

AVALIAÇÃO DO USO DE CÂMERAS INFRAVERMELHAS PARA CONTROLE DA TEMPERATURA DE MISTURAS ASFÁLTICAS DURANTE O PROCESSO CONSTRUTIVO

Glicério Trichês ecv1gtri@ecv.ufsc.br Professor PPGEC/UFSC

Karin Rodrigues Baran karinrb@gmail.com Mestranda Infra-Estrutura - PPGEC/UFSC

Carolina Piccoli ninapiccoli@gmail.com Graduanda Engenharia Civil - UFSC

Paulo Quiumento Veloso quiumentovelloso@yahoo.com.br Eng^o. Civil, ENGEPPASA S/A

Deivis L. Marinoski deivis@labeeee.ufsc.br Doutrando Eficiência Energética PPGEC/UFSC

RESUMO

Controle da temperatura de uma mistura asfáltica durante o processo executivo é um procedimento indispensável para que se possa obter uma camada de revestimento de boa qualidade e durabilidade. Este procedimento deve ser iniciado desde a industrialização até o controle de compactação da mistura em campo. Com o controle da temperatura em todas estas etapas é diminuída a ocorrência de várias patologias prematuras no revestimento que estão associadas ao superaquecimento de ligante durante a usinagem e temperaturas não adequadas para espalhamento e compactação da mistura em campo. Tradicionalmente, o controle de temperatura tem sido realizado através de termômetros de mercúrio. Entretanto, termômetros a laser e câmeras infravermelhas também vem sendo utilizados para tal finalidade. Este trabalho tem como objetivo efetuar medições da temperatura da mistura asfáltica em diferentes momentos do processo construtivo, através do uso de câmeras infravermelha e, a partir dos resultados obtidos, avaliar a sua adequabilidade quando comparada aos métodos tradicionalmente utilizados. Os resultados obtidos mostraram a potencialidade do uso da câmera infravermelha, em substituição aos termômetros, para o controle da temperatura da mistura bem como avaliar a homogeneidade da temperatura mistura em toda a largura da camada espalhada. Entretanto, é necessário que se tenha uma calibração prévia do equipamento devido às diferenças de emissividade da mistura asfáltica, a qual varia em função da magnitude da temperatura que se está medindo.

1. INTRODUÇÃO

Falhas prematuras nos revestimentos asfálticos são fenômenos pouco compreendidos e requerem vultuosos gastos para a manutenção das rodovias.

Uma das principais causas para a ocorrência destas falhas é a segregação da mistura asfáltica, tanto dos componentes como da temperatura. Diversos anos de pesquisa foram gastos para determinar as causas e os efeitos da segregação na mistura asfáltica que pode ocorrer devido a muitas razões e em diversos locais no processo da construção. Quando a mistura asfáltica é manipulada, movida ou transferida, como por exemplo, na carga e descarga do caminhão e durante a alimentação do silo da vibroacabadora, o risco da segregação está presente.

Estudos que foram realizados na Universidade de Washington e o Departamento de Estado de Washington de Transporte (WDOT), determinaram que um dos fatores da falha prematura de camadas de mistura asfáltica é a diferença excessiva da temperatura na mistura quente causada pela refrigeração da superfície e contato durante o transporte no caminhão da usina ao local de construção (Phillips, 2007).

Tradicionalmente o controle de temperatura da mistura asfáltica em campo é realizado empregando-se termômetros de mercúrio. Este tipo controle é pontual e não permite que se tenha uma visualização da temperatura da mistura em toda a plataforma de espalhamento.

Por outro lado, diferenças de temperatura de 4 graus Celsius na mistura, podem aumentar os vazios em aproximadamente 2% ou mais. Estes vazios causam uma diminuição da densidade e, conseqüentemente, da resistência nas áreas afetadas. Várias pesquisas mostram que a cada 1% de incremento nos vazios de ar, sobre um ponto inicial baixo de 7%, causa uma redução de aproximadamente 10% na vida útil do pavimento. Assim, uma diferença de temperatura de apenas 4°C pode causar uma redução de até 20% na vida útil de um pavimento, o que representaria três anos em uma rodovia projetada para quinze anos (Phillips et al., 2003).

