



UTILIZAÇÃO DE INDICADORES LOGÍSTICOS NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE EMBALAGENS NO TRANSPORTE URBANO DE CARGA

Evelyn Elita Bonin **Pereira**¹; Ana Paula Reis **Noletto**²

Nº 15206

RESUMO

O desenvolvimento das embalagens inteligentes tem proporcionado mudanças expressivas no controle e melhoria das operações logísticas de distribuição de alimentos, inclusive em áreas urbanas. Este trabalho desenvolveu um dispositivo como proposta de método de captação de indicadores logísticos sobre a embalagem/produto durante sua distribuição em áreas urbanas e utilizou esse dispositivo em um teste para produto refrigerado. Os resultados mostram que o dispositivo apresentou bom desempenho em relação ao acompanhamento das condições ambientais, mas apresentou baixa autonomia em condições de temperatura baixa e falhas nos sistemas de GPS e GSM que precisam ser resolvidas para viabilizar sua utilização.

Palavras-chaves: Embalagem inteligente, logística urbana, cadeia do frio

ABSTRACT- *The development of the smart packaging technologies has proportionated considerable changes in the control and improvement of logistics operations in the food supply chain, including in urban areas. This work developed a device that would capture logistics indicators about the packaging/product while its distribution in urban areas and used that device on a test for a refrigerated product. The results show that the device had good performance about tracking the data of the environmental conditions, but it presented low autonomy at low temperatures conditions and problems on the GPS and GSM systems that need to be solved so the device can be used.*

Key-words: Smart packaging, urban logistics, cold chain

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas-SP; evelynelita@gmail.com

2 Orientador: Pesquisadora do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, Governo do Estado de São Paulo, Campinas-SP; anapaula@ital.sp.gov.br



1 INTRODUÇÃO

Com a crescente competitividade nos mercados mundiais, a logística de distribuição de alimentos assume um papel imprescindível para o setor produtivo. O constante aumento do número de veículos de passeio e de carga que circulam pelas áreas urbanas tem causado congestionamentos e influenciado na eficiência das atividades de distribuição de carga alimentícias, entre outras. (ANAND et al., 2012).

Muitos dos modelos existentes e propostos para solução das questões de distribuição de produtos em áreas urbanas são focados no fluxo de veículos. Contudo, alguns estudos têm se voltado para a distribuição de bens como sendo a real causa de problemas na logística de transporte em áreas urbanas (REGAN; GARRIDO, 2001). Tendo como foco esse aspecto, as embalagens assumem um papel importante na logística de carga urbana. Além de preservar as condições dos alimentos desde o fabricante até o consumidor final, as embalagens atuam como facilitadoras das operações que ocorrem durante esse percurso. (GARCÍA-ARCA; PRADO, 2008).

Dentro desse contexto, esse trabalho teve por objetivo desenvolver um método de captação de indicadores logísticos sobre a embalagem/produto durante sua distribuição em áreas urbanas e aplicar esse método em um teste com produto refrigerado.

1.1 Embalagens inteligentes

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 (DAINELLI *et al.*, 2008). Parâmetros como temperatura, umidade relativa, luminosidade de exposição, pressão, composição gasosa e vibração, entre outros, são registrados ou monitorados em tempo real (NOLETTO *et al.*, 2014). Os estudos sobre o desempenho dessas embalagens têm sido focados para os transportes de longa distância (exportações) sem a ênfase de aplicação em áreas urbanas, o que poderia contribuir para a redução de perdas de alimentos e para melhorar a gestão logística da carga nessas áreas.

