disponíveis já fornecidos por ferramentas de modelagem de agentes especializados (Macal e North, 2010).

A modelagem do agente pode ser feita em sistema de computação de pequeno porte (*desktops*), médio ou grande porte. Os projetos geralmente começam pequenos, usando uma das ferramentas ABMS de *desktop* e, em seguida, crescem em etapas nos *kits* de ferramentas ABMS em grande escala. Em geral, o pesquisador utiliza no seu primeiro modelo de agente uma abordagem com a qual um está mais familiarizado, ou a abordagem que se encontra mais fácil de aprender, tendo em vista seus antecedentes e experiência (Macal e North, 2010).

A maioria dos modelos baseados em agentes de larga escala usam ferramentas, conjuntos de ferramentas ou ambientes de desenvolvimento especializados, baseados em razões que têm a ver com uso, facilidade de aprendizado, compatibilidade entre plataformas e a necessidade de recursos sofisticados para se conectar a bancos de dados, interfaces gráficas de usuário e SIG (Macal e North, 2010).

A Tabela 5.9 apresenta um resumo de seis diferentes *kits* de ferramentas específicos para ABMS.

Para o desenvolvimento desta pesquisa optou-se pelo *software Anylogic Professional 8.2.3* da *AnyLogic Company* (2015) que emprega um processo de desenvolvimento de modelos de simulação baseado em orientação a objeto com linguagem JAVA.

Tabela 5.9. *Kits* de ferramentas específicos para ABMS (ZHENG et al., 2013).

Plataforma	Escala	Velocidade de execução	Linguagem de programação	Aplicação inicial
NetLogo	Computação de Desktop	Intermediária	Scala; Java	Ciências sociais e naturais
MASON	Larga escala	Rápido	Java	Complexidade social, modelagem física, inteligência artificial
Swarn	Larga escala	Lento	Objective-C; Java	Uso geral
Repast	Larga escala	Rápido	Java; Python; C++	Ciências sociais
Ascape	Larga escala	Rápido	Java	Uso geral
Anylogic	Larga escala	Rápido	Java	Uso geral, simulação distribuída

Entre as razões para escolha desse *software* estão:

- a) O uso de uma linguagem visual que simplifica significativamente o desenvolvimento de modelos. Os Diagramas de Máquina de Estados, uma notação gráfica da *UML - Unified Modeling Language*, são utilizados na construção de gráficos para definir comportamentos de agentes, as *Action Charts* permitem a definição de algoritmos, os parâmetros e variáveis são utilizados para descrever o agente, além de permitir a obtenção de dados estatísticos. Essas funcionalidades permitem ao pesquisador descrever uma larga gama de comportamentos (ZHENG et al., 2013).
- b) O conjunto de funcionalidades apresentadas pelo *software* para os modelos baseado em agentes com a possibilidade de acesso dinâmico aos dados de

planilhas ou bancos de dados, realizando alterações e gravando as novas informações durante a execução do modelo;

- c) A possibilidade do pesquisador de escrever código Java para modelar algo mais específico ou imprevisto agregando às facilidades de uso de um *software* especialista em modelagem e simulação à flexibilidade de uma linguagem de programação;
- d) A possibilidade de elaboração de modelos de grande escala de forma modular, hierárquica e incremental uma vez que o processo de projeto do modelo é baseado em orientação a objeto (ZHENG et al., 2013);
- e) A disponibilidade de ferramentas estatísticas, como conjuntos de dados, gráficos de barras, gráficos de tempo e histogramas, geralmente adicionados à classe principal para demonstrar resultados de análise durante a execução da simulação.

Etapas 5.1 Estrutura dos Modelos no *Anylogic*

Em relação aos modelos baseados em agentes, a estrutura do *software Anylogic* possui uma Classe Principal (*Main Class*) e uma ou várias Classes Agente (*Agent Class*) que pode representar, por exemplo, um Agente do tipo Embalagem Inteligente. Nessa estrutura, cada agente é modelado de forma independente com a definição de suas capacidades, dentro dos princípios da programação orientada a agentes. O *software* também possibilita a comunicação entre os agentes e a implementação de passos discretos para sincronizar suas ações através do ambiente compartilhado (Loureiro, 2013).

Dentro desse contexto, a construção do modelo se inicia com a criação das classes de agente e do ambiente. O modelo dessa pesquisa apresenta quatro classes de agentes que coexistem em um mesmo ambiente, são eles: a Embalagem Inteligente, o Veículo, o Ponto de Venda e o Frigorífico.

Uma vez criados os agentes, inicia-se o desenvolvimento individual de cada agente com a construção de parâmetros, variáveis e/ou fluxogramas de estado referentes às suas características e objetivos. Esse desenvolvimento deve ser realizado em etapas, com constantes verificações, uma vez que o modelo vai se tornando mais complexo.

As classes de agentes Embalagem Inteligente, Veículo e Ponto de Venda construídas para esse modelo possuem uma estrutura interna que representa seu comportamento, comunicação e objetivos. No *software*, esta representação pode ser realizada através de: a) Diagramas de Máquina de Estados, uma notação gráfica da UML, cujos blocos no *software* são programáveis; b) emprego de linguagem JAVA para o desenvolvimento de funções executáveis, e; c) Diagramas de Ação que permitem a programação em linguagem JAVA através diagramas de blocos programáveis em formato de fluxograma (Loureiro, 2013).

A Figura 5.26 ilustra o Diagrama de Estado de Máquina do agente Veículo.

Pode-se observar na Figura 5.26 que o agente Veículo possui cinco estados que representam a execução de um conjunto de atividades relacionadas a entrega da carga. A primeira mudança de estado, de *naOrigem* para *Carregando*, é disparada quando o modelo se inicia.

A segunda mudança de estado, de *Carregando* para *MovendoParaDestino*, se inicia com o agente Veículo se deslocando para o PV0.

A terceira mudança de estado, *MovendoParaDestino* para *Descarregando*, ocorre quando o agente Veículo chega ao destino. O tempo para conclusão desta atividade é obtido como resultado da divisão da distância entre o ponto de partida e destino do agente Veículo pela sua velocidade média (25km/h).

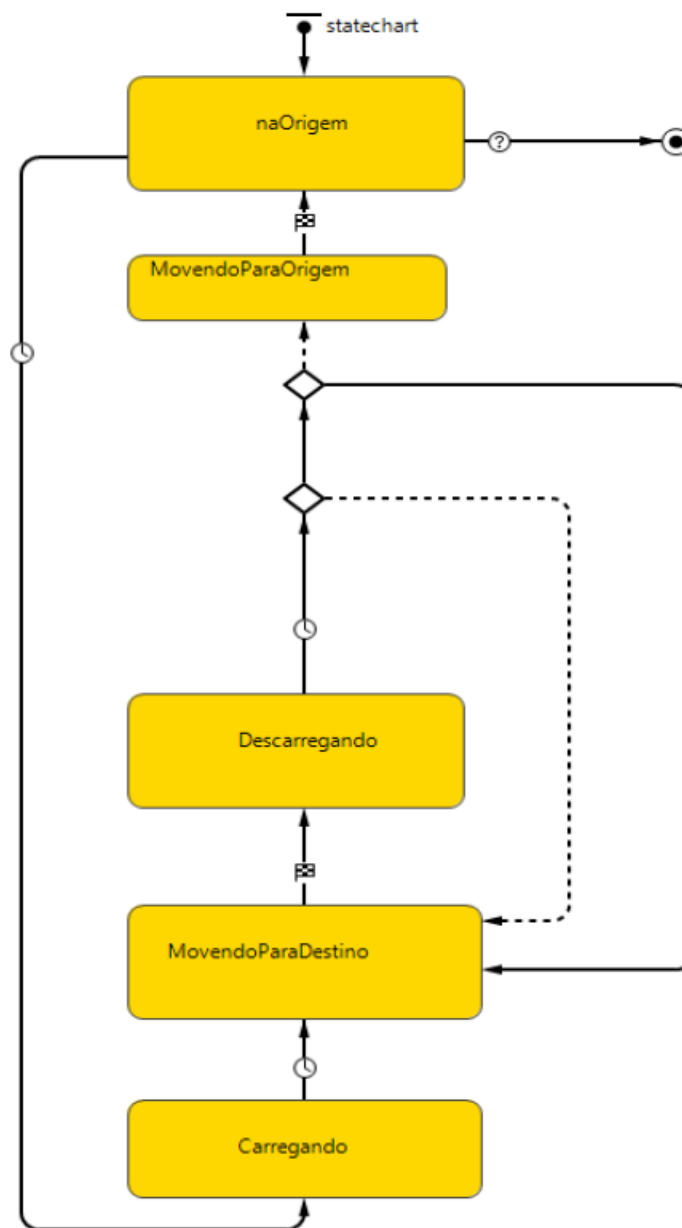


Figura 5.26. Diagrama de Máquina Estado do agente Veículo.

A quarta mudança de estado, é determinada por uma distribuição normal com valor médio e desvios específicos de cada PV, que estabelece que o tempo de descarregamento para

cada PV, identificada como *tempoPortaAberta*, de acordo com uma distribuição normal (normal (desvio, *tempoMedioPortaAberta*)).

Uma vez executada a operação de descarregamento, o agente Veículo recebe a informação do agente Embalagem Inteligente referente a temperatura do produto. Se a tempera do produto estiver abaixo de 4°C, o agente Veículo toma uma decisão assinalada pelo primeiro símbolo de Ramificação  (*Branch*) e entra num novo ciclo de entrega seguindo para o próximo trecho normalmente.

Se, a temperatura do produto estiver acima de 4°C, o agente Veículo deve tomar uma decisão assinalada pelo segundo símbolo de Ramificação  (*Branch*) na qual o Veículo avalia qual estratégia irá tomar com base no descrito no Diagrama UML (Figura 5.26).

Uma vez definida a estratégia, o veículo reinicia o movimento *MovendoPara PróximoDestino* e repetem-se as etapas descritas até que todas as entregas alocadas tenham sido concluídas. Caso contrário, o agente passa para o estado *MovendoParaOrigem*.

Etapa 5.1.1 Levantamento de Estatísticas

Uma vez que o modelo foi desenvolvido é necessário levantar os dados produzidos. No *software Anylogic* é possível obter as informações estatísticas (contagens, somas, valores médios, máximos e mínimo) de séries de dados contínuos e discretos que o pesquisador considera relevantes o modelo proposto. Além desses dados, o *software* também permite a produção de gráficos para visualização dos resultados.

No modelo desenvolvido, foram levantados: a distância total percorrida, a distância entre os trechos e o tempo total de viagem, sendo que nesse tempo foi considerado os tempos de parada em cada PV.

5.4.3. Avaliação do Modelo

Nesta etapa é feita a avaliação do modelo através da validação do *constructo*, verificação interna e validação externa sendo esta etapa essencial no processo de desenvolvimento do modelo.

5.4.3.1. Validação do *constructo*

Os constructos são “abstrações que não podem ser observadas diretamente, mas são úteis na elaboração de teorias. Os constructos propõem explicações a partir de fatos observados” (Ary et al., 2013).

Neste trabalho, a elaboração conceitual do modelo de simulação se baseou na revisão da literatura e nos experimentos realizados em laboratórios. Segundo Ary et al. (2013), a revisão da literatura ajuda a definir os *constructos* envolvidos em um estudo, uma vez que, o pesquisador identifica as pesquisas já realizadas com temas relacionados a esses *constructos*. O autor descreve que “revisões bem-sucedidas geralmente resultam na formação de hipóteses sobre as relações entre variáveis em um estudo. As hipóteses podem fornecer orientação e foco para o estudo”. A revisão proporcionou um entendimento em relação as possíveis oscilações de temperatura que podem ocorrer durante a etapa de transporte de alimentos refrigerados e sobre as contribuições que uma embalagem inteligente pode oferecer nessa etapa aplicando o conceito de *Internet of Things*.

Uma das estratégias para a validação do constructo é aplicar uma manipulação experimental (Ary et al., 2013). Os experimentos em laboratório permitiram um entendimento prático das questões de flutuação de temperatura em câmaras refrigeradas. As curvas térmicas obtidas foram aplicadas no modelo e geraram respostas coerentes com as obtidas nos experimentos.

5.4.3.2. Verificação

Antes de um modelo poder ser validado, deve-se verificar se o mesmo funciona corretamente conforme pretendido. As hipóteses sobre a saída do modelo podem ser testadas em uma variedade de configurações de entrada de parâmetros, através da simulação de uma situação, onde o resultado é facilmente previsível (LOUREIRO, 2013; CASTLE et al., 2006).

a) Depuração estruturada

Na depuração ocorre um rastreamento das linhas de código do modelo em conjunto com uma avaliação dos valores das variáveis. Neste trabalho foi adotado o processo de implementação modular e depuração por etapas, começando com a inclusão de partes do modelo, seguido da verificação das mesmas. Se uma parte estiver correta, então, se inicia uma nova parte e assim sucessivamente, com os testes nos agentes individuais, seguido da avaliação das interações entre os agentes e, por fim, testando o modelo como um todo (CHWIF e MEDINA, 2006; LOUREIRO, 2013).

O *Anylogic*, assim como outros *softwares* de simulação, possui ferramentas para realização dessa depuração. O *software* atua detectando problemas como erros de lógica, que são apresentados na tela de erros *Problems*. Conforme ilustrado na Figura 5.27, a tela descreve qual é o erro e o local do erro no código.

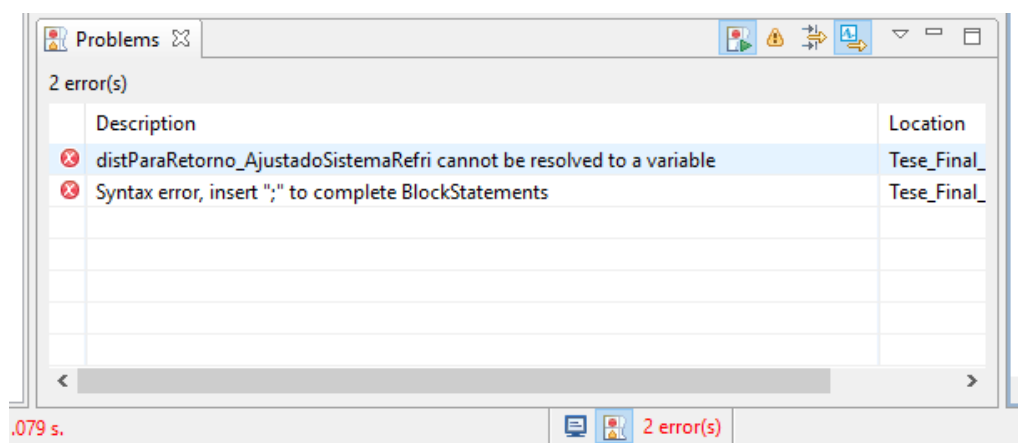


Figura 5.27. Tela de erros do Anylogic.

b) Valores constantes ou simplificados versus cálculos manuais

Conforme proposto por Chwif e Medina (2006) uma das técnicas de verificação consiste na avaliação dos cálculos inseridos no modelo. Para isso, o pesquisador avalia os valores médios de cada distribuição e considera esses valores como constantes e determinísticos (fazendo uma simulação determinística). O autor ressalta que os resultados serão incorretos com esse tipo de simplificação mas, possibilitam a comparação dos resultados do modelo com os resultados de uma planilha eletrônica.

Essa técnica foi aplicada no modelo desse trabalho. As Figuras 5.28 e 5.29 ilustram essa verificação. A Figura 5.28 apresenta um conjunto de valores no modelo em simulação determinística e a Figura 5.28 apresenta os mesmos resultados para a avaliação em planilha do Excel.

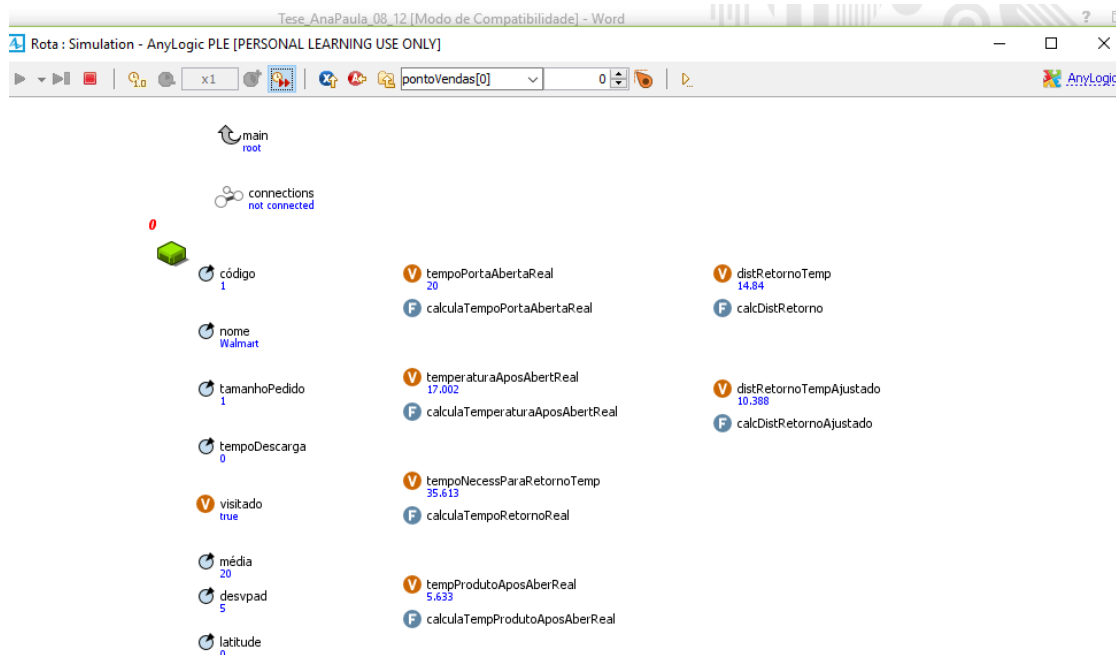


Figura 5.28. Conjunto de valores referentes ao Ponto de Venda (0) no modelo em simulação determinística.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Velocidade do Caminhão (km/min)	PV	Tempo de Porta Aberta Real (fixado)	Temperatura após abertura real (minutos)	Tempo Necessário para Retorno Temperatura (minutos)	Distancia Retorno da Temperatura (km)	Distancia Retorno Temp Ajustado (km)				
1	0,4167	0	20	17,002	35,61	14,84	10,39				
2	0,4167	1	20	17,002	35,61	14,84	10,39				
3	0,4167	2	15	16,436	31,21	13,00	9,10				
4	0,4167	3	20	17,002	35,61	14,84	10,39				
5	0,4167	4	15	16,436	31,21	13,00	9,10				
6	0,4167	5	10	15,411	25,79	10,75	7,52				
7											
8											
9											
10											
11											

Figura 5.29. Conjunto de valores referentes aos Ponto de Vendas (0 - 5) em planilha do Excel.