Existem cinco tipos de segregação de temperatura que podem ser identificados através de imagens obtidas por câmeras infravermelhas. São eles: juntas frias, segregação no fim do caminhão, esvaziamento da asa da vibroacabadora, raia frias e pontos frios.

As junções frias (Figura 1) acontecem quando a mistura quente é colocada justaposta a uma mistura com menor temperatura (fria). Durante a construção, as junções frias resultam de paradas da vibroacabadora decorrentes do atraso dos caminhões do transporte, avaria dos equipamentos de compactação ou da própria vibroacabadora, ou da diferença entre as temperaturas entre dois carregamentos consecutivos. Nas junções frias, há uma diminuição na ligação entre as seções da mistura que podem, potencialmente, conduzir a trincamentos transversais no revestimento. A ocorrência de junções frias pode ser minimizada mantendo um ritmo constante de pavimentação e monitorando a entrega do asfalto pelos caminhões do transporte para evitar atrasos.

Durante o "fim da carga" (Figura 2) ocorre a "segregação do fim do caminhão". Este fato pode resultar na diminuição localizada da densidade da mistura, potencializando mais tarde o aparecimento de falhas prematuras. Este tipo de diferencial de temperatura pode ser minimizado com o carregamento apropriado de caminhões do transporte, a diminuição a duração entre o carregamento do caminhão e descarregando na vibro acabadora, ou empregando um veículo material de transferência na operação para homogeneizar a mistura antes da alimentação do silo da vibroacabadora.

Despejar a mistura coletada das sobras dos acabamentos de juntas nas asas do funil da vibro acabadora, a qual permaneceu exposta a temperaturas ambiente por muito tempo, entre cada descarregamento de caminhões, provoca a segregação chamada de esvaziamento da asa (Figura 3) que pode ser eliminada não efetuando este procedimento.

A raia fria (Figura 4) é identificada nas imagens como uma faixa longa e estreita de um material mais frio, no sentido paralelo ao da pavimentação. O que causa este

tipo de segregação é o funcionamento da vibroacabadora. Para minimizar a ocorrência de raias frias em um revestimento, é importante assegurar-se de que screed esteja funcionando corretamente.

Uma outra forma típica de segregação da temperatura é um ponto frio (Figura 5). Há diversas causas para pontos frios tais como a descarga do caminhão sem que haja uma homogeneização entre as partes que estavam junto à carroceria e as com a superfície diretamente exposta ao ar com as partes mais quentes. Os pontos frios podem ser minimizados usando materiais isolantes para cobrir o material nos caminhões durante o transporte, assegurando o funcionamento apropriado da vibro acabadora, e manter a superfície na frente das trilhas da vibro acabadora limpa para impedir o acúmulo material.



Figura 1 - Junção Frias
(Putman e Amirkhanian, 2006)

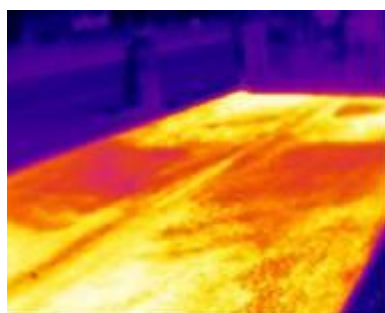


Figura 2 - Fim de Carga
(Putman e Amirkhanian, 2006)

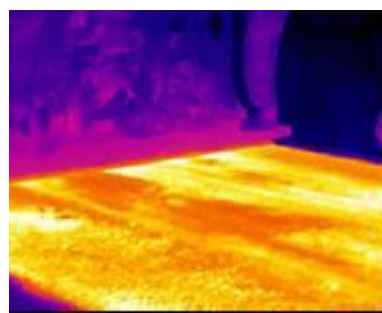


Figura 3 - Esvaziamento de Asa (Putman e Amirkhanian, 2006)

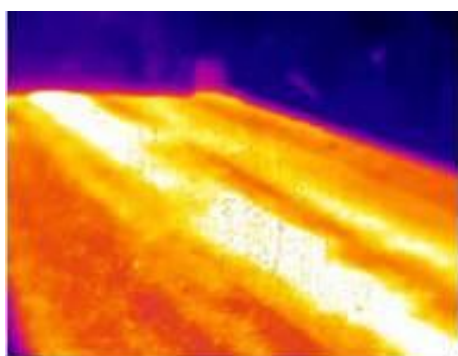


Figura 4 - Raia Fria
(Putman e Amirkhanian, 2006)