1.2 Falhas na manutenção da cadeia do frio de sorvetes

A cadeia do frio engloba as atividades de armazenamento, manuseio e transporte de produtos refrigerados e congelados. Durante a distribuição desses produtos em áreas urbanas, um dos grandes impactos causados na manutenção do frio ocorre devido à abertura e fechamento das



portas da carroceria do caminhão e a conduta incorreta de desligamento do sistema de refrigeração durante o período da noite. Em ambos os casos, o produto é submetido a uma variação de temperatura que pode afetar sua qualidade final (ROGERS *et al.*, 2014). No caso dos sorvetes, a principal preocupação diz respeito às alterações sensoriais que podem ser perceptíveis ao consumidor e o *over rum*, que relaciona a incorporação de ar na massa e pode ser determinado pela diferença de volume no descongelamento/congelamento. Entre essas alterações podemos citar a recristalização como consequência direta da oscilação na temperatura em que o produto é mantido. (RUSSELL *et al.* 1999; AUNG; CHANG, 2014).

2 MATERIAL E MÉTODOS

A partir de uma análise crítica realizada com as informações levantadas na revisão da literatura, optou-se pelo desenvolvimento, junto ao CEMEQ (Centro de Manutenção de Equipamentos) da UNICAMP, de um dispositivo portátil que pudesse ser acoplado a embalagem para mensurar os dados logísticos do ambiente de distribuição. O dispositivo desenvolvido capta, por meio de sensores, as informações de tempo, temperatura, umidade relativa, aceleração, pressão, luminosidade, localização (sistema GPS) e envia esses dados para um sistema de monitoramento *online*. Para avaliar a capacidade de resposta do dispositivo, o mesmo foi transportado e exposto a diferentes condições de temperatura, umidade relativa, vibração e luminosidade que podem estar presentes em uma cadeia de distribuição de alimentos refrigerados.

Temperatura. Devido à importância da temperatura para a cadeia do frio, as leituras de temperatura obtidas pelo dispositivo foram comparadas com as leituras de termohigrômetro calibrado (marca HOB0) colocado nos mesmos ambientes de exposição e uma avaliação estatística foi realizada para avaliar se havia diferença significativa entre as leituras.

Vibração. Para avaliação da qualidade de resposta do acelerômetro, o dispositivo foi deixado em repouso e posteriormente colocado em veículo motorizado e transportado durante 5 horas. Foram avaliadas as consistências dos dados e a amplitude das acelerações nas duas condições.

Luminosidade. Para a avaliação de resposta do sensor de luminosidade, o dispositivo foi colocado em uma caixa de papelão ondulado fechada (sem a incidência de luz externa), que foi aberta diversas vezes em condições diferentes de iluminação. A abertura da caixa corresponde a uma possível violação da carga durante transporte.

Sistema de GPS e GSM. Para avaliação da resposta desses sistemas, o dispositivo foi monitorado durante 4 meses em ambientes de exposição diversos como edificações de alvenaria, câmaras climatizadas e veículos.

2.2 Teste de simulação de falha da cadeia do frio de sorvetes

Para avaliar a eficiência do monitoramento das oscilações de temperatura que podem ocorrer durante um transporte frigorificado devido ao desligamento da carroceria refrigerada durante o período da noite, foi utilizado um freezer à - 20°C e uma caixa térmica contendo potes de sorvete de 1,7 litros. O dispositivo foi fixado do lado interno da caixa térmica de forma a simular uma “embalagem inteligente” com a coleta de dados do ambiente (Figura 1).



FIGURA 1. Caixa térmica contendo produto com o dispositivo fixado na tampa.

Durante um período de 16 horas a caixa contendo os potes de sorvete foi mantida aberta dentro do freezer simulando a carroceria refrigerada ligada. Após esse tempo, a caixa era retirada do freezer e deixada em ambiente a 23°C por 8 horas. Esse ciclo de oscilação de temperatura foi realizado 3 vezes. Uma simulação mais próxima da condição real seria obtida mantendo a caixa com produto dentro do freezer e desligando e ligando o mesmo nos períodos pré-definidos. No entanto, o sistema de comunicação remota do dispositivo (GSM) apresentou falha na transmissão de dados devido ao isolamento em compartimento metálico (efeito Gaiola de Faraday)..