5.4.3.3 Validação externa

Vários autores definem a validação externa em modelos de simulação. Para Wilensky e Rand (2015) a validação é “o processo de garantir que haja uma correspondência entre o Modelo implementado e realidade. A validação, por sua natureza, é complexa, multinível e relativa”.

Para Chwif e Medina (2006) a validação “é conduzida comparando os resultados do modelo para um determinado número de casos com um referente autoritário, seja o referente do mundo real, outro modelo presumivelmente validado, ou um conjunto de especialistas em domínio”. O autor ainda considera que “podem ser encontrados problemas na validação de modelos de sistemas novos, que nunca entraram em funcionamento. Neste caso, a validação é mais difícil, pela ausência dos dados históricos do sistema real”.

Uma vez que as técnicas de ABMS são frequentemente usadas para modelar sistemas que ainda não existem, um sistema real que possibilitasse a comparação, a validação do modelo tende a ser subjetiva (NORTH e MACAL, 2007).

Como o modelo de simulação elaborado nesse estudo ainda não está implementado em um sistema real, a validação externa se baseou na demonstração da aplicação do modelo

e avaliação de seus resultados. A aplicação da lógica para a tomada de decisão ao longo do transporte, baseado nas curvas de temperatura, produziu resultados coerentes uma vez que houve uma melhoria no comportamento térmico do ambiente refrigerado.

Conforme descrito por vários autores, o processo de validação é contínuo e, portanto, a validade ou confiança aumentam à medida que o modelo é aplicado para um conjunto cada vez maior de caso (MACAL E NORTH, 2006; ŠALAMON, 2011; LOUREIRO, 2014). Dentro deste contexto, a aplicação do modelo de simulação encontra-se descrita no Anexo 5. O roteiro aberto e disponibilizado possibilita sua aplicação didática e sua extensão em trabalhos futuros.

5.4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

A simulação do modelo foi feita para dois cenários: Cenário 1 – Transporte de produtos refrigerados acondicionados em embalagens convencionais e Cenário 2 – Transporte de produtos refrigerados acondicionados em embalagens inteligentes. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 5.10 e 5.11 respectivamente. As Figuras 5.29 e 5.30 ilustram o comportamento térmico do ambiente refrigerado ao longo do transporte para os dois cenários.

Os resultados obtidos nas Tabelas 5.10 e 5.11 mostram que a distância total percorrida no Cenário 2 (168,903 km) apresentou um acréscimo de 26,7% na distância em relação ao cenário 1 (133,279 km). Em relação ao tempo de viagem esse acréscimo foi de 20% (1,4 horas).

No cenário 2, apenas entre os trechos 3 e 2 o agente Veículo tomou a decisão de “*Percurso Original*” porque nenhuma das tomadas de decisão levava a uma recuperação da temperatura para quaisquer dos pontos de venda.

Para a avaliação do comportamento térmico do ambiente refrigerado ao longo do percurso foi considerada uma regressão linear distância *versus* temperatura do ambiente

refrigerado baseada na Distância de retorno (distância mínima que o veículo deve percorrer para que a temperatura da carroceria retorne aos 4°C).

Tabela 5.10. Transporte de produto refrigerado acondicionado em embalagens convencionais.

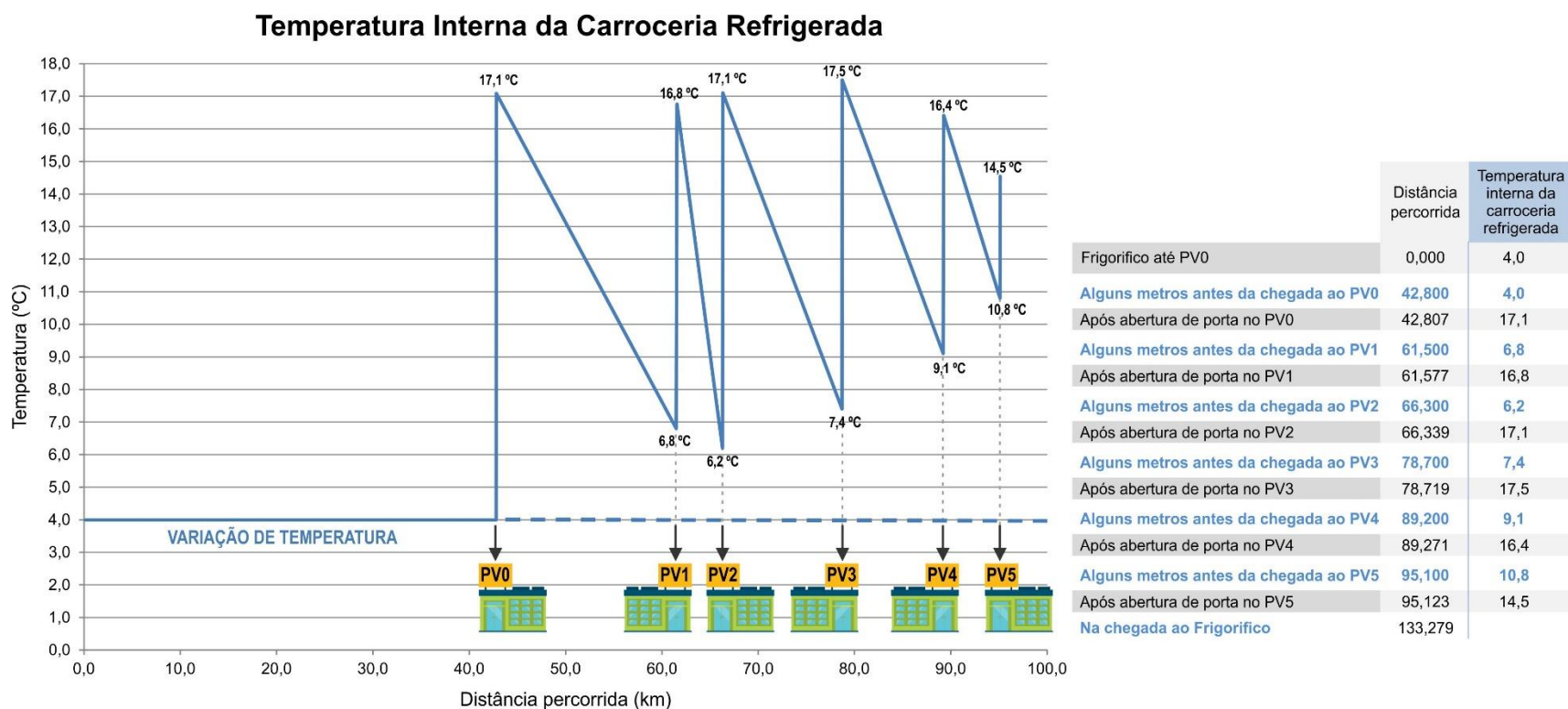
Tipo de segmento	Ponto de origem	Ponto de destino	Distância viajada no trecho (km)	Distância total percorrida (km)
Saída	Frigorífico	PV0	42,807	42,807
Viagem	PV0	PV1	11,963	54,770
Entrega	-	-	-	-
Viagem	PV1	PV2	11,569	66,339
Entrega	-	-	-	-
Viagem	PV2	PV3	12,380	78,719
Entrega	-	-	-	-
Viagem	PV3	PV4	10,552	89,271
Entrega	-	-	-	-
Viagem	PV4	PV5	5,852	95,123
Entrega	-	-	-	-
Retorno	PV5	Frigorífico	38,156	133,3
Distância total percorrida			133,3	
Tempo total de viagem			7,0	

Com base nessa ponderação, as Figuras 5.30 e 5.31 ilustram comportamento térmico do ambiente refrigerado, obtidos ao longo dos dois cenários de simulação. As Figuras consideram:

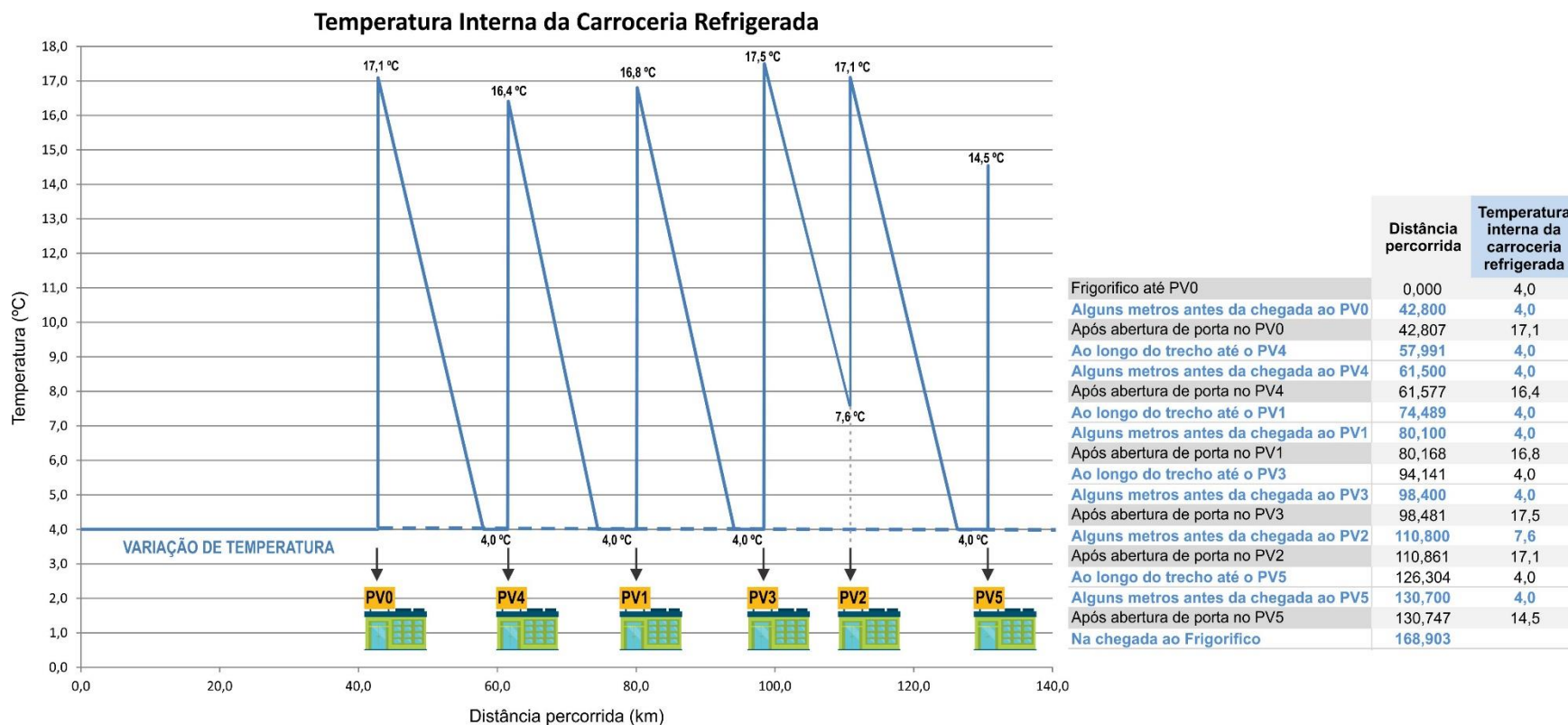
- 1) As temperaturas máximas atingidas após o tempo de porta aberta (utilizando-se a Função 6 - Temperatura máxima atingida pelo ambiente – Próximo a porta da câmara refrigerada);
- 2) As temperaturas em pontos do trecho (utilizando regressão linear).

Tabela 5.11. Cenário 2 – Transporte de produtos refrigerados acondicionados em embalagens inteligentes.

Tipo de segmento	Tomada de Decisão	Ponto de origem	Ponto de destino	Distância viajada no trecho (km)	Distância total percorrida (km)
Saída	-	Frigorífico	PV0	42,807	42,807
Entrega	-	-	-	-	-
Viagem	Altera próximo PV	PV0	PV4	18,750	61,557
Entrega	-	-	-	-	-
Viagem	Ajuste do sistema refrigeração	PV4	PV1	18,611	80,168
Entrega	-	-	-	-	-
Viagem	Altera próximo PV	PV1	PV3	18,313	98,481
Entrega	-	-	-	-	-
Viagem	Percurso original	PV3	PV2	12,380	110,861
Entrega	-	-	-	-	-
Viagem	Ajuste do sistema refrigeração	PV2	PV5	19,886	130,747
Entrega	-	-	-	-	-
Retorno	-	PV5	Frigorífico	38,156	168,903
Distância total percorrida (km)			168,9		
Tempo total de viagem (horas)			8,4		



Figuras 5.30. Ilustração do comportamento térmico do ambiente refrigerado para o Cenário 1 – Transporte de produtos refrigerados acondicionados em embalagens convencionais.



Figuras 5.31. Ilustração do comportamento térmico do ambiente refrigerado para o Cenário 2 – Transporte de produtos refrigerados acondicionados em embalagens inteligentes.

Observa-se na Figura 5.30 que representa o Cenário 1 – Transporte de produtos refrigerados acondicionados em embalagens convencionais, o agente Veículo segue os trechos de um PV a outro sem considerar a distância necessária para que a temperatura do ambiente refrigerado retorne à 4°C. Ao chegar aos PV1 e PV2 a temperatura interna da carroceria refrigerada estava 6,8°C e 6,2°C, respectivamente. Ao chegar ao PV3 a temperatura estava em 7,4°C atingindo os 9,1°C no PV4. No PV5 o veículo chegou com a temperatura da interna da carroceria refrigerada igual a 10,8°C. Em nenhum dos PVs o veículo chegou com a temperatura interna da carroceria igual aos 4°C (temperatura ideal para o alimento refrigerado).

Na Figura 5.31 que representa o Cenário 2 – Transporte de produtos refrigerados acondicionados em embalagens inteligentes, apenas no PV2 o ambiente da carroceria refrigerada não tinha retornado aos 4°C, apresentando uma temperatura de 7,6°C. Em todos os outros PVs, o veículo atingiu os 4°C alguns quilômetros antes de chegar ao próximo PV. É importante ressaltar que, com base nas temperaturas estimadas em cada PV, estima-se valores médios de temperatura ainda maiores ao longo de cada trecho, podendo comprometer ainda mais a qualidade do produto refrigerado que está sendo transportado.

Esses resultados mostram que, o modelo implementado, simulando a tomada de decisão em tempo real, a partir das informações trocadas entre agente Embalagem Inteligente e Caminhão possibilita melhorias no controle de temperatura de alimentos refrigerados ao longo de sua distribuição.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Em relação à pergunta de pesquisa apresentada no início desse trabalho: “Como o emprego de embalagens/cargas inteligentes, que passam a ser agentes atuantes nos processos decisórios ao longo de sua distribuição, pode colaborar no desempenho térmico de alimentos refrigerados? ”.

A pesquisa desenvolvida mostrou que a resposta é: através das intervenções realizadas por essas embalagens, em tempo real, ao longo da cadeia de distribuição, intervenções essas baseadas no monitoramento das condições do alimento refrigerado e do ambiente, processamento dos dados levantados através de interações lógicas para tomada de decisão e aplicação dessas informações dentro do conceito de sistemas IoT.

O objetivo geral do trabalho foi cumprido através do desenvolvimento do modelo conceitual e computacional que permitisse avaliar o desempenho de embalagens de embarque inteligentes que atuam como agentes autônomos no transporte de alimentos refrigerados. Esse desenvolvimento contemplou três passos iniciais: a) formulação de critérios para definição dos atributos de uma embalagem inteligente; b) definição de uma embalagem de embarque inteligente e desenvolvimento de protótipo de dispositivo inteligente e; c) avaliação do comportamento térmico de ambiente refrigerado, embalagem de embarque e produto cárneo. Esses passos serviram de referência para o quarto e último passo, desenvolvimento do modelo de simulação baseado em agentes. A aplicação do modelo de simulação, no qual o transporte de produtos refrigerados é realizado com a utilização de embalagens inteligentes, possibilitou o monitoramento da temperatura da carga e a implementação de ações que garantam as menores flutuações de temperatura na carroceria do veículo refrigerado.

Os objetivos específicos também foram cumpridos:

- 1) A caracterização do cenário atual de uso de embalagens inteligentes e de *Internet of Things (IoT)* nas cadeias de produtos alimentícios do Brasil foi realizada através da aplicação de questionários tipo *Survey* e entrevistas. Essa caracterização do cenário atual identificou que profissionais de logística acreditam na utilização de

embalagens inteligentes com menos atributos, portanto com custos menores, mas com atributos específicos que atendam às necessidades de seus usuários a custos compatíveis. Em relação aos maiores impactos nas atividades logísticas, os profissionais descreveram que o maior impacto proveniente do uso de embalagens inteligentes seria nas atividades relacionadas diretamente com seus clientes;

- 2) Foram estabelecidos critérios para definição dos atributos de uma embalagem inteligente. Os critérios estabelecidos são: a identificação das tecnologias disponíveis e como estas tecnologias podem ser aplicadas; a avaliação dos custos envolvidos nas tecnologias utilizadas em relação ao valor agregado do produto alimentício e; a identificação de oportunidades e desafios do mercado de embalagens inteligentes. A definição desse último critério foi feita com base em uma pesquisa realizada junto a profissionais da área de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de embalagens que atuam em empresas fabricantes de alimentos do Brasil e que fazem uso da cadeia do frio;
- 3) A definição de uma embalagem de embarque inteligente para alimentos refrigerados e o desenvolvimento de um protótipo de dispositivo inteligente foram realizados. A partir do desenvolvimento das duas versões de protótipos de dispositivo inteligente concluí-se que a leitura dos sensores (temperatura, umidade relativa etc.) não representa uma dificuldade operacional. No entanto, o sistema de comunicação dos dados levantados (envio desses dados), seja através do sistema GSM ou de internet, podem representar um grande desafio na implementação desse tipo de dispositivo;
- 4) Foi realizada a avaliação do comportamento térmico de uma embalagem de embarque e de um produto cárneo nela acondicionada. Apesar de não representar as condições reais observadas em carrocerias refrigeradas, essa avaliação permitiu um entendimento prático sobre a influência das flutuações de temperatura no ambiente refrigerado sobre a embalagem e o produto refrigerado;

- 5) O desenvolvimento do modelo computacional foi cumprido e através da interação entre as embalagens inteligentes e o veículo refrigerado foi possível reduzir as flutuações de temperatura ao longo do transporte.

A pesquisa mostrou que é possível estabelecer funções matemáticas que correlacionem a temperatura do alimento refrigerado em relação à temperatura do ambiente refrigerado. Essas funções poderiam ser aplicadas na lógica de embalagens inteligentes secundárias permitindo que essas embalagens monitorem as condições do produto sem necessariamente estarem em contato físico direto com o alimento. No caso de alimentos nos quais a temperatura interna é mais importante do que a temperatura de superfície, para a caracterização da perda da qualidade, a utilização dessas funções pode ser ainda mais relevantes.