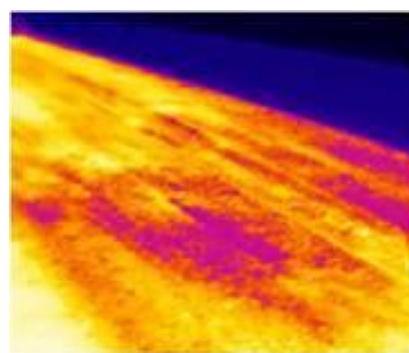


Figura 5 - Ponto Frio
(Putman e Amirkhanian, 2006)

As áreas de visível segregação da temperatura mostradas nas figuras possuem tipicamente densidades mais baixas do que o restante da superfície e que pode potencialmente conduzi-las a falhas prematuras.

Com a evolução do estudo da segregação da temperatura através do uso de câmeras infravermelhas, práticas de produção e construção podem ser modificadas para minimizar este problema, resultando em uma redução de custos e um aumento na qualidade dos revestimentos asfálticos como, por exemplo, características físicas mais consistentes; vida de serviço mais longa; custos de manutenção mais baixos e maior segurança para os usuários da rodovia (Putman e Amirkhanian, 2006).

Assim, este trabalho tem como objetivo efetuar medições da temperatura da mistura asfáltica em diferentes momentos do processo construtivo, através do uso de câmera infravermelha e, a partir dos resultados obtidos, avaliarem a sua adequabilidade quando comparada aos outros métodos tradicionalmente utilizados.

2. SENSORES DE RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

O principal equipamento utilizado neste estudo foi uma câmera digital que tem a capacidade de captar o calor emitido pelos materiais na forma de radiação infravermelha, produzindo assim uma imagem térmica da superfície fotografada.

A câmera de infravermelho utilizada é o modelo ThermalCam E25 fabricado pela empresa FLIR SYSTEMS. Este modelo (Figura 6) apresenta as seguintes características técnicas básicas apresentadas na Tabela 1:



Figura 6. Câmera IR

Tabela 1. Características básicas da câmera

Resolução da imagem:	160 x 120 pixels
Amplitude espectral:	7.5 – 13 μ m
Amplitude de temperaturas:	-20°C até 250°C
Resolução:	1°C
Precisão:	$\pm$ 2,0°C ou 2% da leitura

Para o funcionamento correto da câmera é necessário o conhecimento prévio de algumas informações do ambiente e da superfície a ser analisada. Os dados de

entrada que devem ser definidos pelo operador da máquina são a emissividade e a temperatura ambiente refletida.

A emissividade representa a razão entre a radiação emitida por um objeto e a radiação emitida por um corpo negro perfeito à mesma temperatura.

A temperatura ambiente refletida é o parâmetro utilizado para compensar a radiação do entorno refletida no elemento focado e a radiação que é emitida pela atmosfera entre a câmara e o elemento focado. No caso em que a emissividade é baixa, a distância é elevada e a temperatura do elemento está próxima a ambiente, é importante regular e compensar corretamente a temperatura ambiente refletida (FLIR SYSTEMS, 2005).

Também foi utilizado durante alguns dos testes em campo, um termômetro digital infravermelho (pistola). Este é termômetro é o modelo 63 IR, fabricado pela empresa FLUKE. O termômetro (Figura 7) tem as características básicas apresentadas na Tabela 2. Este tipo de termômetro apresenta um valor de emissividade predefinido como sendo igual a 0,95.



Figura 7 - Pistola IR

Tabela 2 - Características básicas do termômetro

Amplitude espectral:	8 – 14 μ m
Amplitude de temperaturas:	-32°C até 532°C
Resolução:	0,1°C
Precisão (na faixa de 23°C a 510°C):	$\pm 1,0^\circ\text{C}$ ou 1% da leitura

3. CALIBRAÇÃO DA CÂMERA INFRAVERMELHA

Para a verificação correta dos valores de temperatura da mistura asfáltica é necessário conhecer o valor da sua emissividade. No caso dos materiais não metálicos, a emissividade tende a ser elevada e diminuir com o aumento da temperatura. Um valor de emissividade comum para um revestimento asfáltico, em

temperatura ambiente, é de 0,95. No entanto, durante a aplicação da mistura asfáltica as temperaturas atingem valores elevados (acima de 150°C), necessários para o bom envolvimento do agregado pelo ligante e para uma eficiente compactação da mistura, o que é fator determinante para a boa qualidade do pavimento após a execução.