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das simulações de exposição do dispositivo são descritas a seguir:



3.1 Avaliação da resposta dos sensores de temperatura e umidade relativa

As leituras realizadas com o dispositivo e com o termohigrômetro calibrado foram comparadas estatisticamente através dos seguintes testes: a) Teste de Variância - para verificar se havia diferença significativa entre os conjuntos de dados obtidos pelo termohigrômetro e pelo dispositivo; b) Teste de Wilcoxon e Teste de Kruskal-Wallis - para determinar se os dados coletados pelo dispositivo são estatisticamente iguais aos dados obtidos pelo termohigrômetro.

Os resultados dessa avaliação mostraram que não havia diferença significativa, a nível de 95% de confiança, em relação aos dados da temperatura. Contudo, o mesmo não ocorreu em relação às medidas de umidade relativa do dispositivo, que se diferenciaram estatisticamente das encontradas pelo termohigrômetro.

3.2 Avaliação da resposta do acelerômetro

Com base nos dados de x, y e z obtidos do acelerômetro, foi calculada a amplitude dos

movimentos (R), através da Equação: $R = \sqrt{x_{final}^2 + y_{final}^2 + z_{final}^2} - \sqrt{x_{inicial}^2 + y_{inicial}^2 + z_{inicial}^2}$

Calculou-se então R entre vários instantes conhecidos. Tais valores foram plotados em um gráfico (Figura 2) que relaciona a aceleração resultante R com o tempo.

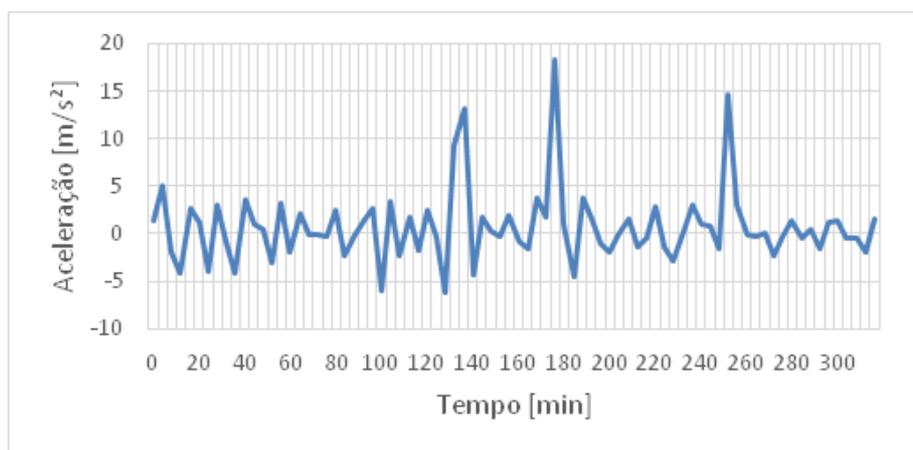


FIGURA 2. Gráfico acelerações por tempo.

Conforme esperado, os dados mostram que, quando o dispositivo estava em movimento (através de veículo motorizado ou sendo carregado a pé pelo operador), a amplitude apresentou valores de picos elevados (por volta de 10 e 20 m/seg²) e quando estava parado tal valor tendia a zero. No entanto, mesmo parado o dispositivo apresentou flutuações entre -5 e 5 m/seg², o que indica a necessidade de verificação da sensibilidade do acelerômetro.

3.1 Avaliação da resposta do sensor de luminosidade

A Figura 3 apresenta o comportamento do sensor de luminosidade durante a realização do teste.