Em relação ao comportamento térmico de ambientes refrigerados, foi possível observar na prática que, apesar da região próxima a porta ser a região mais impactada durante as operações de carga e descarga, essa região também é a que mais rapidamente recuperou a temperatura ideal. Isso indica que, em ambientes refrigerados maiores (caminhões com carrocerias refrigeradas maiores), devem ser observadas as diferentes regiões do ambiente refrigerado (porta, meio e fundo) para a tomada de decisões mais assertivas.

Em relação às limitações da pesquisa, é importante observar que a possibilidade de ajuste do sistema de refrigeração em 30% trata-se de uma condição hipotética e sua aplicação em sistemas reais depende das características do veículo refrigerado.

Diferentes níveis de ocupação da câmara climatizada não foram testados nesse trabalho, mas esse fator certamente influenciaria no comportamento térmico do ambiente. Essa influência referente ao nível de ocupação também deve ser levada em conta em estudos com veículos refrigerados.

Ressalta-se novamente que o objetivo desse trabalho não foi a otimização da rota, sendo, portanto, desconsiderado os incrementos de distância ou o impacto térmico causado pelo incremento de tempo de porta aberta causado pelas sucessivas retiradas de produtos em ordem diferente ao carregamento do veículo, gerados pela troca de ordem de entregas. O trabalho também não realizou uma validação dos cálculos estatísticos utilizados.

Conforme descrito ao longo dessa pesquisa, a implementação de embalagens inteligentes e a utilização de sistemas IoT pressupõe a estruturação de toda a cadeia com sistemas de controle e atuação que permitam a autonomia das operações.

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizados experimentos de avaliação do comportamento térmico em outros tipos de alimentos refrigerados durante sua distribuição em carrocerias refrigeradas e determinado o grau de correlação entre os dados de temperatura do ambiente e temperatura do produto.

Sugere-se também experimentos em câmaras climatizadas contendo um volume maior de produtos, sendo essa condição mais próximo ao que ocorre com um caminhão refrigerado no momento de início de um percurso (saída do frigorífico).

A aplicação do conceito de agentes autônomos para embalagens inteligentes no modelo de simulação apresentou um resultado positivo em relação ao controle da temperatura do ambiente refrigerado quando comparado ao uso de embalagens convencionais. Sugere-se a aplicação desse conceito para outros parâmetros de controle ou para controle simultâneo de vários parâmetros que sejam relevantes para a qualidade do produto como umidade relativa, impacto etc.

Por fim, a abordagem de embalagens de transporte como agentes autônomos contribui para uma visão inovadora dentro do conceito de embalagens inteligentes. Apesar do potencial de uso, a implementação de embalagens inteligentes, com seus diferentes

níveis de complexidade, pressupõe entre outros desafios, um maior alinhamento entre as áreas de embalagem, logística e qualidade dentro das empresas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, A. E.; PALACIO, F.; NUIN, M. et al. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain. **Journal of Food Engineering**, v. 93, p. 394-399, 2009.

AKKERMAN, R.; FARAHANI, P.; GRUNOW, M. Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges. *Or Spectrum* 32.4: 863-904, 2010.

ALIMENTARIUS, Codex. **Recommended International Code of Practice for the Processing Handling of Quick Frozen Foods**. CAC/RCP 8p, p. 1-19, 1976.

ALLEN, J.; THORNE, G.; BROWNE, M. Good practice guide on urban freight transport. **The Netherlands: Bestufs consortium**. 2007. Disponível em: <http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/good_practice/English_BESTUFS_Guide.pdf>. Acesso em: dezembro 2014.

ANAND, N.; QUAK, H.; VAN DUIN, R.; TAVASSZY, L. City logistics modeling efforts: Trends and gaps- A review. **Procedia-Social and Behavioral Sciences** 39, 101-115, 2012.

ARAGÃO JUNIOR, D. P. **Colaboração em sistemas multiagentes na roteirização dinâmica de veículos**: um método para avaliação de estratégias em empresas OEM. 2014. 177 f. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção - Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ARY, D.; JACOBS, L. C.; IRVINE, C. K. S.; WALKER, D. Introduction to research in education. Cengage Learning, 2013.

ARVANITOYANNIS, I. S. **Waste management in food packaging industries**. In: _____. Waste management for the food industries. Burlington: Academic Press, 2008. Chapter 15, p. 941-1045.

ASHBY, B. H. **Protecting perishable foods during transport by truck**. Washington, DC: USAD, 1995, repr. 2008. 87 p. (Handbook, 669).

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer networks** 54 (15) 2787-2805, 2010.

AUNG, M. M.; CHANG, Y. S. Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. **Food Control**, v. 40, p. 198-207, 2014.

AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F. **Fundamentos de cinética de degradação e estimativa de vida de prateleira**. Alimentos, 2004: 103

AZEVEDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 326 p.

- BABBIE, E.R. **Survey Research Methods**. Belmont, CA, Wadsworth, 1990.
- BAHNES, N.; KECHAR, B.; HAFFAF, H. Cooperation between Intelligent Autonomous Vehicles to enhance container terminal operations. **Journal of Innovation in Digital Ecosystems**, 3(1), 22-29, 2016.
- BANDYOPADHYAY, D.; SEN, J. Internet of things: applications and challenges in technology and standardization. **Wireless Pers. Commun.**, v. 58, p. 49-69, 2011.
- BANTLE, M.; CLAUSSEN, I. C.; TOLSTOREBROV, I. **Superchilling of organic food**. Part 1: concept, state-of-the-art and potential for small scale implementation. Norway: SINTEF, 2016. 22 p.
- CARSON, Y.; MARIA, A. Simulation optimization: methods and applications. **In Proceedings of the 29th conference on Winter simulation** (pp. 118-126). IEEE Computer Society, 1997.
- CARVALHO, D. Desperdício: custo para todos - alimentos apodrecem enquanto milhões de pessoas passam fome. **Desafios do Desenvolvimento**, Brasília, v. 6, n. 54, 2009. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=1256:reportagens-materias&Itemid=39>. Acesso em: julho 2016.
- CHI, Q.; YAN, H.; ZHANG, C.; PANG, Z.; DA XU, L. A reconfigurable smart sensor interface for industrial WSN in IoT environment. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 10(2), 1417-1425, 2014.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**. Afonso C. Medina, 2006.
- COULOMB, D. Refrigeration and cold chain serving the global food industry and creating a better future: two key IIR challenges for improved health and environment. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, p. 413-417, 2008.
- DABLANC, L. City logistics best practices: a handbook for authorities. Bologna, Italy: **Sustainable Urban Goods Logistics - Sugar**, 2011. 276 p. Disponível em: <<http://www.sugarlogistics.eu/pliki/handbook.pdf>>. Acesso em: dezembro 2014.
- DAHAD, N. The Internet of Things is Not a Future Vision: It's Already Here in the Cold Chain. <http://www.coldchainiq.com/supply-chain-security/articles/the-internet-of-things-is-not-a-future-vision-it-s>. 2014. Acesso em: outubro 2015.
- DAINELLI, D.; GONTARD, N.; SPYROPOULOS, D.; ZONDERVAN-VAN DEN E. B.; TOBBACK, P. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, n. 2008, p. S103–S112, 2008.

DEVELOPMENT of new packages for food and beverage. In: WORKSHOP EM BIOECONOMIA - "NOVAS EMBALAGENS PARA ALIMENTOS E BEBIDAS", 8., 2017, Campinas. **Workshop...** Campinas: ITAL/Agropolo Campinas Brasil, 2017.

DINCER, I. Heat transfer in food cooling applications. **CRC Press, 1997.**

DOBRUCKA, R.; CIERPISZEWSKI, R. Active and Intelligent Packaging Food–Research and Development – A Review. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences** 64.1 (2014): 7-15.

DUTRA, N. G. D. S. O enfoque de "city logistics" na distribuição urbana de encomendas. 2004. 212 f. **Tese de Doutorado em Engenharia de Produção.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

EUROPEAN COMMISSION. Commission Regulation 450/2009 of 29 May 2009 on **active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food**. http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/foodcontact/docs/guidance_active_and_intelligent_scofcah_231111_en.pdf. Acesso em: junho 2015.

EUROPEAN COMMISSION. Directorate - General for Health and Food Safety. **EU Platform on food losses and food waste: terms of reference (ToR)**. Apr. 26, 2016. Disponível em: <http://ec.europa.eu/food/safety/docs/fw_eu-actions_flw-platform_tor.pdf>. Acesso em: julho 2016.

EURSAP. **SAP and the Internet of Things (IoT)**. Mar. 09, 2017. Disponível em: <<https://eursap.eu/2017/03/09/sap-iot-sap-leonardo/>>. Acesso em: julho 2017.

EVANS, J. A. (Ed.). **Frozen food science and technology**. Oxford, UK: Blackwell Publ., 2008. 355 p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. RomeFerber, J. e Gasser, L. **Intelligence artificielle distribuée**. In: XI International Workshop on Expert Systems & their Applications, Avignon, France, Cours n. 9, 2011.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS. **Food wastage footprint: impacts on natural resources**. Rome: FAO, 2013. 61 p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/s8620e/S8620E06.htm>> Acesso em: 22 jan. 2017.

FERBER, J.; GUTKNECHT, O.; MICHEL, F. From agents to organizations: an organizational view of multi-agent systems. In **International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering** (pp. 214-230). Springer Berlin Heidelberg. 2003.

FINK, A. How to analyze survey data. Vol 8. Los Angeles, Sage, 1995.

FRANKEL, R.; NASLUND, D.; BOLUMOLE, Y. The "white space" of logistics research: a look at the role of methods usage. **Journal of Business logistics**. 26.2: 185-209. 2005.

- FREITAS, H.; OLIVEIRA, M.; SACCOL, A. Z.; MOSCAROLA, J. O método de pesquisa survey. **Revista Brasileira de Administração**, São Paulo 35.3: 105-112, 2000.
- PEREIRA, V. F.; DORIA, E.C.B.; CARVALHO JÚNIOR, B. C.; NEVES FILHO, L. C.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Avaliação de temperaturas em câmaras frigoríficas de transporte urbano de alimentos resfriados e congelados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30.1 (2010): 158-165.
- GARCÍA-ARCA, J.; PRADO PRADO, J. C. Packaging design model from a supply chain approach, Supply Chain Management: **An International Journal**, Vol. 13 Iss: 5, pp.375 – 380, 2008.
- GHAANI, M.; COZZOLINO, C. A.; CASTELLI, G.; FARRIS, S. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. **Trends in Food Science & Technology** 51 (2016): 1-11.
- GIANNOPOULOS, G. A. The application of information and communication technologies in transport. **European Journal of Operational Research** 152.2: 302-320, 2004.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GLOBAL SUSTAINABLE BIOENERGY (GSB). Disponível em: < <http://bioenfapesp.org/gsb/index.php>> Acesso em: abril 2017.
- GODDARD, N. D. R.; KEMP, R. M. J.; LANE, R. An overview of smart technology. **Packaging Technology and Science**, 10: 129–143. 1997. doi: 10.1002/(SICI)1099-1522(19970501/30)10:3<129::AID-PTS393>3.0.CO;2-C
- HANFIELD, R.; STRAUBE, F.; BFOHL, H. C.; WIELAND, A. **Trends and strategies in logistics and supply chain management**: embracing global logistics complexity to drive market advantage. Bremen: BVL International, 2013. 81 p.
- HANAI, T. Intelligent transport systems. **Society of Automotive Engineers of Japan**. 2013.
- HOEL, L. A.; SADEK, A. W.; GARBER, N. J. Engenharia de infraestrutura de transportes - Uma integração multimodal. **Editora Cengage Learning**, 2011.
- HOLGUÍN-VERAS, J.; MARQUIS, R.; BROM, M. Economic impacts of staffed and unassisted off-hour deliveries in New York City. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 39, 34-46, 2012.
- HOLGUÍN-VERAS.; SILAS, M.; POLIMENI, J.; CRUZ, B. An investigation on the effectiveness of joint receiver–carrier policies to increase truck traffic in the off-peak hours. Part I: the behavior of receivers. *Networks and Spatial Economics*, v. 7, n. 3, p. 277-295, 2007.
- HOLLER, J.; TSIATSIS, V.; MULLIGAN, C.; AVESAND, S.; KARNOUSKOS, S.; BOYLE, D. **From Machine-to-Machine to the Internet of Things - Introduction to a New Age of Intelligence**. 2014.

HRIBERNIK, K. A.; WARDEN, T.; THOBEN, K.-D.; HERZOG, O. **An internet of things for transport logistics**: an approach to connecting the information and material flows in autonomous cooperating logistics processes. 2010. Denmark: Aalborg University, 2010. p. 54-67.

HUHNS, M. N.; STEPHENS, L. M. Multiagent systems and societies of agents. In: WEISS, G. **Multiagent systems**. Cambridge, MA: MIT Press, 1999. cap. 2, p. 79-120

IIR - INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION. Disponível em: <http://www.iifiir.org/userfiles/file/publications/notes/NoteTech_29_EN.pdf> Acesso em: janeiro 2017.

IERC - **European Research Cluster on the Internet of Things**, 2010. http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm. Acesso em: julho 2015.

ITS HANDBOOK 2004: Recommendations from the world road association (PIARC). 2004.

JENNINGS, N. R.; SYCARA, K.; WOOLDRIDGE, M. A roadmap of agent research and development. **Autonomous agents and multi-agent systems**, 1(1), 7-38, 1998.

JEDERMANN, R.; RUIZ-GARCIA, L.; LANG, W. Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 655, p. 145-154, 2009.

JONES, C. **How the Internet of Things is Revolutionizing Food Logistics**. 2014. <http://www.foodlogistics.com/article/11366603/food-and-more-for-thought-how-the-internet-of-things-is-revolutionizing-food-logistics>. Acesso em: março 2016.

KERRY, J. P.; M. N. O'GRADY; S. A. HOGAN. Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. **Meat science** 74.1: 113-130, 2006.

KLEVAS, J. Organization of packaging resources at a product-developing company, **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, Vol. 35 Iss: 2, pp.116 – 131, 2005.

KRUIJF, N. D.; BEEST, M. V.; RIJK, R.; SIPILÄINEN-MALM, T.; LOSADA, P. P.; MEULENAER, B. D. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. **Food Additives & Contaminants**, 19(S1), 144-162, 2002.

LAGUERRE, O.; HOANG, H. M.; FLICK, D. Experimental investigation and modelling in the food cold chain: thermal and quality evolution. **Trends in Food Science & Technology**, v. 29, p. 87-97, 2013.

LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R.; VANTINE, J. G. S. Administração estratégica da logística. São Paulo: **Vantine Consultoria**, 912 p., 1998.

LI, S.; XU, L.D.; ZHAO, S. The internet of things: a survey. **Information Systems Frontiers**, 17.2: 243-259, 2015.

LIMA, T. C.; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálisis**, 10(1), 37-45. 2007.

LIMA JR., O. F. Logística urbana se resolve com tecnologia e governance. **Revista Mundo Logística**, v. 36, pp.84-87, 2013.

LIMA JR., O. F. Inovação e difusão de boas práticas em logística urbana. **Revista Mundo Logística**, v. 46, pp. 32-41, 2015.

LÓPEZ, T. S.; RANASINGHE, D. C.; PATKAI, B.; MCFARLANE, D. Taxonomy, technology and applications of smart objects. **Information Systems Frontiers**, 13(2), 281-300, 2011.

LOUREIRO, S. A. **Análise dos impactos dos arranjos relacionais em transportes por modelo multiagentes**. 2014. 226 f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2014.

MACAL, C. M.; NORTH, M. J. Tutorial on agent-based modeling and simulation Part 2: How to model with agents. **Proceedings of the 37th Conference on Winter Simulation**. Winter Simulation Conference, 2006.

MACAL, C. M.; NORTH, M. J. Tutorial on agent-based modelling and simulation. **Journal of simulation**, v. 4, n. 3, p. 151-162, 2010.

MACAULAY, J.; BUCKALEW, L.; CHUNG, G. Internet of Things in Logistics: A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry. **DHL Trend Research and Cisco Consulting Services**, 2015.

MACHARIS, C.; MELO, S. Introduction-city distribution: challenges for cities and researchers. **City distribution and urban freight transport**. Edward Elgar, Cheltenham. 1-9, 2011.

MAGALHÃES, D. J. A. Urban freight transport in a metropolitan context: The Belo Horizonte city case study. **Procedia-Social and Behavioral Sciences** 2.3: 6076-6086, 2010.

MALANSON, G. P.; STEPHEN J. W. Agent-based models: Individuals interacting in space. **Applied Geography** 56: 95-98, 2015.

MANCINI, S.; GONZALEZ-FELIU, J.; CRAINIC, T. G. Planning and optimization methods for advanced urban logistics systems at tactical level. In **Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems** (pp. 145-164). Springer Berlin Heidelberg, 2014.

MANDYCK, J.M.; SCHULTZ, E.B. (Ed.). Food foolish: The hidden connection between food waste, hunger and climate change. Carrier Corp. 2015. 198 p.

MANZINI, E. J. Uso da entrevista e dissertações e teses produzidas em um programa de pós graduação em educação. **Revista Percurso**, 149-171, 2012.

MARIA, A. Introduction to modeling and simulation. **Proceedings of the 29th Conference on Winter Simulation**. IEEE Computer Society, 1997.

MATTERN, F.; FLOERKEMEIER, C. From the Internet of Computers to the Internet of Things. **In From active data management to event-based systems and more** (pp. 242-259). Springer Berlin Heidelberg, 2010.

McFARLANE, D.; SARMA, S.; CHIRN, J. L.; WONG, C.; ASHTON, K. Auto ID systems and intelligent manufacturing control. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 16, p. 365-376, 2003.

MENA, C.; ADENSO-DIAZ, B.; YURT, O. The causes of food waste in the supplier–retailer interface: Evidences from the UK and Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, n. 6, p. 648-658, 2011.

MERCIER, S.; MARCOS, B.; UYSAL, I. Identification of the best temperature measurement position inside a food pallet for the prediction of its temperature distribution. **International Journal of Refrigeration**, v. 76, p. 147-159, 2017.

MIORANDI, D.; SICARI, S.; DE PELLEGRINI, F.; CHLAMTAC, I. Internet of things: Vision, applications and research challenges. **Ad Hoc Networks**, 10(7), 1497-1516, 2012.

MORANA, J. Sustainable supply chain management in urban logistics. **Sustainable urban logistics: Concepts, methods and information systems**. Springer Berlin Heidelberg, 21-35, 2014.

MUÑUZURI, J.; CORTÉS, P.; GUADIX, J.; ONIEVA, L. City logistics in Spain: why it might never work. **Cities**, v. 29, n. 2, p. 133-141, 2012.