Em vista disso, inicialmente foram realizados testes em laboratório e em campo visando determinar valores de emissividade para alguns materiais e tipos de misturas asfálticas.

3.1 Testes em Laboratório

Para a realização dos testes de laboratório, foi aplicado um procedimento recomendado pelo fabricante da câmera utilizada (FLIR SYSTEMS, 2005), que consiste basicamente no ajuste comparativo entre a temperatura medida na superfície de um elemento com emissividade conhecida, mantido na mesma temperatura da amostra com emissividade desconhecida.

Os materiais (agregado graúdo, agregado miúdo e ligante) foram então aquecidos em uma estufa até 150°C e na sua superfície foi aplicada uma fita especial, Kapton 5413, que é constituída de dorso de filme de polimérica, altamente conformável e dimensionalmente estável sob a ação de altas temperaturas, além de ser resistente à maioria dos agentes químicos.

Com isso, assumiu-se que devido à reduzida espessura da fita, a sua temperatura superficial seria a mesma do material. A emissividade da fita foi assumida como sendo 0,90. Com isso foram realizadas leituras da temperatura da fita e, em seguida, leituras da temperatura superficial do material, ajustando-se a emissividade até que o valor de temperatura observado chegasse ao mesmo valor da temperatura encontrada na fita. Simultaneamente às medições com a câmera de infravermelho, medições de temperatura da amostra eram obtidas através de um termômetro de mercúrio. A temperatura refletida adotada foi de 25°C (temperatura ambiente no laboratório). As Figuras 8, 9 e 10 apresentam as imagens

termográficas para os testes de calibração da emissividade de três componentes da mistura asfáltica.

No entanto, este procedimento não mostrou resultados satisfatórios, uma vez que a temperatura na superfície do material decresce rapidamente e com isso a fita não se estabilizava em uma temperatura que represente a situação real da amostra. Ou seja, a temperatura na superfície da fita era significativamente inferior à temperatura registrada pelo termômetro de mercúrio no interior da amostra. Além disso, esta diferença entre o resultado de temperatura da fita pode estar relacionada ao fato da emissividade real da mesma não ser conhecida, sendo um valor teórico utilizado como dado de entrada.

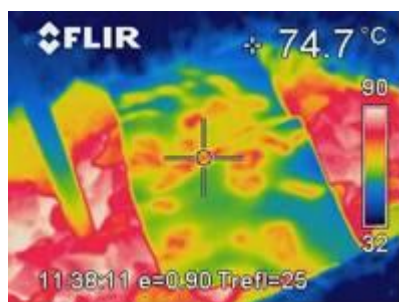


Figura 8 - Verificação de temperatura no agregado graúdo.

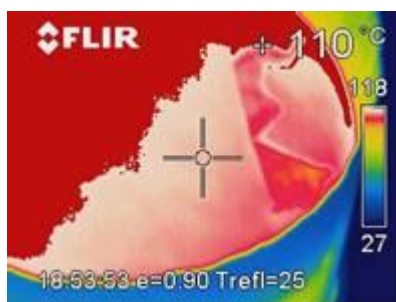


Figura 9 - Verificação de temperatura no ligante.

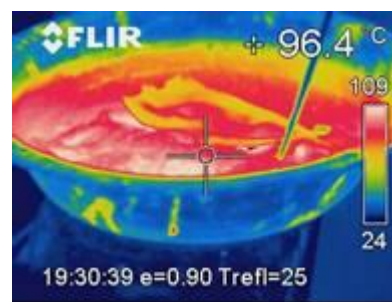


Figura 10 - Verificação de temperatura no agregado miúdo

3.2 Testes em Campo

Os testes em campo visaram buscar uma calibração simplificada da emissividade diretamente durante o acompanhamento da aplicação da mistura asfáltica. Esta calibração foi realizada numa execução de pavimentação de via urbana no município de Florianópolis-SC.

Para que a calibração da câmera fosse feita, foram realizadas medições de temperatura ajustando-se o valor da emissividade utilizada pela câmera até um valor aproximado ao observado nos termômetros de mercúrio utilizados para o controle da temperatura da mistura.