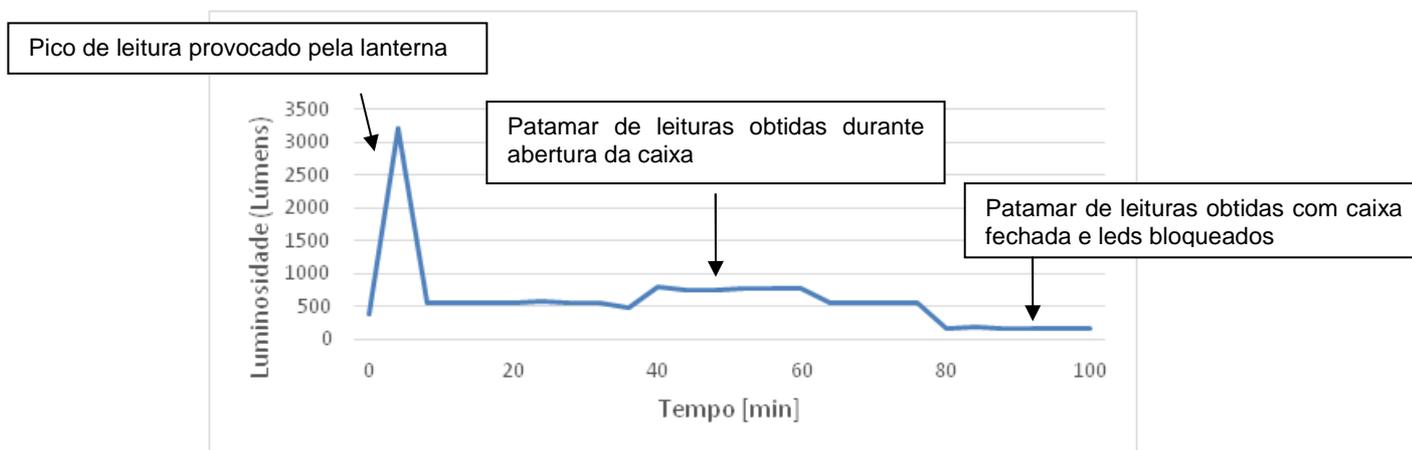


FIGURA 3. Gráfico de luminosidade captada pelo dispositivo em um intervalo de tempo.

Observa-se que o sensor de luminosidade apresentou sensibilidade para evidenciar a abertura da caixa de papelão ondulado. Para iniciar o teste um feixe de luz forte (lanterna) foi incidido sobre o sensor. O sensor então foi colocado por 40 minutos dentro da caixa fechada, porém as luzes de indicação do próprio dispositivo afetavam o sensor de luminosidade, o que fez o mesmo indicar uma faixa de aproximadamente 500 lúmens. A caixa foi aberta e as leituras subiram para um patamar próximo a 750 lúmens. Na continuação do teste, as luzes de indicação do dispositivo foram tampadas de forma que não afetassem o sensor de luminosidade. Com a caixa fechada o sensor apresentou um patamar de leitura por volta de 200 lúmens.

3.3 Avaliação da resposta do sistema de localização (GPS)

O sistema GPS apresentou graves falhas de envio de sinal. As falhas de sinal esperadas ocorreram em edificações fechadas e em ambientes com revestimento metálico nos quais se formava a “gaiola de Faraday” como câmaras climatizadas, freezers e carrocerias fechadas de veículos. Porém, as falhas também ocorreram com frequência em ambientes totalmente abertos.

3.4 Avaliação da resposta do sistema de comunicação (GSM)

A falha mais grave apresentada pelo dispositivo foi relativa ao envio de sinal do sistema GSM. As falhas ocorrem em todas as situações de exposição: campo aberto, edificação fechada, ambientes

com revestimento metálico. Essa falha do dispositivo impossibilitou que o desenvolvimento do trabalho seguisse conforme esperado e limitou os testes com o produto a uma condição de laboratório.

3.5 Simulação de falha na cadeia do frio de sorvetes

A Figura 4 ilustra as variações de temperatura que ocorreram durante 2 ciclos de testes.