MUÑUZURI, J.; CORTES, P. Recent advances and future trends in city logistics. **Journal of Computational Science** 3.4: 191-192, 2012.

MUREDZI, P. Active, Intelligent and Modified Atmosphere Packaging: A Model Technology for the Food Industry. 2013.

NASCIMENTO NUNES, M. C. do; NICOMETO, M.; EMOND, J. P.; MELIS, R. B.; UYSAL, I. Improvement in fresh fruit and vegetable logistics quality: berry logistics field studies. **Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical Physical and Engineering Sciences**, v. 372, n. 2022, p. 212, 2014.

NWANA, H. S.; JENNINGS, N. R. Co-ordination in software agent systems. **BT Technol. Journal**, v. 14, n. 4, p. 79-89, Oct. 1996.

NEVES FILHO; L. C.; SILVEIRA JUNIOR. V. Alguns aspectos no transporte refrigerado. **Revista Tecnológica**. pp. 60-71, 2008.

NOLETTO, A. P. R.; LOUREIRO, S. A.; LIMA JÚNIOR, O. F. Embalagens inteligentes na logística de carga: ganho de desempenho para a cadeia de suprimentos. **Revista Cargo News**. Campinas: Edição 148, 4p. 2014.

NOLETTO, A. P. R. (Coord.). **Embalagens de papelão ondulado: propriedades e avaliação da qualidade**. Campinas: ITAL/CETEA, 187 p, 2010.

NORTH, M. J.; MACAL, C. M. **Managing business complexity: discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation**. Oxford University Press, 2007.

NOVAES, A. G. N. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: Estratégia, operação e avaliação**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2001.

NOVAES, A. G. N; LIMA JR, O. F.; CARVALHO, C. C.; TAKEBAYASHI, F. Routing effects on the thermal performance of refrigerated vehicles in the distribution of perishable products. World Conference on Transport Research, 13, 2013, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Leeds, UK: WCTRS, 2013.

OLIVEIRA, J. A. B. de. **Coalition based approach for shop floor agility: a multiagent approach**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2003.

OLIVEIRA, L. K. de; GUERRA, E. D. A diagnosis methodology for urban goods distribution: a case study in Belo Horizonte city (Brazil). **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 125, p. 199-211, Mar. 2014.

ONVU. Disponível em:<<http://www.onvu.de> > Acesso em: abril 2017.

OURY, A.; NAMY, P.; YOUNI-IDRISSI, M. Aero-thermal simulation of a refrigerated truck under open and closed door cycles. In: COMSOL CONFERENCE, 2015, Grenoble. **Proceedings...** [S.l.]: COMSOL, 2015.

PANG, Z., CHEN, Q., HAN, W., & ZHENG, L. Value-centric design of the internet-of-things solution for food supply chain: value creation, sensor portfolio and information fusion. **Information Systems Frontiers** 17.2: 289-319, 2015.

PARFITT, J.; BARTHEL, M.; MacNAUGHTON, S. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. **Phil. Trans. R. Soc. B.**, v. 365, p. 3065-3081, 2010.

PEREIRA, G. R. **Aplicação da gestão baseada em atividades à distribuição urbana de bebidas**. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 230 pg., 2007.

PEREIRA, I. C. C. S. ; GOMES, P. Sistema Multi-Agente para Apoio à Negociação em Mercados de Electricidade. 2004.

PEREIRA, V. D. F.; DORIA, E. C. B.; CARVALHO JÚNIOR, B. D. C.; NEVES FILHO, L. D. C.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Avaliação de temperaturas em câmaras frigoríficas de transporte urbano de alimentos resfriados e congelados. **Ciência e Tecnologia Alimentos, Campinas**, 30(1): 158-165, 2010.

PERES, C. R. G. **Análise do método de custeio baseado em atividades aplicado à logística de distribuição**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 202 pg, 2006.

REGATTIERI, A., SANTARELLI, G., GAMBERI, M. AND GAMBERINI, R. The Use of Radio Frequency Identification Technology in Packaging Systems: Experimental Research on Traceability. **Packaging Technology and Science**, 27: 591–608. doi: 10.1002/pts.2052, 2014.

RESTUCCIA, D.; SPIZZIRRI, G. U.; PARISI, O. I.; CIRILLO, G.; CURCIO, M.; IEMMA, F.; PUOCI, F.; GIULIANA VINCI, G.; PICCI, N. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. **Food Control** 21, no. 11 (2010): 1425-1435.

PHAAL, R.; FARRUKH, C.; PROBERT, D. Technology Roadmapping: linking technology resources to business objectives. **Centre for Technology Management, University of Cambridge**, p.1-18, 2001.

ROBERTSON, G. L. Chapter I - Introduction to Food Packaging. In: ROBERTSON, G. L. **Food Packaging: principles and practice**. CRC press, 2016. p. 1-6.

RODRIGUE, J. P. Reefers in North American Cold Chain Logistics: Evidence from Western Canadian Supply Chains. **The Van Horne Institute**, University of Calgary (2014).

ROELANDS, M.; CLAEYS, L.; GODON, M.; GEERTS, M.; FEKI, M. A.; TRAPPENIERS, L. Enabling the masses to become creative in smart spaces. **Architecting the Internet of Things**. Springer Berlin Heidelberg, 37-64, 2011.

RUIZ-GARCIA, L.; LUNADEI, L. **Monitoring cold chain logistics by means of RFID**. In: TURCU, C. (Ed.). Sustainable radio frequency identification solutions. Croatia: INTECH, 2010. cap. 3, p. 37-50.

RUSHTON, A.; CROUCHER, P.; BAKER, P. **The handbook of logistics & distribution management**. 4th ed. London: Kogan Page, 2010. 664 p.

ŠALAMON, T. **Design of Agent-based Models: Developing Computer Simulations for a Better Understanding of Social Processes**. Tomáš Bruckner, 2011. ISBN 9788090466111. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=2rCdKnItaH8C> >.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P.B. **Metodología de la investigación**. 5ª. Edición McGraw-Hill (2010).

SAMUELSON, D. A.; MACAL, C. M. **Agent-based simulation comes of age**. OR/MS Today 33.4 (2006).

SANTOS, A. S.; LEAL, A. G. **Sistemas inteligentes em transportes: um panorama das tendências e caminhos das pesquisas**. São Paulo: IPT, 2015. 57 p. (Publicação IPT, 3019).

SCHILTHUIZEN, S. F. Communication with your packaging: possibilities for intelligent functions and identification methods in packaging. **Packaging Technology and Science** 12.5: 225-228, 1999.

SCHULDT, A. Autonomous control in logistics. In: _____. **Multiagent coordination enabling autonomous logistics**. Berlin: Springer-Verlag, 2011. cap. 3, p. 37-69.

SETZER, V. W. IA: inteligência artificial ou imbecilidade automática? As máquinas podem pensar e sentir. Florianópolis: **UFSC**. Disponível em:< <http://www.ime.usp.br/~vwsetzer/IAtrad.html>> Acesso em: setembro, 2016. 2009.

SIEGFRIED, R. **Modeling and Simulation of Complex Systems: A Framework for Efficient Agent-Based Modeling and Simulation**. First Edition. Springer, 2014.

SOHRABPOUR, V.; HELLSTRÖM, D.; JAHRE, M. Packaging in developing countries: identifying supply chain needs, **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, Vol. 2 Iss: 2, pp.183 – 205, 2012.

SOKOLOWSKI, JOHN A.; BANKS, C. M. Principles of Modeling and Simulation: Advancing Global Studies. In: SOKOLOWSKI, JOHN A.; BANKS, C. M. **Modeling and simulation for analyzing global events**. John Wiley & Sons, 2009. p. 3 - 22.

SUDALAIMUTHU, S.; ANTHONY RAJ, S. Logistics management for international business: text and cases. Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd, 2009. 416 p.

TANIGUCHI, E. THOMPSON, R.G.; YAMADA, T. City Logistics Network Modelling and Intelligent Transport Systems. **Pergamon**, Oxford. Elsevier, 2001.

TEIXEIRA, F. G.; COLTRO, L.; BORGES, D. F.; SOARES, B. M. C.; MOREIRA, C. Q. Caracterização física e dimensional. In: SARANTOPOULOS, C. I. G. L.; TEIXEIRA, F. G. (Ed.). **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. 2 ed. Campinas: ITAL/CETEA, 2017. cap. 8, p. 137-188

THERMO KING. **V-300 / V-300 Max**: especificações. São Paulo, 2017. TK 54941-18-PL (Rev. 11/2017). Disponível em: <http://www.thermoking.com.br/content/dam/tk-latin-america/brasil/Produtos/linhacompletaref/linhavptruck/v300/54941_V-300_Spec_Sheet.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2017.

THIN FILM ELETRONICS. Disponível em:< <http://thinfilm.no/>> Acesso em: março 2017.

TSAI, C. W.; LAI, C. F.; VASILAKOS, A. V. Future Internet of Things: open issues and challenges. **Wireless Networks** 20.8 (2014): 2201-2217.

UCKELMANN, D.; ISENBERG, M. A.; TEUCKE, M.; HALFAR, H.; SCHOLZ-REITER, B. Autonomous control and the internet of things: increasing robustness, scalability and agility in logistic networks. In: RANASINGHE, D. C.; SHENG, Q. Z.; ZEDADALLY, S. (Ed.). **Unique radio innovation for the 21st century: building scalable and global RFID networks**. Berlin: Springer-Verlag, 2010. p. 163-181.

ZHENG, H., SON, Y. J., CHIU, Y. C., HEAD, L., FENG, Y., XI, H., HICKMAN, M. **A primer for agent-based simulation and modeling in transportation applications**. McLean, VA: Safety Research and Development, 2013. 74 p. Publication No. FHWA-HRT-13-054 HRTM-30/11-13 (1M).

VANDERROOST, M.; RAGAERT, P.; DEVLIEGHERE, F.; DE MEULENAER, B. Intelligent food packaging: The next generation. **Trends in Food Science & Technology** 39.1. 47-62, 2014.

VASCONCELOS, M. A. da S.; MELO FILHO, A. B. de. Aula 4 – Conservação de Alimentos pelo Frio. IN: VASCONCELOS, M. A. da S.; MELO FILHO, A. B. de. **Conservação de alimentos**. Recife: ADUFRPE, 2010. 130 p.

WHITMORE, A., AGARWAL, A., DA XU, L. The Internet of Things - A survey of topics and trends. **Information Systems Frontiers**, v. 17, n. 2, p. 261-274, 2015.

VIGNEAULT, C.; THOMPSON, J. et al. Transportation of fresh horticultural produce. **Postharvest Technologies for Horticultural Crops**, v. 2, p. 1-24, 2009.

WANG, J. Electrochemical sensors. In: WANG, J. **Analytical electrochemistry**. New York: John Wiley & Sons Ltd. 2006. p. 171-202.

WILENSKY, Uri; RAND, William. An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo. MIT Press, 2015.

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R. Intelligent agents: Theory and practice. **The knowledge engineering review**, 10(02), 115-152, 1995.

WONG, C. Y.; MCFARLANE, D.; ZAHARUDIN, A. H.; AGARWAL, V. The intelligent product driven supply chain. **In Proceedings of the IEEE international conference on systems, man and cybernetics**, 6–9 October (Vol. 4, 6 p.), 2002.

WORLD ROAD ASSOCIATION. ITS handbook. 2. ed. France: PIARC, 2000.

XIAOHONG, X.; LAN, H.; WANG, R. Identification of critical control points of the food cold chain logistic process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOGISTICS SYSTEMS AND INTELLIGENT MANAGEMENT, 2010, Harbin, China. Proceedings... New York: IEEE, 2010. p. 164-168.

YAM K.L., TAKHISTOV P.T., MILTZ J. INTELLIGENT packaging: concepts and applications. **Journal of Food Science**. 70: 1–10, 2005.

ZHANG, Y.; YU, J. A study on the fire IOT development strategy. **Procedia Engineering** 52: 314-319, 2013.

ZHENGXIA, W.; LAISHENG, X. Modern logistics monitoring platform based on the Internet of Things. **In Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)**, 2010 International Conference on (Vol. 2, pp. 726-731). IEEE, 2010.

ZUCCHI, J. D.; CAIXETA-FILHO, J. V.. Panorama dos principais elos da cadeia agroindustrial da carne bovina brasileira. **Informações Econômicas**, São Paulo 40.1, 18-33, 2010.

ANEXOS

Anexo 1 – Questionário aplicado para caracterização do cenário atual de uso de embalagens inteligentes e IoT

13/12/2017

Embalagens Inteligentes e Internet das Coisas

4. Quais seriam esses atributos?

5. Identifique qual a previsão de uso de embalagens inteligentes em sua empresa. *

Marcar apenas uma oval.

☐ No momento, não há perspectivas de uso de embalagens inteligentes em minha empresa

☐ A empresa já usa embalagens inteligentes

☐ Acredito que a empresa usará em até 2 anos

☐ Acredito que a empresa usará em até 5 anos

☐ Acredito que a empresa usará em até 10 anos

☐ Outro:

6. Hoje, a maior restrição para aplicação de embalagens inteligentes na minha empresa é: (selecione quantas opções desejar) *

Marque todas que se aplicam.

☐ Acreditamos que não teremos contribuições relevantes com o uso dessas embalagens

☐ Não temos restrições, a empresa já usa embalagens inteligentes

☐ O desempenho apresentado por essas embalagens

☐ Meus clientes não aceitam o aumento de custo vinculado a utilização dessas embalagens

☐ Outro:

7. Caso você use ou venha a usar embalagens inteligentes, classifique o grau de impacto nas atividades logísticas listadas abaixo. *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Muito pouco ou nenhum impacto	Pouco impacto	Impacto moderado	Muito impacto	Multíssimo impacto
No número de erro de pedidos (identificação da carga)	☐	☐	☐	☐	☐
Perdas de produtos durante transporte	☐	☐	☐	☐	☐
Segurança durante transporte em relação a perdas e furtos	☐	☐	☐	☐	☐
Controle do estoque do cliente	☐	☐	☐	☐	☐
Reposição automática de produtos	☐	☐	☐	☐	☐
Controle de produtos devolvidos pelo cliente	☐	☐	☐	☐	☐

13/12/2017

Embalagens Inteligentes e Internet das Coisas

Embalagens Inteligentes e Internet das Coisas

Caro participante, este questionário faz parte de uma pesquisa de cunho científico e, portanto, a identidade do participante e de sua empresa serão tratadas de forma sigilosa. Você levará cerca de 10 minutos para responder as questões.

*Obrigatório

1. Definição de embalagem inteligente: Sistema de embalagem que possui sensores e/ou indicadores para monitorar o produto e o ambiente que o cerca, comunicando essas leituras e, podendo também aplicar uma lógica científica em relação a essas informações *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Tenho muito pouco ou nenhum conhecimento sobre o tema	Tenho um pouco de conhecimento sobre o tema	Tenho um conhecimento moderado sobre o tema	Tenho muito conhecimento sobre o tema	Tenho multíssimo conhecimento sobre o tema
Como você classifica seu conhecimento sobre o tema "Embalagens Inteligentes"	☐	☐	☐	☐	☐

2. Considerando que você utiliza (ou utilizará) uma embalagem inteligente, identifique o nível de importância que você dá para cada um dos atributos listados. *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Muito pouco ou nada importante	Pouco importante	Moderadamente importante	Muito importante	Multíssimo importante
Identidade própria	☐	☐	☐	☐	☐
Monitoramento das condições do produto	☐	☐	☐	☐	☐
Monitoramento das condições do ambiente	☐	☐	☐	☐	☐
Rastreabilidade	☐	☐	☐	☐	☐
Lógica científica para tomar decisões	☐	☐	☐	☐	☐
Gravação de informações	☐	☐	☐	☐	☐
Envio de dados em tempo real (comunicação on line)	☐	☐	☐	☐	☐

3. Além dos atributos listados acima, você acredita que uma embalagem inteligente deva ter outros atributos? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Não.

☐ Sim.

13/12/2017

Embalagens Inteligentes e Internet das Coisas

12. Hoje, a maior restrição para uso de sistemas "Internet das Coisas" - IoT na área de logística da minha empresa é: (selecione quantas opções desejar) *

Marque todas que se aplicam.

☐ Acreditamos que não teremos contribuições relevantes com o uso de sistemas "Internet das Coisas" - IoT

☐ O desempenho apresentado por sistemas "Internet das Coisas" - IoT

☐ Meus clientes não aceitam o aumento de custo vinculado a utilização de sistemas "Internet das Coisas" - IoT

☐ Não temos restrições, a empresa já usa sistemas "Internet das Coisas" - IoT

☐ Outro: _____

13. Caso sua empresa já use sistemas IoT, faça uma breve descrição do uso desse sistema.

14. Identifique seu atual cargo na empresa de acordo com a lista abaixo *

Marcar apenas uma oval.

☐ Diretor

☐ Gerente

☐ Coordenador

☐ Supervisor

☐ Outro: _____

15. Identifique sua experiência na área de Logística de acordo com a lista abaixo *

Marcar apenas uma oval.

☐ Menos de 1 ano

☐ Entre 1 e 3 anos

☐ Entre 3 e 5 anos

☐ Entre 5 e 7 anos

☐ Mais de 7 anos

16. Por favor, digite seu email *

Powered by

Google Forms

https://docs.google.com/forms/d/1jFpYsLPGs5DumC1NVd8xvFDJ5_buPzZw6gplie4t

4/4

13/12/2017

Embalagens Inteligentes e Internet das Coisas

8. Caso sua empresa já use embalagens inteligentes, faça uma breve descrição dessa(s) embalagem(ns).

9. Caso sua empresa já use embalagens inteligentes, quais são as maiores dificuldades operacionais enfrentadas durante a utilização?

10. Definição de Internet das Coisas (IoT - Internet of Things): É uma rede com alta eficiência formada por objetos ou "coisas" que incluem dispositivos eletrônicos, softwares e sensores (incluindo embalagens inteligentes) que possuem autonomia e trocam dados buscando convergência entre as informações. *

Como você classifica seu conhecimento sobre o tema "Internet das Coisas".

Marcar apenas uma oval por linha.

Tenho muito pouco ou nenhum conhecimento sobre o tema	Tenho um pouco de conhecimento sobre o tema	Tenho um conhecimento moderado sobre o tema	Tenho muito conhecimento sobre o tema	Tenho muitíssimo conhecimento sobre o tema
☐	☐	☐	☐	☐

Meu conhecimento sobre Internet das Coisas

☐ ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

11. Identifique qual a previsão de uso de sistemas "Internet das Coisas" - IoT na área de logística de sua empresa. *

Marcar apenas uma oval.