Assim, o valor de emissividade ajustado, utilizado na câmera, para uma faixa de temperatura da mistura entre 120°C e 170°C foi de 0,85. Figuras 11, 12 e 13 apresentam as imagens termográficas para os testes de calibração da emissividade em campo.

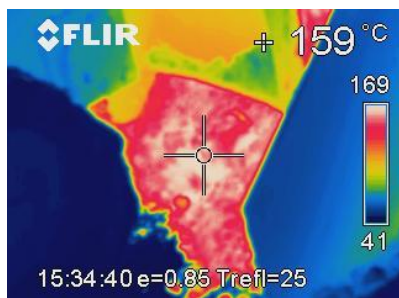


Figura 11 - Verificação de temperatura na entrada da vibro acabadora.

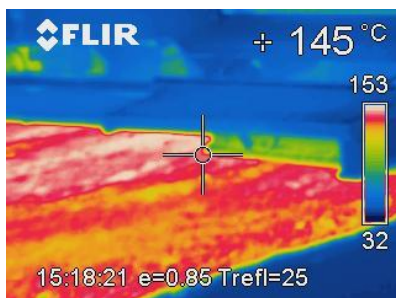


Figura 12 - Verificação de temperatura na saída da vibro acabadora.

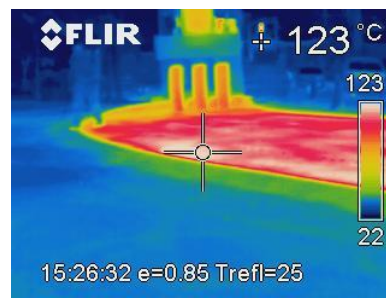


Figura 13 - Verificação de temperatura na rolagem.

4. MEDIDAS EM CAMPO

Os estudos de campo foram realizados no Lote 23 das obras de duplicação da BR 101 sul, município de Paulo Lopes-SC. A BR-101 é uma rodovia federal brasileira, classificada como Rodovia Longitudinal. Possui uma extensão de 4.551,4 km indo no sentido Norte - Sul por boa parte do litoral brasileiro, do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul. É uma das mais importantes rodovias brasileiras. A estrada que hoje tem um fluxo de mais de 12 mil veículos diários.

Para a pavimentação do Lote 23 está sendo utilizada brita granítica e um ligante asfáltico tipo CAP 50/70 (Cimento Asfáltico de Petróleo, classificado pela penetração) com as seguintes características apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Características da mistura asfáltica

Fluência	12,5 (0,01")	Volume de vazios	3,5%
Relação Betume Vazios	76,2 %	Densidade Aparente	2,312
Vazios no Agregado Mineral	14,9 %	Relação filler/betume	1,19
Abrasão Los Angeles	34,4 %	Densidade Teórica	2,397
Durabilidade	3,91 %	Estabilidade	1172 kgf

Os dados foram coletados no período matutino e vespertino, acompanhando um trecho de aproximadamente 2000m de pavimentação, sendo que a temperatura ambiente e a velocidade do vento não foram consideradas inconvenientes para a retirada das temperaturas da mistura asfáltica em campo.

Os dados coletados foram caracterizados como representativos da amostra da pavimentação ocorrida nesta fase de construção. Assim, buscou-se obter as temperaturas com o termômetro de mercúrio, a laser e utilizando a câmera infravermelha sempre no mesmo ponto de referência, para que fosse possível uma comparação homogênea dos dados.

Para as informações de temperatura através do termômetro de mercúrio foram consideradas as retiradas pelo técnico da obra, onde foi utilizado um termômetro que é comumente utilizado para este fim.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram mediadas as temperaturas em diferentes posições em relação à viobroacabadora: operadores da câmara e pistola posicionados lateralmente à faixa espalhada, junto aos pontos onde eram feitas as medidas com o termômetro de mercúrio; operadores posicionados na plataforma da vibroacabadora; operadores junto ao silo da vibroacabadora.

A comparação entre os diferentes tipos de medidores de temperatura e posições de medida foi feita através de uma análise estatística dos resultados coletados em campo. Para tal, primeiramente foram observados todos os dados e retirados os valores espúrios do conjunto de amostras de cada fase da construção do pavimento. Cabe destacar que os valores apresentados para a câmara IR são os máximos observados na escala de temperaturas da imagem capturada para a área de medição.