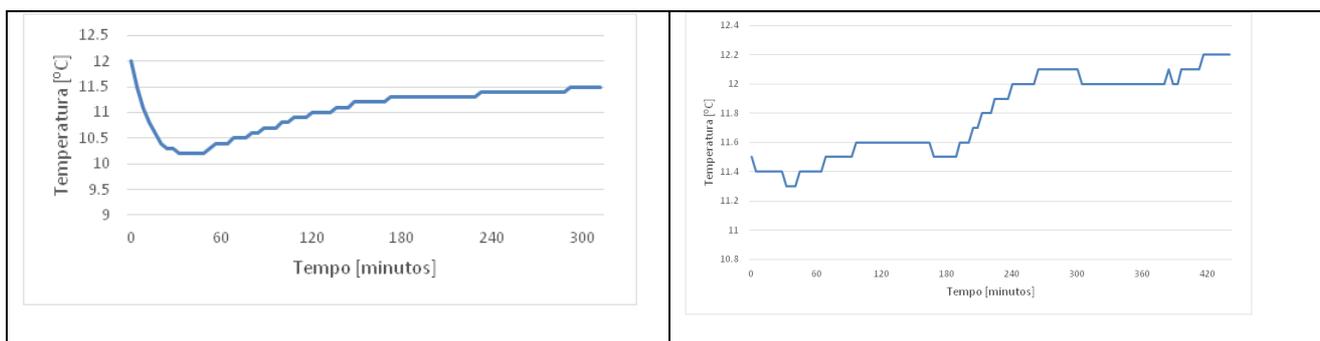


FIGURA 4. Gráficos de tempo de funcionamento do dispositivo

Através da Figura 4 observa-se que: a) O tempo de resposta do sensor de temperatura foi inadequado para o controle de câmaras frias uma vez que o mesmo demorou cerca de 30 minutos para atingir a temperatura de equilíbrio da caixa térmica ($\approx 10^{\circ}\text{C}$) no primeiro ciclo de teste. b) O dispositivo apresentou pouca autonomia sob baixas temperaturas (cerca de 5 horas de funcionamento); c) Durante os ciclos de teste, o ambiente dentro da caixa térmica atingiu uma temperatura 11°C causando o descongelamento e posteriormente congelamento do sorvete, evidenciado pela separação de componentes do produto (Figura 5).



FIGURA 5. Produto no tempo zero e após 3 ciclos de oscilação de temperatura.



4 CONCLUSÃO

O dispositivo desenvolvido para ser acoplado a uma embalagem tornando-a “inteligente” apresentou bom desempenho em relação ao acompanhamento das condições de temperatura, aceleração e luminosidade. No entanto, quando exposto a temperaturas mais baixas (em torno de 10°C), o dispositivo apresentou pouca autonomia. Além disso, as falhas provenientes principalmente pela antena de GPS e sistema GSM inviabilizaram a realização de testes complementares. Dessa forma, concluímos que apesar de ter demonstrado potencial para o levantamento de indicadores logísticos de embalagem/produto em áreas urbanas, o protótipo desenvolvido precisa de ajustes antes de ser utilizado no transporte real de uma carga refrigerada.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, ao Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL e ao Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transporte - LALT pelo auxílio à pesquisa.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAND, N. et al. City Logistics Modeling Efforts: Trends and Gaps - A Review. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 101–115, jan. 2012.

AUNG, M. M.; CHANG, Y. S. Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. **Food Control**, v. 40, n. 1, p. 198–207, 2014.

DAINELLI, D. et al. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, n. 2008, p. S103–S112, nov. 2008.

GARCÍA-ARCA, J.; PRADO, J. C. P. Packaging design model from a supply chain approach. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 13, n. 5, p. 375–380, 2008.

NOLETTO, A. P.; LOUREIRO, S. A.; LIMA JÚNIOR, O. F. Embalagens inteligentes na logística de carga: ganho de desempenho para a cadeia de suprimentos. **Revista de Comércio Internacional e Logística**, v. 16, n. 148, p. 44-47, dez. 2014. Disponível em: <http://issuu.com/cargonews/docs/edicao_148_dez>. Acesso em: 23 fev. 2015.

REGAN, A.; GARRIDO, R. Modeling Freight Demand and Shipper Behavior: State of the Art, Future Directions. In: **The leading edge of travel behavior research**. New York: Pergamon, 2001.

ROGERS, H. B. et al. The impact of packaging system and temperature abuse on the shelf life characteristics of ground beef. **Meat Science**, v. 97, n. 1, p. 1–10, 2014.

RUSSELL, A. B.; CHENEY, P. E.; WANTLING, S. D. Influence of freezing conditions on ice crystallization in ice cream. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 2, p. 179–191, 1999.