☐ No momento, não visualizo o uso sistemas IoT na área de logística da minha empresa

☐ A empresa já usa sistemas IoT na área de logística

☐ Acredito que a empresa usará em até 2 anos sistemas IoT na área de logística

☐ Acredito que a empresa usará em até 5 anos sistemas IoT na área de logística

☐ Acredito que a empresa usará em até 10 anos sistemas IoT na área de logística

https://docs.google.com/forms/d/1jFpYsLPGs5DumC1NVd8xvFDJ5_buPzZw6gplie4t

3/4

Anexo 2 - Artigo - “Intelligent Packaging and the Internet of Things in Brazilian Food Supply Chains: the Current State and Challenges”

Este artigo foi apresentado no *5th International Conference on Dynamics in Logistics - LDIC 2016*.

Noletto, Ana Paula Reis, Sérgio Adriano Loureiro, Rodrigo Barros Castro e Orlando Fontes Lima Júnior. *"Intelligent Packaging and the Internet of Things in Brazilian Food Supply Chains: The Current State and Challenges."* In: **Dynamics in Logistics**, pp. 173-183. Springer, Cham, 2017.

Chapter 16

Intelligent Packaging and the Internet of Things in Brazilian Food Supply Chains: The Current State and Challenges

Ana Paula Reis Noletto, Sérgio Adriano Loureiro,
Rodrigo Barros Castro and Orlando Fontes Lima Júnior

Abstract In developing countries, significant food losses occur during distribution. The use of technologies such as Intelligent Packaging (IP) and the Internet of Things (IoT) may provide improvements in controlling the distribution of food products, minimizing losses. This paper identifies the Brazilian food supply chains current technological state and their receptivity to the IP and IoT technologies adoption. The analysis was based on a survey with logistics professionals from the country's largest food companies, which represent 75.3 % of this market (in sales). The results show that these companies do not currently use IP and that a few use what they consider to be IoT systems. Cost is the greatest barrier to the use of these technologies; however, the lack of knowledge about these technologies also represents a strong barrier to their use.

Keywords Food supply chains · Intelligent packaging · Internet of things · Logistics

16.1 Introduction

Food losses during the processing, distribution, and consumption stages represent 1/3 of the total produced in the world, accounting for approximately 1.3 billion tons per year. In developing countries, the rates of food loss during distribution are also significant (FAO 2011). To illustrate this point, when we consider the average percentage loss of meat products during distribution in Latin America (5 %), and apply it to the annual Brazilian production (26 million tons), we find that the

A.P.R. Noletto (✉)
Institute of Food Technology, Campinas, SP, Brazil
e-mail: anapaula@ital.sp.gov.br

S.A. Loureiro · R.B. Castro · O.F.L. Júnior
Logistics and Transportation Learning Laboratory – LALT/UNICAMP, Campinas,
SP, Brazil
e-mail: saloureiro@gmail.com

© Springer International Publishing Switzerland 2017
M. Freitag et al. (eds.), *Dynamics in Logistics*, Lecture Notes in Logistics,
DOI 10.1007/978-3-319-45117-6_16

173

country has a total waste of 1.3 million tons of meat per year. This volume of meat is not distant to the annual production of certain countries, such as Belgium (1.8 million tons per year) and Denmark (1.9 million tons per year) (FAO 2011).

The use of technologies such as Intelligent Packaging (IP) and Internet of Things (IoT) systems may enable advances in the monitoring of the product conditions and in the control of logistics activities, thus allowing a reduction in these food losses. According to Whitmore et al. (2014), López et al. (2012), the dissemination of information and the omnipresence provided by these technologies enable to overcome organizational and geographic barriers, improving the logistics and efficiency of supply chains, among other considerations (Holler et al. 2014; Heising et al. 2012; European Commission 2009).

High value-added food Brazilian packages present international standards level. The greatest challenge is the use of new technologies, with a suitable cost, to minimize losses along the supply chain. However, in Brazil, no consolidated data exist regarding the knowledge and use of these technologies. This study aims to understand the current technological state of food supply chains in Brazil and the receptivity of these chains to the use of IP and IoT. In addition, this study seeks to identify the main motivations for and barriers to the use of these technologies.

To accomplish this goal, we surveyed logistics professionals from the 20 largest food companies in Brazil.

The article comprises an introduction to the collaboration of IP and IoT in food distribution. Next, we describe the research methodology and results, and finally, we present our conclusions.

16.2 Intelligent Packaging in Logistics

The studies that address the subjects of “active packaging,” “smart packaging,” or “intelligent packaging” do not always define these terms in the same manner, and in some studies, there is “a certain confusion” regarding the meaning of each term. For this reason, in this section, we present the results of the literature review (Table 16.1) for which we selected certain articles that define the concept of “Intelligent Packaging.” Through the described definitions, some attributes that are recurrently cited by the authors can be identified, such as the following: self-identity, the monitoring of product and environmental conditions, communication, traceability, decision-making, and the recording of information.

All of these attributes provide improvements in controlling the distribution of products throughout the logistics activities of distribution.

These attributes are similar to those described by Wong et al. (2002) to define a Smart Product: (a) possession of a unique identity; (b) ability to communicate effectively with its environment; (c) ability to retain or store data about itself; (d) possession of a language to display its features, production requirements, etc.; and (e) capability of participating in or making decisions relevant to its own destiny.

In all the selected studies, IP are used for packaging food products.

Table 16.1 Characteristics of Intelligent packaging and its applications

Author	Definition
Schilthuisen (1999)	Packages with intelligent functions such as identification, sensing, tracing, tracking, and monitoring
Kruijff et al. (2002)	Intelligent packaging systems that monitor the condition of packaged products to provide information on their quality during transportation and storage
Yam et al. (2005)	Packaging systems that can perform intelligent functions “such as the detection, sensing, recording, communication, and application of scientific logic to facilitate decision-making to extend the product’s shelf life, enhance safety, improve quality, provide information, and warn about possible problems”
Dainelli et al. (2008)	Packages that monitor the product’s quality, identify critical points, and provide more detailed information along the supply chain
European Commission (2009)	Intelligent packages have a component that allows monitoring the condition of the food or its surrounding environment during transportation and storage
Vanderroost et al. (2014)	Intelligent packages have the ability “to sense, detect, or record changes in the product or its environment”
Goddard et al. (1997), Kerry et al. (2006), Dobrucka et al. (2014)	For these authors, the terms “Intelligent Packaging” and “Smart Packaging” have the same meaning and refer to the combination of advanced materials and sensors capable of monitoring the product and the environment in real time and responding properly. The devices attached to these packages must be able to report the integrity, quality, and safety of the product and are used to ensure authenticity, protection against theft, and the traceability of the product

16.3 The Internet of Things—IoT in Logistics

The term “IoT” has several definitions, including definition presented by the Cluster of European Research Projects (IERC 2010): “a dynamic global network infrastructure with self-configuring capabilities based on standard and interoperable communication protocols where physical and virtual ‘things’ have identities, physical attributes, and virtual personalities and use intelligent interfaces, and are seamlessly integrated into the information network.”

Regarding logistics activities, the use of technologies such as Radio-Frequency Identification (RFID) tags and sensors to track and monitor products along the supply chain is not new; however, with the advent of IoT systems, their applications, and contributions can be amplified.

In transportation logistics, IoT systems can make significant contributions because:

- (a) people (or intelligent cargo) can report, in real time, the performance of the transportation infrastructure;
- (b) this sector already uses a sensor structure (cargo) and information database (managers); and
- (c) the presence of different stakeholders provides a situation of information sharing in the search for improvements (Holler et al. 2014).

These considerations show that intelligent objects are essential for building IoT systems. López et al. (2012) present a classic example of the application of intelligent objects for monitoring the transportation of perishable goods with a cooling system. In their study, the authors demonstrate that, because it is an activity affected by a large number of variables, such as traffic conditions, the constant cooling system, and variability in the delivered amount, the more comprehensive management provided by IoT systems enables the reduction of product losses and costs through a higher level of autonomy in dynamic situations.

16.4 Methodology

We conducted a survey with the aim of identifying the current degree of knowledge, the use, and the barriers to the use of IP and IoT systems in Brazil. According to Babbie (1990), surveys are applied to make assertive descriptions about a population based on a group of participants (sample). For Fink (1995), the sample size must adequately represent the population to ensure that the results are accurate and reliable. Among the main precautions to be taken in the design of survey questionnaires, Babbie (1990) cites the following: (a) the clarity and objectivity of the questions; (b) the proper competence of participants; and (c) the use of relevant questions. We sent questionnaires to logistics professionals from the 20 largest food companies in Brazil, in terms of sales (in USD), excluding companies operating in the commodities area (grains and alcohol producers). We selected food sector because this type of cargo is mostly present in urban areas (Holguin-Veras et al. 2008; Munuzuri et al. 2010; Ibeas et al. 2012).

We initially contacted the professionals to convey information on the study and invite them to answer the questionnaire. Once they agreed to participate, we sent the questionnaire. We conducted all communication through email, and the Institute of Food Technology (ITAL), one of the leading research institutes in the Brazilian food sector, facilitated obtaining contact information. The questionnaire consisted of multiple-choice questions and open-ended questions. Below, we present the questionnaire answers, compiled, and analyzed.

16.5 Results

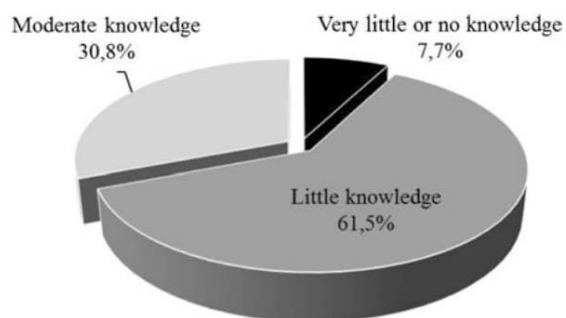
Of the 20 companies invited to participate, 13 companies responded to the survey, corresponding to a response rate of 65 %. These 13 companies represent 75.3 % of the food industry in Brazil (sales in USD), and 4 of them are among the largest food companies in the world. The results showed that 7.7 % of the professionals who participated in the survey occupy a Director position in their company, while 38.4 % are managers, 46.2 % coordinators, and 7.7 % supervisors. Regarding experience in logistics, 15.4 % of the professionals have between 1 and 3 years, 15.4 % have between 3 and 5 years, and 69.2 % have over 7 years of experience in the area.

16.5.1 Intelligent Packaging

In the first part of the questionnaire, we asked participants to answer what degree of knowledge they had on the subject of Intelligent Packaging. They also defined the level of importance of the attributes of an IP according to the attributes identified in the previous section of this article: self-identity, the monitoring of product and environmental conditions, communication, traceability, decision-making, and the recording of information. Upon completion of this part of the research, participants answered questions about the use of IP and its contributions to logistics activities. Figures 16.1, 16.2, 16.3, 16.4, 16.5, 16.6, and 16.7 present the aforementioned results.

Among the most relevant IP attributes, the monitoring of product and environmental conditions and traceability showed a much higher relevance (above 84.6 %, i.e., the sum of the answers “Very important” and “Extremely important”) compared to the attributes of self-identity, scientific logic, and information recording (maximum of 46.2 %). Participants considered that the activities related to the consumer interaction (customer inventory control, automatic product replacement, and control of products returned by the customer) will cause a greater impact, in

Fig. 16.1 Your degree of knowledge on the subject of IP



178

A.P.R. Noletto et al.

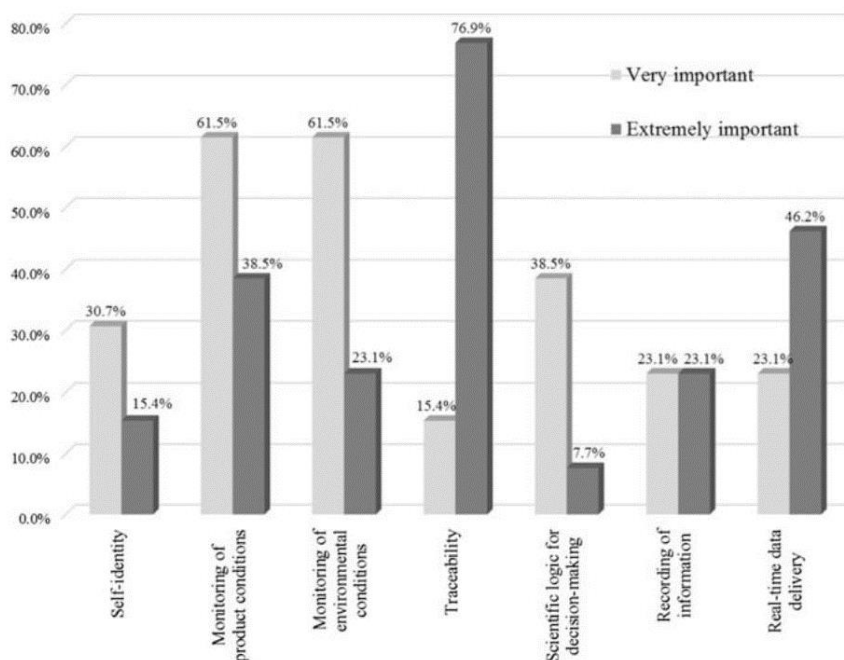
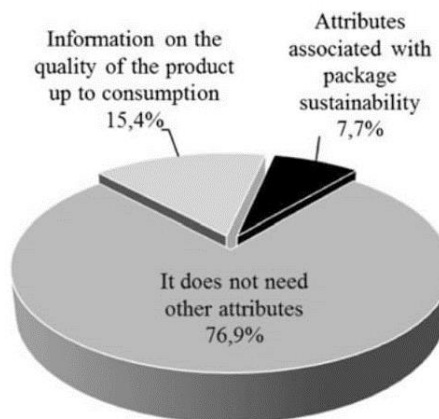


Fig. 16.2 Attributes level of importance

Fig. 16.3 Other attributes that an IP should have



which the sum of “Large impact” and “Huge impact” responses represent around 53.8 % of the total. This result endorses the importance given to the real-time data delivery attribute, with 69.3 % of answers pointing to “Very important” and “Extremely important.” All participants stated that they do not use IP, and therefore,

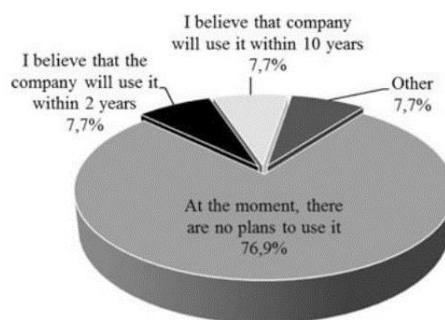


Fig. 16.4 Prediction of IP use in your company

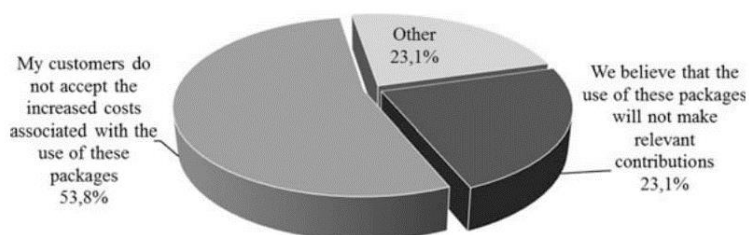


Fig. 16.5 Main barrier to IP use in my company

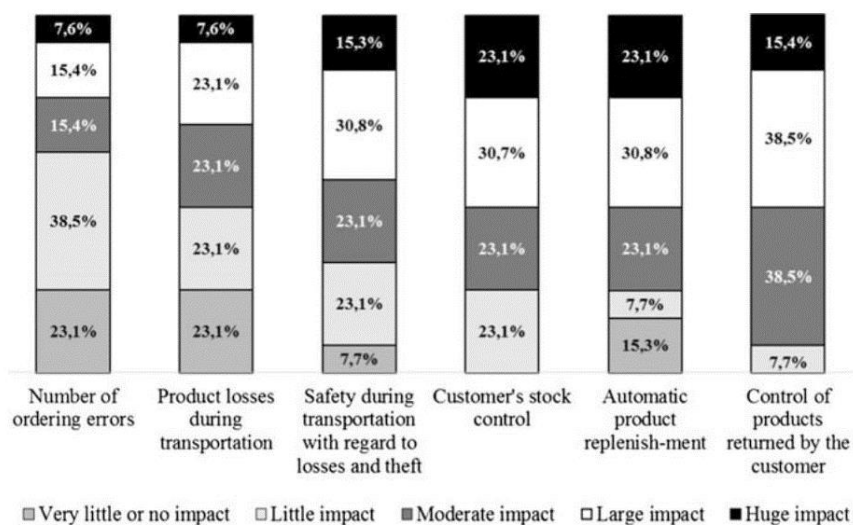


Fig. 16.6 If you use or will use IP, rate the degree of impact in the following activities

180

A.P.R. Noletto et al.

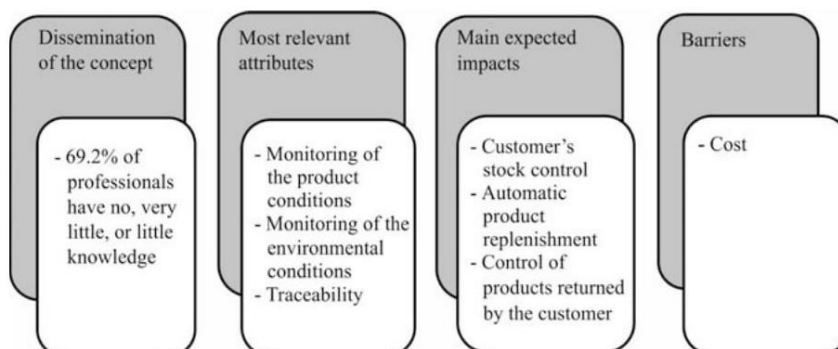


Fig. 16.7 Opportunities for IP in food industries in Brazil (*source* the author)

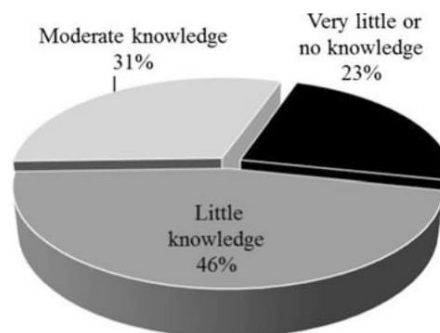
none of them replied to the open-ended questions regarding the description of these packages. Figure 16.7 presents a compilation of data collected on IP.

16.5.2 The Internet of Things (IoT)

The second part of the research focused on the subject of IoT. We asked the participants to answer what degree of knowledge they had on the subject of IoT and to predict the use of these systems in the logistics area of their companies. Figures 16.8, 16.9, and 16.10 show the results.

We asked participants to describe briefly their IoT systems, if their companies used them. Although four participants stated that they use IoT systems, only two participants reported the use of satellite and Global System for Mobile communication (GSM) management systems as their IoT systems but without presenting a description.