5.1 Operadores Posicionados Lateralmente à Faixa Espalhada

A Figura 14 e as Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados obtidos com a comparação dos dados de temperatura retirados com o termômetro de mercúrio e com os dados da câmera IR e pistola IR com os operadores posicionados lateralmente à faixa espalhada.

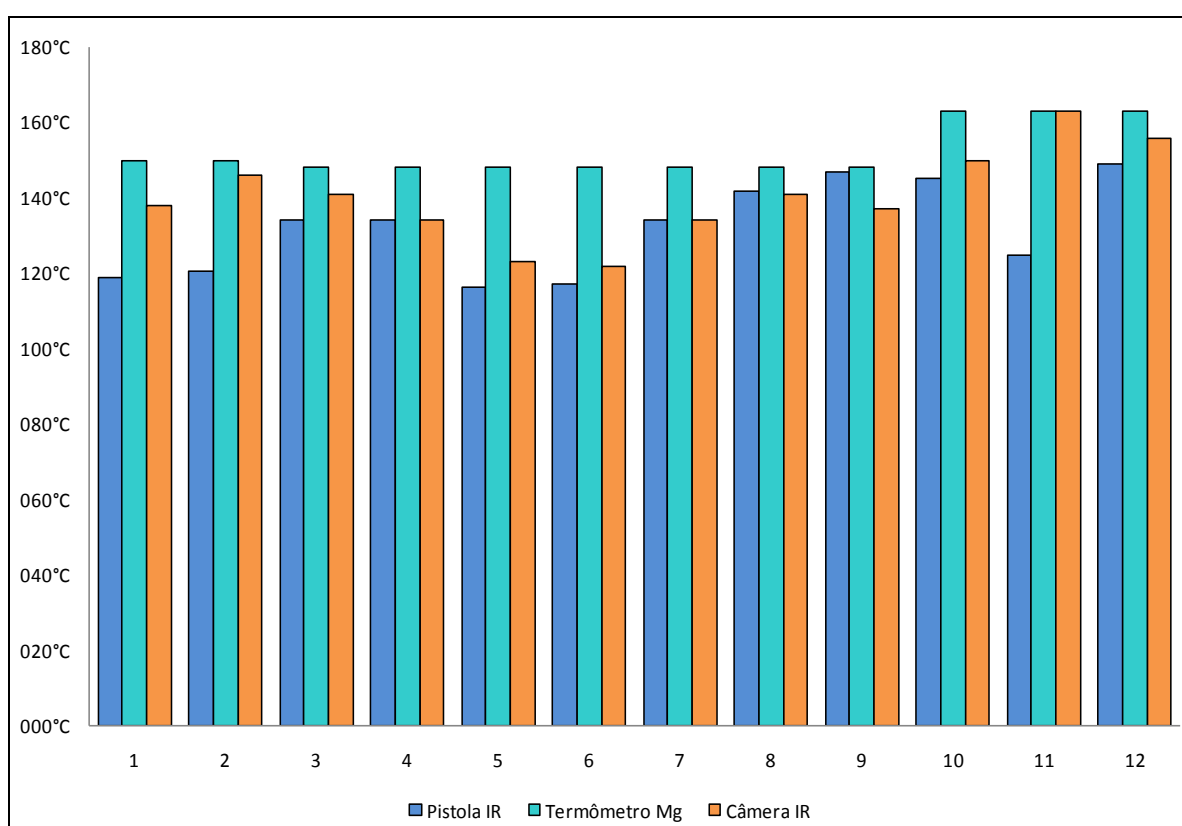


Figura 14 - Distribuição dos Resultados.

Pode-se perceber que, de maneira geral, os valores de temperaturas medidos com os sensores infravermelho sempre foram abaixo dos valores medidos com o termômetro de mercúrio. Entretanto, comparando-se os resultados apenas dos dois

sensores de infravermelho, observa-se que, de modo geral, o resultado da pistola IR é inferior ao da câmera.

Assim, os dados obtidos com a câmera IR mostraram uma maior aproximação com os valores medidos com o termômetro de mercúrio. Através da Tabela 4, pode-se observar que, comparando-se os resultados das temperaturas obtidas com a câmera IR com aquelas obtidas com o termômetro de mercúrio, foram obtidas variações nas medições de até 7,98%, sendo que na maioria dos casos esta variação é inferior a 5%.

Tabela 3 - Resultados obtidos com a Câmera IR e o Termômetro de Mercúrio.

Câmera IR	Termômetro Mg	Variação das Medidas
176°C	165°C	6,67%
162°C	162°C	0,00%
160°C	160°C	0,00%
160°C	163°C	1,84%
150°C	163°C	7,98%
163°C	163°C	0,00%
156°C	163°C	4,29%
146°C	152°C	3,95%
141°C	148°C	4,73%
145°C	148°C	2,03%
141°C	150°C	6,00%

A Tabela 5 mostra que os dados da comparação das temperaturas da pistola IR com o termômetro de mercúrio. Neste caso foram obtidas variações nos dados de até 23,31%.

Tabela 4 - Resultados obtidos com a Pistola IR e Termômetro de Mercúrio

Pistola IR	Termômetro Mg	Variação das Medidas
153°C	165°C	7,09%
129°C	162°C	20,37%
129°C	160°C	19,38%
139°C	163°C	14,54%
145°C	163°C	11,04%
125°C	163°C	23,31%
149°C	163°C	8,59%
120°C	152°C	20,79%
134°C	148°C	9,46%
142°C	148°C	4,05%
142°C	150°C	5,33%

5.2 Verificação no Silo da Vibroacabadora

Os dados registrados com os medidores de temperatura no silo da vibro acabadora podem ser observados, comparativamente, através da Figura 15.