Fig. 16.8 Your knowledge on the subject of IoT



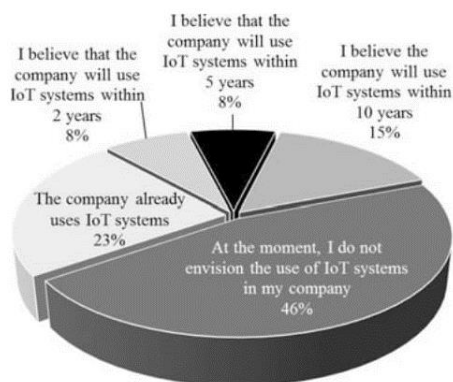


Fig. 16.9 Prediction of IoT use in the logistics area of your company

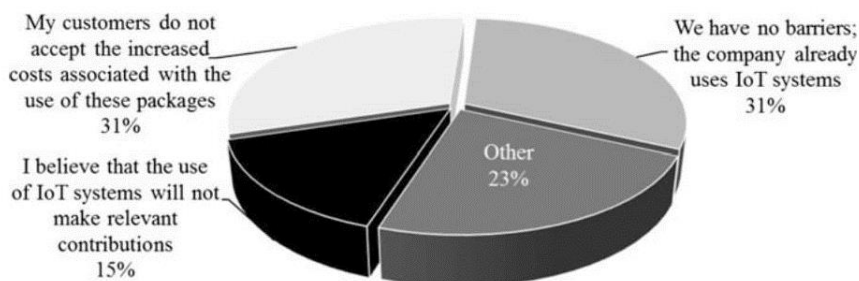


Fig. 16.10 Main barrier to IoT use in the logistics area of your company

16.6 Conclusion

Based on the results, we conclude that logistics professionals' lack of knowledge on these technologies represents a large barrier to their adoption because they are unable to envision the potential gains from their use. We observe that IP configurations with less attributes but with specific attributes that meet the users' needs at suitable prices may be adopted. Regarding IoT systems, the results show that, in addition to the lack of knowledge, some professionals reported inaccurate knowledge on this technology, considering technologies for vehicle tracking and satellite communications as IoT systems. In terms of future studies, we suggest the development of economic feasibility studies that consider, in addition to acquisition and implementation costs, the gains achieved in logistics operations and the reduction in food losses through the implementation of these technologies. Despite the focus of this work on the use of IP for packaging food, other areas, such as the pharmaceutical industry, are also studying its implementation.

Acknowledgments The authors thank the National Counsel of Technological and Scientific Development (CNPq), the Institute of Food Technology (ITAL), and the Logistics and Transportation Learning Laboratory (LALT) for the support provided to this study.

References

- Babbie ER (1990) Survey research methods. CA, Wadsworth, Belmont
- Dainelli D, Gontard N, Spyropoulos D, den Zondervan-van EB, Tobback P (2008) Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends Food Sci Technol* 19: S103–S112
- Dobrucka R, Cierpiszewski R (2014) Active and intelligent packaging food—research and development—a review. *Pol J Food Nutr Sci* 64(1):7–15
- European Commission (2009) Commission regulation 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/foodcontact/docs/guidance_active_and_intelligent_scofcah_231111_en.pdf. Accessed 24 June 2015
- FAO (2011) Global food losses and food waste—extent, causes and prevention. Rome. <http://fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>. Accessed 12 Aug 2015
- Fink A (1995) How to analyze survey data, vol 8. Sage, Los Angeles
- Goddard NDR, Kemp RMJ, Lane R (1997) An overview of smart technology. *Packag Technol Sci* 10:129–143
- Heising JK, Dekker M, Bartels PV, van Boekel MAJS (2012) A non-destructive ammonium detection method as indicator for freshness for packed fish: application on cod. *J Food Eng* 110(2):254–261
- Holguín-Veras J, Silas M, Polimeni J, Cruz B (2008) An investigation on the effectiveness of joint receiver-carrier policies to increase truck traffic in the off-peak hours. *Netw Spat Econ* 8(4):327–354
- Holler J, Tsiatsis V, Mulligan C, Avesand S, Karnouskos S, Boyle D (2014) From machine-to-machine to the Internet of things: introduction to a new age of intelligence. Elsevier Academic Press, Amsterdam
- Ibeas A, Moura JL, Nuzzolo A, Comi A (2012) Urban freight transport demand: transferability of survey results analysis and models. *Procedia—Soc Behav Sci* 54:1068–1079
- IERC—European Research Cluster on the Internet of Things (2010). http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm. Accessed 20 July 2015
- Kerry JP, O'grady MN, Hogan SA (2006) Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: a review. *Meat Sci* 74(1):113–130
- Kruijff NN, van Beest M, Rijk R, Sipiläinen-Malm T, Paseiro LP, De Meulenaer B (2002) Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. *Food Addit Contam* 19(S1): 144–162
- López TS, Ranasinghe DC, Harrison M, McFarlane D (2012) Adding sense to the Internet of Things. *Pers Ubiquit Comput* 16(3):291–308
- Muñuzuri J, Cortés P, Onieva L, Guadix J (2010) Modelling peak-hour urban freight movements with limited data availability. *Comput Ind Eng* 59(1):34–44
- Schilthuizen SF (1999) Communication with your packaging: possibilities for intelligent functions and identification methods in packaging. *Packag Technol Sci* 12(5):225–228
- Vanderroost M, Ragaert P, Devlieghere F, De Meulenaer B (2014) Intelligent food packaging: the next generation. *Trends Food Sci Technol* 39(1):47–62
- Whitmore A, Agarwal A, Xu LD (2014) The Internet of Things—a survey of topics and trends. *Inf Syst Front* 17(2):261–274

16 Intelligent Packaging and the Internet of Things in Brazilian ... 183

Wong CY, McFarlane D, Zaharudin AA, Agarwal V (2002) The intelligent product driven supply chain. In: Proceedings of the IEEE international conference on systems, man and cybernetics, vol 4, p 6

Yam KL, Takhistov PT, Miltz J (2005) Intelligent packaging: concepts and applications. J Food Sci 70:1–10

Anexo 3 - Artigo - “Potential use of intelligent packaging in urban logistics: Public and private sectors’ vision”.

Este artigo foi apresentado no *XIX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística* - PANAM 2016.

Noletto, Ana Paula Reis, Sérgio Adriano Loureiro, Rodrigo Barros Castro, and Orlando Fontes Lima Júnior. *“Potential use of intelligent packaging in urban logistics: Public and private sectors’ vision”*. Anais do XIX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística, pp. 488-493. 2017. México.

Potential use of intelligent packaging in urban logistics: Public and private sectors' vision*

Ana Paula Reis Noletto

ananoletto@gmail.com

Institute of Food Technology- ITAL, Brazil

Sérgio Adriano Loureiro

Rodrigo Barros Castro

Orlando Fontes Lima Júnior

Logistics and Transportation Learning Laboratory – LALT/UNICAMP

ABSTRACT

The conflict between stakeholders involved in freight transportation is a major complicating factor for the development and application of new models and plans regarding freight management. This study evaluates the potential use of technology and governance through cargo data sharing between public and private managers, coming from intelligent packaging. The results obtained in survey and interviews with these sectors show there are significant opportunities on data sharing for real time decision-making, improving urban logistics.

Keywords: Urban Logistics, Intelligent Packaging, Freight Transportation

1. INTRODUCTION

The major complicating factors for the development and application of new models and policies for freight management are the lack of urban infrastructure and the conflict between stakeholders involved in cargo transportation (HOLGUÍN-VERAS *et al.*, 2012). In this context, there are two possibilities for innovations in urban logistics: their development based on technology and governance (LIMA, 2013). Solutions based on technology are currently the most exploited and treat alternatives that involve road and logistics operations management. The governance-based solutions involving different actors are less frequent due to the difficulties of different groups' interests' coordination.

(*) This is an abridged version of the paper presented at the conference. The full version is being submitted to a journal. For getting details, please contact the authors.

Intelligent packaging in urban logistics

Intelligent Packaging Systems (IP) promote improvement in handling, storage and transport procedures, and ensure the advance of logistics operations management through sensors and remote communication systems for monitoring cargo in its real-time environment. (DAINELLI *et al.*, 2008).

The objective of this study is to evaluate IP technology potential use by the public and private sector, mainly regarding information sharing. Among this context, the work addresses the following issues: What is the current state of knowledge and use of this technology by the public and private sector? What are the implementation and operation difficulties of this technology by the public and private sector?

2. LITERATURE REVIEW

The collaboration between the different actors involved in logistics processes is essential to improve the life quality in urban centers (DABLANC, 2007). Considering the private and the public manager as the actors who have greater power to intervene in freight transport in urban areas, the use of information from IP can bring significant contributions to both managers in transport operations. We studied some of the articles defining the concept of "Intelligent Packaging" and these papers define IP as having the following features: self-identity, decision making, monitoring of environmental and product conditions, presents tracking system and communicates (YAM *et al.*, 2005).

3. METHODOLOGY

We conducted a survey with the private sector and semi-structured interviews with the public sector in order to identify their state of knowledge and the difficulties of implementation and operation of IP technology. In the survey, managers of the 20 largest food companies in Brazil, regarding sales (US\$), were selected and contacted for the research. We chose food companies because this type of freight represents approximately 30% of cargo in urban areas (HOLGUÍN-VERAS *et al.*, 2008). We conducted semi-structured interviews with public managers of Brazilian cities that present major challenges in urban logistics: Campinas, Guarulhos and São Paulo.

4. RESULTS

Figures 1 to 5 present the research results with the private sector.

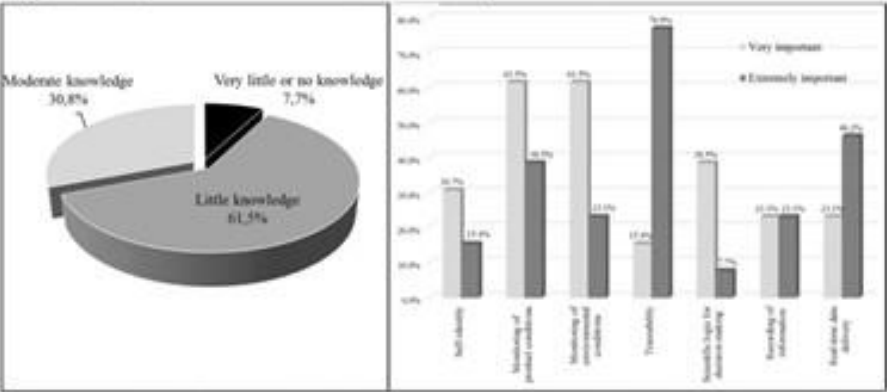


Figure 1 and 2 - Degree of knowledge on the subject of IP, and Attributes level of importance, respectively (Noletto *et al.*, 2016).

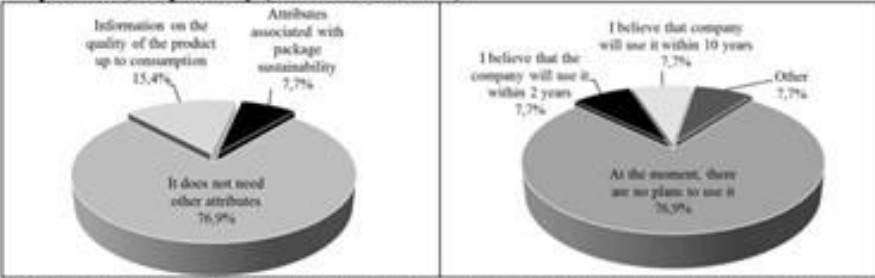


Figure 3 and 4 - Other attributes that an IP should have, and Prediction of IP use in your company, respectively (Noletto *et al.*, 2016).

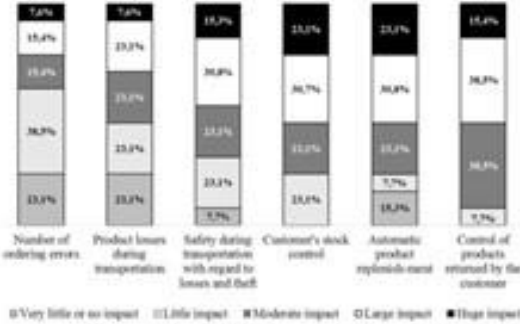


Figure 5 - If you use or will use IP, rate the degree of impact in the following activities (Noletto *et al.*, 2016)

Intelligent packaging in urban logistics

Question 5	Among the collaboration possibilities cited below which is the level of contribution that IP can provide (where 1 = poor contribution and 5 very high contribution)?
Traffic conditions monitoring	M1 - Grade 5 (however, needs a minimum spread because the information would be worthless if it came from a few loads) M2 – Grade 5 M3 – Grade 4
Use of loading and unloading zones	M1 - Grade 5 M2 – Grade 5 M3 - Grade 4
Informations regarding the vehicle	M1 - Grade 5 M2 – Grade 5 M3 - Grade 5
Information regarding the type of freight	M1 = 5 (identifies the operation difficulties' it requires) M2 – Grade 5 M3 - Grade 5
Question 6	What are the difficulties in the implementation of data sharing provided by IP?
Answer 6	M1 – The private sector does not present interest on sharing data for strategic / economic issues. The information can be valuable. M2 – Ensure security to access this information in the data bank. It could be conducted in partnership with entities (such as the Freight Transport Union) M3 – Correlating the database. Investments in protocol access and synchronization are needed Convincing the private sector that the public sector would only use the information for urban management purposes. Fear of being controlled on product data with respect to taxes payment (ICMs)

Table 3 - Interviews compilation**CONCLUSIONS**

Based on the results obtained in this study we conclude that the logistics professionals present in the food sector from private Brazilian companies have little knowledge and do not use intelligent packaging mainly because of cost issues. However, the professionals believe that there will be a big impact on the use of such packages regarding their interaction with customers. Both managers (public and private) visualize important contributions for urban logistics through location and type of freight and vehicle data sharing. However, some barriers such as cost of packages and confidentiality of shared information must be solved.

*Intelligent packaging in urban logistics***REFERENCES*****Journal Paper***

- DAINELLI, D.; GONTARD, N.; SPYROPOULOS, D.; ZONDERVAN-VAN den E. B.; Tobback, P. (2008) Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science & Technology*, v. 19, pp. S103–S112.
- DABLANC, L. (2007) Goods Transport in Large European Cities: Difficult to Organize, Difficult to Modernize. 41 *Transportation Research Part A*, pp. 280-285.
- DOBRUCKA R. y CIERPISZEWSKI R. (2014) Active and intelligent packaging food – Research and development – A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64.1, pp. 7-15.
- HOLGUÍN-VERAS, J.; SILAS, M.; POLIMENI, J.; CRUZ, B. (2008) "An investigation on the effectiveness of joint receiver-carrier policies to increase truck traffic in the off-peak hours." *Networks and Spatial Economics* 8.4, pp. 327-354.
- HOLGUÍN-VERAS, J.; MARQUIS, R.; BROM, M. (2012) Economic impacts of staffed and unassisted off-hour deliveries in New York city. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 39, pp. 34-46.
- LIMA, O. F. Jr. (2013) Logística Urbana se resolve com tecnologia e governança, 01/2013, *Revista Mundo Logística*, v. 36, pp.84-87.
- YAM, K.L.; TAKHISTOV, P.T.; MILTZ, J. (2005) Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science* 70: pp. 1–10.

Conference Paper

- NOLETTO, A. P. R., LOUREIRO, S. A., CASTRO, R. B. LIMA JR, O. F. *Proceedings of the 4th International Conference LDIC, 2016 Bremen, Germany.*

Anexo 4 - Descrição dos sensores e módulos do dispositivo inteligente

Informações e descrições dos sensores e módulos utilizados acompanham os datasheets anexos

Sensor de temperatura DS18B20

Fonte: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/433921/MAXIM/DS18B20.html>

Características:

- CI : DS18B20
- Comunicação 1-Wire Bus
- Resolução de até 12 bits
- Tensão de operação: 3 a 5,5V
- Faixa de medição de temperatura: -55 °C a +125 °C
- Precisão: +/- 0,5 °C entre -10 °C e +85 °C
- Ponta de aço inoxidável (6 x 50mm)

Ethernet Shield W5100 para Arduino

Fonte:

https://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/Arduino/W5100_Datasheet_v1_1_6.pdf

Características:

- Suporta protocolos TCP / IP: TCP, UDP, ICMP, IPv4 ARP, IGMP, PPPoE, Ethernet
- 10BaseT / 100BaseTX Ethernet PHY incorporado
- Suporta Negociação Automática (*Full-duplex e half duplex*)
- Suporta Auto MDI / MDIX
- Suporta conexão ADSL (com suporte a protocolo PPPoE com modo de autenticação PAP/CHAP)
- Memória interna de 16Kbytes para Tx / Rx Buffers
- Tecnologia CMOS de 0,18 µm
- Operação de 3,3 V com tolerância do sinal I/O de 5V
- Suporta Interface periférica serial (*SPI MODE 0, 3*)
- Saídas LED multifunções (*TX, RX, Full / Half duplex, Collision, Link, Speed*)

Arduino Uno - R3

Fonte: <https://www.sparkfun.com/products/11021>

Características:

- Microcontrolador ATmega328
- Tensão de entrada: 7-12V
- 14 pinos de E / S digitais (6 saídas PWM)
- 6 Entradas Analógicas
- Memória Flash de 32k
- Velocidade do Relógio de 16MHz

Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4

Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/fonte-dc-chaveada-9v-1a-plug-p4/>

Características:

- Tensão de entrada: Bivolt 100~250VAC 47~64Hz
- Tensão de saída: 9VDC
- Corrente de saída máxima: 1A
- Plugue: P4

Anexo 5 - Aplicação do modelo de simulação à situação proposta

null	null
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false

Variable: consumoDieselPorKm

nullConsumo de diesel por Km rodado para caminhão médio (14 t)

null	null
General	
Initial value	0.18
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false
Description	Consumo de diesel por Km rodado para caminhão médio (14 t)

Variable: somaTemposParadas

null	null
General	
Initial value	0
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false

Collection: fliaPontoVenda

null	null
General	
Initial contents	- Database Query Code Value
Initial contents	- Database Query Code Value
Element class	pontoVenda
Collection class	LinkedList
Show at runtime	true
Show name	true

null	null
Advanced	
Access type	public
Save in snapshot	true
Static	false

Collection: pontosVendaLocalização

null	null
General	
Initial contents	{ Extra, Alcazalia, DIA, PacDuAcucar, Carrefour, Extra }
Initial contents	{ Extra, Alcazalia, DIA, PacDuAcucar, Carrefour, Extra }
Element class	GISPoint
Collection class	ArrayList
Show at runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public
Save in snapshot	true
Static	false

Agent Presentation: caminhão_presentation

null	null
General	
Show at runtime	true
Public	true
Position and size	
Latitude	-23.660863506757942
Longitude	-46.65766027722295
Rotation	0.0
Scale	Automatically calculated
Real size when map scale is under	1000
Fixed size when map scale is under	1000000000
Advanced	
Show in	2D and 3D
Draw agent with offset to this position	false
Show name	false

Agent Presentation: frigorifico_presentation

null	null
General	
Show at runtime	true
Public	true
Position and size	
Latitude	-23.397145236648235
Longitude	-46.82176433960105
Rotation	0.0

Scale	Automatically calculated
Real size when map scale is under	1000
Fixed size when map scale is under	100000000
Advanced	
Show in	2D and 3D
Draw agent with offset to this position	false
Show name	false

Agent Presentation: ponto/vendas_presentation

General	
Show at runtime	true
Public	true
Position and size	
Latitude	-23.5445528478378
Longitude	-46.56767178920364
Rotation	0.0
Scale	Automatically calculated
Real size when map scale is under	1000
Fixed size when map scale is under	100000000
Advanced	
Show in	2D and 3D
Draw agent with offset to this position	false
Show name	false

GIS Map: map

General	
Show at runtime	true
Lock	false
Public	true
Title	
Show files	true
Tile provider	AnyLogic
Routing	
Routes are	Requested from OSM server
Routing server	AnyLogic
Routing method	Fastest
Road type	Car
If route not found	Create straight route
Center and scale	
Latitude	-23.57440071481895
Longitude	-46.25038003086501
Scale	400000
Appearance	
Border color	silver
Fill color	white

Position and size	
x	0.0
Width	1180.0
y	0.0
Height	940.0
Advanced	
Use custom tile URL	false
Use custom route provider	false
Routes and regions generalization	true
uses Current map scale	

View Area: viewArea

General	
Show name	false
Position and size	
x	0.0
Width	1180.0
y	0.0
Height	940.0

Link to agents: connections

General	
Show at runtime	true
Show name	true
Communication	
Message type	Object
Animation	
Draw line	false

Agent Type: Caninhão

Agent in flowcharts	Agent
Use in flowcharts as	
Movement	
Speed	(10 : 1MPS)
Rotate animation towards movement	true
Rotate vertically as well (along Z-axis)	false
Space and network	
Space Type	Continuous
Dynamic Width	500
Dynamic Height	500
Dynamic z Height	0
Layout Type	User-defined
Layout Type Apply On Startup	true
Network type	User-defined

Position and size	null	null
x		0.0
y		-150.0
Rotation		0.0

Function: function DistanciaRefTempoRetornoReal

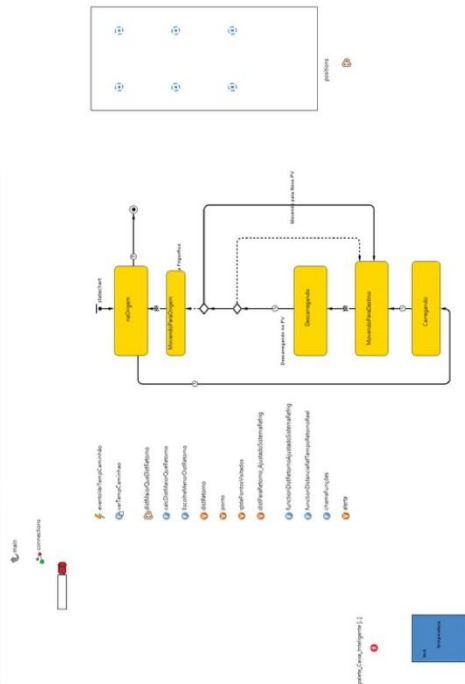
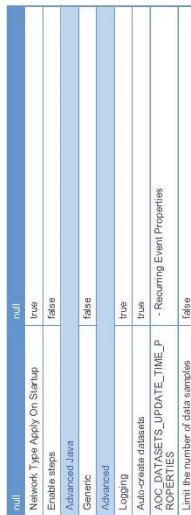
<i>ref</i>	<i>ref</i>
General	
Return type	Just action (returns nothing)
Show at runtime	true
Show name	true
Function body	
Body	do{Retorno = main.puntoVendas(ponto).distanciaPara(ponto).temp;
Advanced	
Static	false
Access type	default
System dynamics units	false

Function: calcDistMaiorQueRetorno

rule	rule
General	
Return type	Just action (returns nothing)
Show at runtime	true
Show name	true
Function body	
Body	<pre>for(Pileto, Cols, Indulgents p : palette, Cols, Indulgents) if (distanceT(xmain,point)/vendo(indpV))>= distRefmeo && main.pointVendo(p,DPV) viaLado=-false){ Pedido r = new Pedido (p,DPV, main.xmain,point,vendo(indpV)); distMain = distMainRefmeo and (p); }</pre>
Advanced	
Static	false
Access type	default
System dynamic's role	false

Function: EscolheMenorDistRetorno

call	result
General	
Return type	Return type
Show at runtime	True
Show name	True
Function body	
Body	double move = distMaxQueRetorno.get(0).distancia; ponto = distMaxQueRetorno.get(0).pViz; for (Ponto x : distMaxQueRetorno)



Scale: scale

General	metric
Unit	10.0
Type	Defined graphically
Length, pixels	100.0
Show at runtime	false
Lock	false
Public	false

<pre> if (x.distancia < menor){ menor = x.distancia; ponto = x.PPV; } </pre>	<pre> if (x.distancia < menor){ menor = x.distancia; ponto = x.PPV; } </pre>
Advanced	
Static	Italia
Access type	default
System dynamics units	italian

-Function: functionDistRetornoAjustadoSistemaRefrig

run	run
General	
Return type:	Just action (returns nothing)
Show at runtime	true
Show name	true
Function body	
Body	disp:=ar.Returno;Justus:=System.starting - main.ponto.Variavel(ponto).dispar:=ar.Returno;Temp:=Justus.do;
Advanced	
Static	false
Access type	default
System dynamics units	false

Function: chamaFunções

[illegible]

Table Function: varTempCaminhao

	General	Neurosci.
a. # of rashes/behavior		
b. null	null	

Linear	Linear
Show all online	True
Show name	True
Tableids	True
Load From Database	False
Advanced	
Static	True
Access type	Public
System dynamics units	Fractions

null	null
0.0	4.0
15.0	15.0
60.0	19.0

Event: eventoVarTempCaminhão

null	General	null
Logging	General	True
EVENT_TIMEOUT_PROPERTIES	Logging	True
- Recurring Event Properties	EVENT_TIMEOUT_PROPERTIES	- Occurs once
Mode	- Occurs once	Timeout
Trigger type	Timeout	True
Show at runtime	True	
Show name		True
Action		
Action		<pre>double temperatureCelsius; int x = uniform_discr(10, 50); double y = varTempCelsius.noise(); double y = varTempCelsius.noise(); temperatureCelsius = y; //noise() TempCelsiusCelsius.noise() = x;</pre>

Variable: distRetorno

null	null
General	
Type	double
Show all runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false

Variable: ponto

Model	Null	Null
Model 1		
Model 2		
Model 3		
Model 4		
Model 5		
Model 6		
Model 7		
Model 8		
Model 9		
Model 10		
Model 11		
Model 12		
Model 13		
Model 14		
Model 15		
Model 16		
Model 17		
Model 18		
Model 19		
Model 20		
Model 21		
Model 22		
Model 23		
Model 24		
Model 25		
Model 26		
Model 27		
Model 28		
Model 29		
Model 30		
Model 31		
Model 32		
Model 33		
Model 34		
Model 35		
Model 36		
Model 37		
Model 38		
Model 39		
Model 40		
Model 41		
Model 42		
Model 43		
Model 44		
Model 45		
Model 46		
Model 47		
Model 48		
Model 49		
Model 50		
Model 51		
Model 52		
Model 53		
Model 54		
Model 55		
Model 56		
Model 57		
Model 58		
Model 59		
Model 60		
Model 61		
Model 62		
Model 63		
Model 64		
Model 65		
Model 66		
Model 67		
Model 68		
Model 69		
Model 70		
Model 71		
Model 72		
Model 73		
Model 74		
Model 75		
Model 76		
Model 77		
Model 78		
Model 79		
Model 80		
Model 81		
Model 82		
Model 83		
Model 84		
Model 85		
Model 86		
Model 87		
Model 88		
Model 89		
Model 90		
Model 91		
Model 92		
Model 93		
Model 94		
Model 95		
Model 96		
Model 97		
Model 98		
Model 99		
Model 100		

IoT - Embodied Intelligence

General	Access type	public
Initial value	Static	false
Type	Constant	false
Show at runtime	Save in snapshot	true
Show name	System dynamics units	false
Advanced		
Access type	Static	false
Initial value	Constant	false
Type	Save in snapshot	true
Show at runtime	System dynamics units	false
Show name		

Variable: qdePontosVisitados

General	Access type	public
Initial value	Static	false
Type	Constant	false
Show at runtime	Save in snapshot	true
Show name	System dynamics units	false
Advanced		
Access type	Static	false
Initial value	Constant	false
Type	Save in snapshot	true
Show at runtime	System dynamics units	false
Show name		

Variable: disParaRetorno_AjustadoSistemaRefrig

General	Access type	public
Initial value	Static	false
Type	Constant	false
Show at runtime	Save in snapshot	true
Show name	System dynamics units	false
Advanced		
Access type	Static	false
Initial value	Constant	false
Type	Save in snapshot	true
Show at runtime	System dynamics units	false
Show name		

Variable: alerta

General	Access type	public
Initial value	Static	false
Type	Constant	false
Show at runtime	Save in snapshot	true
Show name	System dynamics units	false
Advanced		
Access type	Static	false
Initial value	Constant	false
Type	Save in snapshot	true
Show at runtime	System dynamics units	false
Show name		

IoT - Embodied Intelligence

General	Access type	public
Initial value	Static	false
Type	Constant	false
Show at runtime	Save in snapshot	true
Show name	System dynamics units	false
Advanced		
Access type	Static	false
Initial value	Constant	false
Type	Save in snapshot	true
Show at runtime	System dynamics units	false
Show name		

Collection: positions

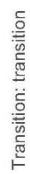
General	Access type	public
Initial value	Static	false
Type	Constant	false
Show at runtime	Save in snapshot	true
Show name	System dynamics units	false
Advanced		
Access type	Static	false
Initial value	Constant	false
Type	Save in snapshot	true
Show at runtime	System dynamics units	false
Show name		

Collection: distMaiorQueDistRetorno

General	Access type	public
Initial value	Static	false
Type	Constant	false
Show at runtime	Save in snapshot	true
Show name	System dynamics units	false
Advanced		
Access type	Static	false
Initial value	Constant	false
Type	Save in snapshot	true
Show at runtime	System dynamics units	false
Show name		

Statechart Entry Point: statechart

General	Access type	public
Initial value	Static	false
Type	Constant	false
Show at runtime	Save in snapshot	true
Show name	System dynamics units	false
Advanced		
Access type	Static	false
Initial value	Constant	false
Type	Save in snapshot	true
Show at runtime	System dynamics units	false
Show name		



name	value
General	
Timeout	(0 - MINUTE)
Trigger type	Timeout
Show name	false

Transition: transition1

	null	null
General		
Timeout	(0 - MINUTE)	
Trigger type	Timeout	
Show name	false	

Transition: transition2

rufl	rufl
General	
Action	main.rn(nVenda(ponto)) visita= true; quePontoVisita= nV+1;
Trigger type	Agent arrival
Shon name	false

Transition: transition3

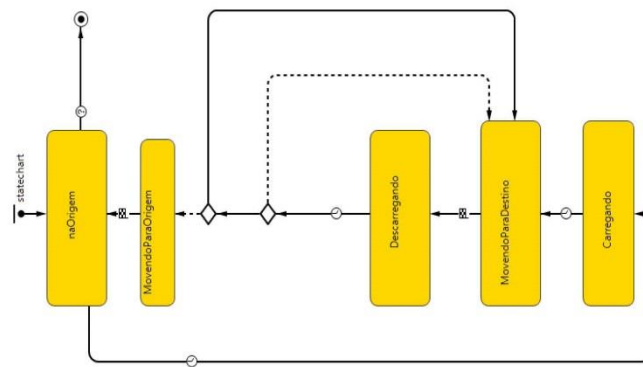
null	null
General	
Action	function DistanciaRefTempoRetornoReal([funcionDistanciasActualizadasSolucionRefinigi, funcionDistanciasActualizadasSolucionRefinigi, main_sonnet, tiempoParadas, == (main_punto/Ventas_pedido(punto), tiempoParadas(punto), (main_punto/Ventas_pedido(punto), tiempoParadas(punto), (main_punto/Ventas_pedido(punto), tiempoParadas(punto)) : MINUTE)
Timeout	Timeout
Trigger type	
Show name	false

Transition: transition6

rule	rule
General	
Condition	alerta=true
Default Transition	false
Show name	false

Transition: transition4

General	null	null
Action		<pre>int i=0; while(mian.puntoVendido()<visitadomicilio.ig&& i<5){ i++; }</pre>



null	null
General	
Condition	qdePortosVisitados==6
Trigger type	Condition
Show name	false

State: naOrigem

null	null
General	
Show name	true

State: Carregando

null	null
General	
Show name	True

State: MovendoParaDestino

Full name	Full
General	
Entry action	double del; (del = distanceOf(main ponto/verdes(ponto), KLOWERYM 12; main distanciaPerCaminho == dist. moveTo(main ponto/verdes, get(ponto));
Show name	lugar

State: Descargar

null	null
General	
Entry action	funcionDistanciaRefTempoRetornoReal(); chamarFungoes();
Show name	true

State: MovendoParaOrigem

	General	null	null
Show name		InUse	

Branch: branch1

null	null
General	
Show name	false

Branch: branch

General	null
General	null

red	<pre> 1) if(distRetorno < distanciaT(main.ponto/verdes)){}; ponto = i; if(distParRetorno_AjustadoSistemaReflex<distanciaT(main.ponto /verdes/ponto)){} tracear("Núste do Sistema de Referência"); calcDistMáscaraRetorno(); if(distMáscaraRetorno.size()<1){ while((main.ponto/verdes).visado==que s.d. r=6){ } ponto = j; tracear("Rota Original"); while(EspiralMenorDistRetorno); tracear("Altera o próximo Ponto de Verdes"); } } moveT(main.ponto/verdes.gal(ponto)); } </pre>
Condition	false
Default Transition	false
Show name	false

Transition: transition5

null	null
General	
Action	double dist; dist = distanceTo(mom, ligroficlo, KILOMETER * 2; dist = distanceTo(mom, ligroficlo, KILOMETER * 2; moveTo(mom, ligroficlo)
Default Transition	ltus
	false
Show name	

Transition: transition7

null	null
General	
Trigger type	Agent arrival
Show name	false

Transition: transition9

<i>ref.</i>	<i>ref.</i>
General	
Action	<pre> int i=0; while(main.point()!=end()) { while(omni.point()!=end() && i<5) i++; omni=i; while(omni.point()!=end() && i<5) i++; } </pre>
Default Transition	<pre> true and (omni.point()!=end() && i<5); </pre>
Show clause	false

Transition: transition8

IoT - Embodied Intelligence

null	null
Advanced	
Show in	2D only
Show name	false

Text: text7

null	null
General	
Show at runtime	false
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Text	
Text	Volando para Frigorífico
Appearance	
Color	black
Alignment	LEFT
Position and size	
x	600.0
y	240.0
z	0.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show in	2D only
Show name	false

Rectangle: rectangle

null	null
General	
Show at runtime	
Lock	false
Public	false
Appearance	
Line color	black
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	1000.0
Width	220.0
y	60.0
Height	480.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show in	2D and 3D
Show name	false

IoT - Embodied Intelligence

null	null
Show name	false

Final State: finalState

null	null
General	
Show name	false

Text: text

null	null
General	
Show at runtime	false
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Text	
Text	Moviendo para Novo PV
Appearance	
Color	black
Alignment	LEFT
Position and size	
x	760.0
y	480.0
z	0.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show in	2D only
Show name	false

Text: text6

null	null
General	
Show at runtime	false
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Text	
Text	Descargando no PV
Appearance	
Color	black
Alignment	LEFT
Position and size	
x	460.0
y	460.0
z	0.0
Rotation	0.0

IoT - Embodied Intelligence

Agent Presentation: palette_Caixa_Inteligente_presentation

null	null
General	
Show at runtime	true
Public	false
Position and size	
X	-120.0
Y	800.0
Z	0.0
Rotation	0.0
Scale	Automatically calculated
Advanced	
Show in	2D and 3D
Draw agent, with offset to this position	false
Show name	false

Group: truck

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Position and size	
X	0.0
Y	0.0
Z	0.0
Rotation	0.0
Dynamic: X Scale	0.5
Dynamic: Y Scale	0.5
Dynamic: Z Scale	0.5
Advanced	
Show in	2D only
Show name	false

Group: _ps106

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Position and size	
X	20.0
Y	0.0
Z	0.0

IoT - Embodied Intelligence

Rectangle: _ps107

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	darkGray
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
X	-24.0
Width	25.0
Y	-7.0
Height	13.0
Z	0.0
Z-Height	10.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show name	false

Rectangle: _ps108

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	black
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
X	-15.0
Width	6.0
Y	-9.0
Height	17.0
Z	0.0
Z-Height	10.0
Rotation	0.0
Advanced	

null	null
Show name	false

Rectangle: _ps109

null	
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	gray
Line color	gray
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	16.0
Width	2.0
y	6.0
Height	16.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Rotation	90.0
Advanced	
Show name	false

Rectangle: _ps110

null	
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	gray
Line color	gray
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	16.0
Width	2.0
y	-9.0
Height	16.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Rotation	90.0
Advanced	
Show name	false

Curve: _ps111

null	
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Line color	new Color(55, 22, 22)
Fill color	new Color(104, 11, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	0.0
y	-8.0
Advanced	
Control points are set automatically	true
Show name	false

Rectangle: _ps112

null	
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	gray
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	-3.0
Width	2.0
y	-7.0
Height	8.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show name	false

Curve: _ps113

null	
General	
Polyline closed	false
Show at runtime	true

IoT - Embodied Intelligence

null	null
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Line color	new Color(128, 35, 25)
Fill color	new Color(218, 0, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	21.0
y	3.0
Advanced	
Control points are set automatically	true
Show name	false

Rectangle: _ps114

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	black
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	-22.0
Width	6.0
y	-0.0
Height	17.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show name	false

Curve: _ps115

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(218, 0, 0)

IoT - Embodied Intelligence

null	null
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	0.0
y	6.0
Advanced	
Control points are set automatically	true
Show name	false

Curve: _ps116

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(51, 53, 86)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	11.0
y	6.0
Advanced	
Control points are set automatically	true
Show name	false

Curve: _ps117

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	black
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	17.0
y	-10.0
Advanced	
Control points are set automatically	true
Show name	false

IoT - Embodied Intelligence

Curve: _ps118

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	black
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	17.0
y	9.0
Advanced	
Control points are set automatically	true
Show name	false

Group: _ps119

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Position and size	
x	-21.0
y	0.0
z	0.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show name	false

Rectangle: _ps120

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	silver
Line color	black
Line width	1.0
Line style	SOLID

IoT - Embodied Intelligence

Curve: _ps121

null	null
Position and size	
x	-37.0
Width	73.0
y	-10.0
Height	19.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show name	false

Rounded Rectangle: _ps121

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	white
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	-36.0
Width	71.0
y	-8.0
Height	15.0
Rotation	0.0
Radius	1.0
Advanced	
Show name	false

Link to agents: connections

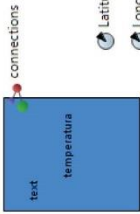
null	null
General	
Show at runtime	true
Show name	true
Communication	
Message type	Object
Animation	
Draw line	false

Agent Type: Palette_Caixa_Inteligente

null	null
Agent in forecasts	
Use in forecasts as	Agent

null	null
Movement	
Speed	(10 : FPS)
Rotate animation towards movement	true
Rotate vertically as well (along Z-axis)	false
Space and network	
Space Type	Continuous
Advanced Java	
Generic	false
Advanced	
Logging	true
Auto-create datasets	true
AOC DATASETS_UPDATE_TIME_P ROPERTIES	- Recurring Event Properties
Limit the number of data samples	false

↻ main ↻ caminho



- tempProduto
- eventoTempProdutoAposAberReal
- callTempProduto
- tempoPortaAbertaHistoricoPV
- idPV
- distanciaParaPV
- LatitudeDestino
- LongitudeDestino

Scale: scale

null	null
General	
Unit	meter
Scale	10.0
Type	Defined graphically
Length, pixels	100.0
Show at runtime	false
Lock	false
Public	false
Position and size	
x	0.0
y	-150.0
Rotation	0.0

Parameter: LatitudeDestino

null	null
General	
Array	
Type	false
Show at runtime	double
Show name	true
Value editor	Text
Editor control	
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: LongitudeDestino

null	null
General	
Array	
Type	false
Show at runtime	double
Show name	true
Value editor	Text
Editor control	
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: tempoPortaAbertaHistoricoPV

null	null
General	
Array	
Type	false
Show at runtime	double
Show name	true
Value editor	Text
Editor control	
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: idPV

null	null
General	
Array	
Default value	init.gainx()
Type	int
Show at runtime	true

IoT - Embodied Intelligence

null	null
Action	
tempProduto = call tempProduto();	
if(tempProduto>4){	
camisao.alerta=true;	
}	

Variable: tempProduto

null	null
General	
Initial value	4
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false

Rectangle: rectangle

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	dodgerBlue
Line color	black
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	-60.0
y	-60.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show in	2D and 3D
Show name	false

Text: name

null	null
------	------

IoT - Embodied Intelligence

null	null
Show name	true
Value editor	idPV
Label	
Editor control	Text
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: distanciaParapV

null	null
General	
Array	false
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Value editor	
Editor control	Text
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Function: callTempProduto

null	null
General	
Return type	double
Returns value	
Show at runtime	true
Show name	true
Function body	
Body	if (ponto == main.camisao.ponto); double distanciaParapV = 6.5134-(0.7144*main.pontoYendes(ponto).temperaturaAposAberReal);
Advanced	
Static	false
Access type	default
System dynamics units	false

Event: eventoTempProdutoAposAberReal

null	null
General	
Logging	true
EVENT_TIMEOUT_PROPERTIES	- Recurring Event Properties
Mode	Occurs once
Trigger type	Timeout
Show at runtime	true
Show name	true

IoT - Embodied Intelligence

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Text	text
Dynamic Text	{this.getIndex() }
Appearance	
Color	black
Alignment	LEFT
Position and size	
x	-40.0
y	-40.0
z	0.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show in	2D only
Show name	false

Text: text

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Text	text
Dynamic Text	temperatura
Appearance	
Color	black
Alignment	LEFT
Position and size	
x	-20.0
y	-10.0
z	0.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show in	2D only
Show name	false

Link to agents: connections

null	null
General	
Show at runtime	true

IoT - Embodied Intelligence

null	null
Show name	true
Communication	
Message type	Object
Animation	
Draw line	false

Agent Type: Leitura

null	null
Agent in flowcharts	
Use in flowcharts as	Agent
Movement	
Speed	(10 : MPS)
Rotate animation towards movement	true
Rotate vertically as well (along Z-axis)	false
Space and network	
Space Type	Continuous
Advanced Java	
Generic	false
Advanced	
Logging	true
Auto-creates datasets	true
ACQ-DATASETS_UPDATE_TIME_P	- Recurring Even Properties
Limit the number of data samples	false



Scale: scale

null	null
General	
Unit	meter
Scale	10.0

null	null
Type	Defined graphically
Length, pixels	100.0
Show at runtime	false
Lock	false
Public	false
Position and size	
x	0.0
y	-150.0
Rotation	0.0

Parameter: id

null	null
General	
Array	false
Type	Paired, Calva, Intelligente
Show at runtime	true
Show name	true
Value editor	
Editor control	Text
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: temperatura

null	null
General	
Array	false
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Value editor	
Editor control	Text
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Link to agents: connections

null	null
General	
Show at runtime	true
Show name	true
Communication	
Message type	Object

null	null
Animation	
Draw line	false

Agent Type: Pedido

null	null
Agent in flowcharts	
Use in flowcharts as	Agent
Movement	
Speed	(10: .MPS)
Rotate animation towards movement	true
Rotate vertically as well (along Z-axis)	false
Space and retrack	
Space Type	Continuous
Advanced Java	
Generic	false
Advanced	
Logging	true
Auto-create datasets	true
AOC DATASETS UPDATE TIME P ROPERTIES	- Recurring Event Properties
Limit the number of data samples	false



Scale: scale

null	null
General	
Unit	meter
Scale	10.0
Type	Defined graphically
Length, pixels	100.0
Show at runtime	false
Lock	false
Public	false
Position and size	

IoT - Embodied Intelligence

null	null	null
Speed	(10 : MPS)	true
Rotate animation towards movement		false
Rotate vertically as well (along Z-axis)		false
Space and network		
Space Type	Continuous	
Advanced Java	false	
Genetic		
Advanced		
Logging	true	
Auto-create datasets	true	
AOC DATASETS_UPDATE_TIME_P	- Recurring Event Properties	
ROPERTIES		
Limit the number of data samples	false	



Scale: scale

null	null	null
General		
Unit	meter	
Scale	10.0	
Type	Defined graphically	
Length pixels	100.0	
Show at runtime	false	
Lock	false	
Public		
Position and size		
x	0.0	
y	-150.0	
Rotation	0.0	

Group: factory

null	null	null
General		
Show at runtime	true	
Lock	false	

IoT - Embodied Intelligence

null	null	null
X	0.0	
Y	-150.0	
Rotation	0.0	

Parameter: idPV

null	null	null
General		
Array	false	
Type	int	
Show at runtime	true	
Show name	true	
Value editor		
Editor control	Text	
Advanced		
System dynamics units	false	
Save in snapshot	true	

Parameter: distancia

null	null	null
General		
Array	false	
Type	double	
Show at runtime	true	
Show name	true	
Value editor		
Editor control	Text	
Advanced		
System dynamics units	false	
Save in snapshot	true	

Link to agents: connections

null	null	null
General		
Show at runtime	true	
Show name	true	
Communication		
Message type	Object	
Animation		
Draw line	false	

Agent Type: Frigorifico

null	null	null
Agent in flowcharts		
Use in flowcharts as	Agent	
Movement		

IoT - Embedded Intelligence

null	null
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Polyline: _ps289

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(246, 84, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	12.0
y	-1.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Curve: _ps290

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(188, 35, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	2.0
y	-4.0
Advanced	
Control points are set automatically	true
Show name	false

Curve: _ps291

null	null
------	------

IoT - Embedded Intelligence

null	null
Embedded icon	false
Public	true
Position and size	
x	0.0
y	0.0
z	0.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show in	2D only
Show name	false

Polyline: _ps287

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(0, 0, 80)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	0.0
y	15.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Polyline: _ps288

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(208, 99, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	-16.0
y	7.0

IoT - Embologos Intelligence

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(188, 35, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	8.0
y	-1.0
Advanced	
Control points are set automatically	true
Show name	false

Polyline: _ps292

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(248, 64, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	-4.0
y	7.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Polyline: _ps293

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(188, 35, 0)

IoT - Embologos Intelligence

null	null
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	-4.0
y	13.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Polyline: _ps294

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(118, 18, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	0.0
y	11.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Polyline: _ps295

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(118, 18, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	4.0
y	9.0
z	0.0
Z-Height	10.0

IoT - Embodied Intelligence

Advanced	null
Show name	false

Polyline: _ps296

General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(18, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
X	8.0
Y	7.0
Z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Curve: _ps297

General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Line color	new Color(70, 8, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
X	12.0
Y	-1.0
Advanced	
Control points are set automatically	true
Show name	false

Link to agents: connections

General	
Show name	false

IoT - Embodied Intelligence

Advanced	null
Show at runtime	true
Show name	true
Communication	
Message type	Object
Animation	
Draw line	false

Agent Type: pontoVenda

General	
Agent in flowcharts	null
Use in flowcharts as	Agent
Movement	
Speed	(10 : MPS)
Rotate animation towards movement	true
Rotate vertically as well (along Z-axis)	false
Space and network	
Space Type	Continuous
Advanced Java	
Generic	false
Advanced	
Logging	true
Auto-create datasets	true
AOC DATASETS, UPDATE, TIME, P	- Recurring Event Properties
ROPERTIES	
Limit the number of data samples	false

IoT - Embodied Intelligence

main

connections

<text>

código

nome

tamanhoPedido

tempoDescarga

tempoMedioPortaAberta

désvio

visitado

V tempoPortaAberta

F calcTempoPortaAberta

V temperaturaBauAposAbert

F calcTemperaturaBauAposAbert

V tempoParaRetomoTemp

F calcTempoParaRetomoTemp

V distanciaParaRetomoTemp

F calcDistanciaParaRetomoTemp

V distanciaParaRetomoTempAjustado

F calcDistanciaParaRetomoTempAjustado

Scale: scale

null

null

IoT - Embodied Intelligence

null	null
General	
Unit	meter
Scale	10.0
Type	Defined graphically
Length, pixels	100.0
Show at runtime	false
Lock	false
Public	false
Position and size	
X	0.0
Y	-150.0
Rotation	0.0

Parameter: código

null	null
General	
Array	false
Type	int
Show at runtime	true
Show name	true
Value editor	Text
Editor control	
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: nome

null	null
General	
Array	false
Type	String
Show at runtime	true
Show name	true
Value editor	Text
Editor control	
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: tamanhoPedido

null	null
General	
Array	false
Type	int
Show at runtime	true
Show name	true

IoT - Embodied Intelligence

null	null
General	
Unit	meter
Scale	10.0
Type	Defined graphically
Length, pixels	100.0
Show at runtime	false
Lock	false
Public	false
Position and size	
X	0.0
Y	-150.0
Rotation	0.0

Parameter: código

null	null
General	
Array	false
Type	int
Show at runtime	true
Show name	true
Value editor	Text
Editor control	
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: nome

null	null
General	
Array	false
Type	String
Show at runtime	true
Show name	true
Value editor	Text
Editor control	
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: tamanhoPedido

null	null
General	
Array	false
Type	int
Show at runtime	true
Show name	true

null	null
General	
Return type	double
Returns value	
Show at runtime	true
Show name	true
Function body	
Body	<code>double y = ((pow(E, ((5.85-(tempoPortaAberta*-1.044)))/60))-(E, ((5.85-(tempoPortaAberta*0.12))))/(tempoPortaAberta+1); return(y);</code>
Advanced	
Static	false
Access type	default
System dynamics units	false

Function: calcTemperaturaBauAposAbert

null	null
General	
Return type	double
Returns value	
Show at runtime	true
Show name	true
Function body	
Body	<code>double y = ((1.37*60*tempoPortaAberta)/(1.38-(tempoPortaAberta*60)); //usando curva de cma = temperatura maxima na porta //usando curva de btau = temperatura maxima no fundo //usando y = ((pow(E, ((0.10-(tempoPortaAberta*101.470.00001))))/(pow((tempoPortaAberta*60)-1, -0.33)))+(pow(E, ((144*0.01)))/(pow((tempoPortaAberta*60)-1, -1.48))))); return(y);</code>
Advanced	
Static	false
Access type	default
System dynamics units	false

Function: calcTempoPortaAberta

null	null
General	
Return type	double
Returns value	
Show at runtime	true
Show name	true
Function body	
Body	<code>double y = normal(diasio, tempoMedioPortaAberta); return y;</code>
Advanced	
Static	false
Access type	default

null	null
Value editor	
Editor control	Text
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: tempoDescarga

null	null
General	
Array	false
Type	int
Show at runtime	true
Show name	true
Value editor	
Editor control	Text
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: tempoMedioPortaAberta

null	null
General	
Array	false
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Value editor	
Editor control	Text
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Parameter: desvio

null	null
General	
Array	false
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Value editor	
Editor control	Text
Advanced	
System dynamics units	false
Save in snapshot	true

Function: calcTempoParaRetornoTemp

null	null
System dynamics units	false

Function: calcDistanciaParaRetornoTemp

null	null
General	
Return type:	double
Returns value	
Show at runtime	true
Show name	true
Function body	
Body	double y = tempoParaRetornoTemp*416.7; return(y);
Advanced	
Static	false
Access type	default
System dynamics units	false

Function: calcDistanciaParaRetornoTempAjustado

null	null
General	
Return type:	double
Returns value	
Show at runtime	true
Show name	true
Function body	
Body	double y = distanciaParaRetornoTemp*0.7; return(y);
Advanced	
Static	false
Access type	default
System dynamics units	false

Variable: distanciaParaRetornoTemp

null	null
General	
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false

Variable: temperaturaBauAposAbert

null	null
General	
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false

Variable: tempoPortaAberta

null	null
General	
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false

Variable: tempoParaRetornoTemp

null	null
General	
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false

Variable: visitado

null	null
General	
Initial value	false
Type	boolean
Show at runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public

IoT - Embodied Intelligence

null	null
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false

Variable: distanciaParaRetornoTempAjustado

null	null
General	
Type	double
Show at runtime	true
Show name	true
Advanced	
Access type	public
Static	false
Constant	false
Save in snapshot	true
System dynamics units	false

Text: text

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Text	
Dynamic Text	this.gdiIndex()
Appearance	
Color	red
Alignment	LEFT
Position and size	
x	-20.0
y	-30.0
z	0.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show in	2D only
Show name	false

Group: store

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false

IoT - Embodied Intelligence

null	null
Public	true
Position and size	
x	0.0
y	0.0
z	0.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show in	2D only
Show name	false

Polyline: _ps268

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(0, 0, 0, 80)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	0.0
y	12.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Polyline: _ps269

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(153, 204, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	0.0
y	4.0
z	0.0

IoT - Embodied Intelligence

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(65, 100, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	-10.0
y	7.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Line: _ps273

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Line color	new Color(103, 158, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	2.0
dx	0.0
y	11.0
dy	-6.0
z	0.0
dZ	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Line: _ps274

null	null
General	
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true

IoT - Embodied Intelligence

null	null
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Polyline: _ps270

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(131, 200, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	-12.0
y	6.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Polyline: _ps271

null	null
General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	
Fill color	new Color(103, 158, 0)
Line width	1.0
Line style	SOLID
Position and size	
x	0.0
y	12.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Polyline: _ps272

null	null
------	------

IoT - Embalagem Inteligente

Appearance	new Color(31, 200, 0)
Line color	1.0
Line width	SOLID
Line style	
Position and size	
x	-2.0
dx	0.0
y	11.0
dy	-8.0
z	0.0
dz	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Polyline: _ps275

General	
Polyline closed	true
Show at runtime	true
Lock	false
Embedded icon	false
Public	true
Appearance	new Color(32, 50, 0)
Line color	1.0
Line width	SOLID
Line style	
Position and size	
x	0.0
y	12.0
z	0.0
Z-Height	10.0
Advanced	
Show name	false

Link to agents: connections

General	
Show at runtime	true
Show name	true
Communication	
Message type	Object
Animation	
Draw line	false

Simulation Experiment: Simulation

IoT - Embalagem Inteligente

General	
Maximum available memory	2048
Agent type	Main
Model time	
Execution mode	Real time with scale
Real time scale	1.0
Stop option	Stop at specified time
Initial time	0.0
Final time	600.0
Initial date	Wed Mar 15 00:00:00 GMT 2017
Randomness	
Random Number Generation Type	Fixed seed (reproducible simulation runs)
Seed value	1
Selection mode for simultaneous events	LIFO (in the reverse order of scheduling)
Window	
Title	Rota - Simulation
Enable zoom and panning	true
Maximized size	false
Close confirmation	false
Advanced	
Enable Antialiasing	true
Enable Enhanced Model Elements Animation	true
Adaptive frame management	true
CPU time balance	1 : 2
Load root from snapshot	false

Embalagem Inteligente para Alimentos Refrigerados

Run

Text: text

General	
Show at runtime	true
Lock	false
Text	
Text	Embalagem Inteligente para Alimentos Refrigerados
Appearance	
Color	royalBlue
Alignment	LEFT
Position and size	
x	40.0
y	40.0

null	null
z	0.0
Rotation	0.0
Advanced	
Show name	false

Button: button

null	null
General	
Enabled	true
Dynamic Label	getState() == IDLE ? "Run" : "Top level agent"
Label text	Run
Action	
Action	if (getState() == IDLE) run(); getPresentable().setPresentable(getEngine().getFoot());
Position and size	
X	40.0
Width	100.0
Y	80.0
Height	30.0
Advanced	
Show name	false

Database: Database

null	null
Import	
List of tables import data settings	[- Import Settings, - Import Settings]
Log	
Logging	false

Database Table: plan1

null	null
Advanced	
Cached database table	false

null	null	null	null	null
código	INTEGER	-	-	-
nome	VARCHAR(16777216)	-	-	-
tamanho_pedido	INTEGER	-	-	-
tempo_descarga	INTEGER	-	-	-
latitude	DOUBLE	-	-	-
longitud	DOUBLE	-	-	-
tempo_satur	DOUBLE	-	-	-
desapad	DOUBLE	-	-	-

Database Table: plan2

null	null
Advanced	
Cached database table	false

null	null	null	null	null
código	INTEGER	-	-	-
nome	VARCHAR(16777216)	-	-	-
tamanho_pedido	INTEGER	-	-	-
tempo_descarga	INTEGER	-	-	-
latitude	DOUBLE	-	-	-
longitud	DOUBLE	-	-	-