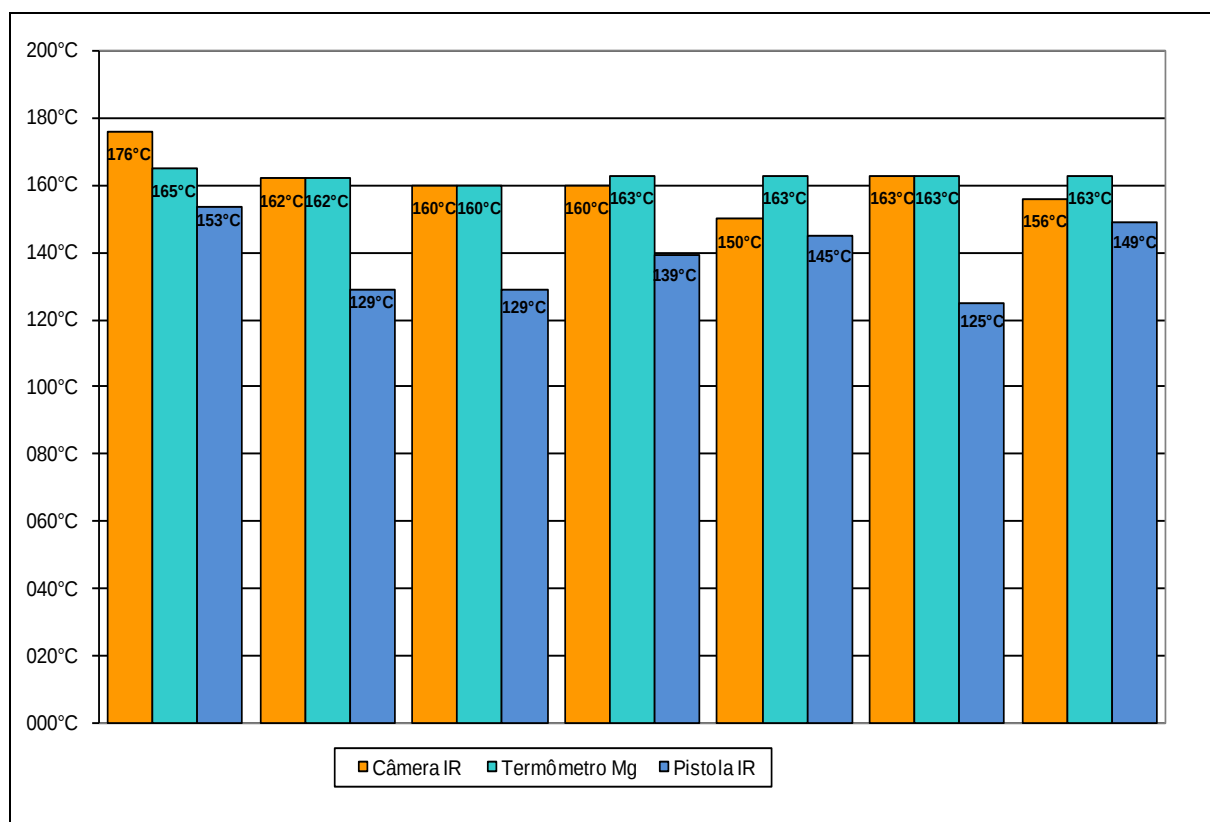


Figura 15 - Comparação das Temperaturas no Silo da Vibro Acabadora.

Da análise dos gráficos pode-se perceber que as temperaturas medidas no silo da vibroacabadora com a pistola IR são inferiores às medidas com os outros dispositivos. Já as medições realizadas com a câmera IR mostraram temperaturas bastante próximas às medidas com o termômetro de mercúrio.

5.3 Operadores Posicionados na Mesa da Vibro Acabadora

Para estas medidas, os operadores da câmera e pistola se posicionaram sobre a mesa da vibroacabadora. Foram feitas diversas medidas variando-se o ângulo da câmera e pistola em relação à superfície. Os resultados mostram que as melhores aproximações entre as medidas de temperatura com o termômetro e com a câmera e pistola foram conseguidas quando as imagens eram captadas pela câmera e pistola até a uma distância de 2 metros a partir do bordo da mesa da vibroacabadora. A Figura 16 apresenta os resultados obtidos para esta avaliação em 4 segmentos (quatro descargas de caminhões).

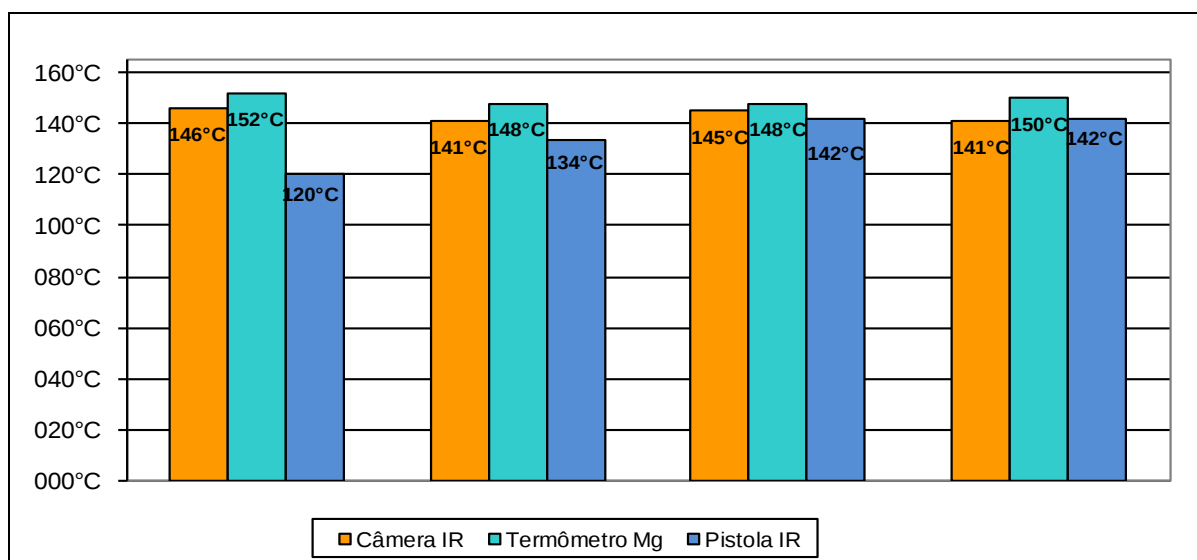


Figura 16 - Comparação das Temperaturas na saída da Vibrocabadora (média de 6 determinações).

Através do gráfico pode-se observar que os dados obtidos foram semelhantes considerando os três medidores de temperatura, com exceção da medida com a pistola IR na primeira amostra.

5.4 Homogeneidade da Temperatura Durante a Compactação

A garantia da homogeneidade da temperatura de toda a largura da faixa durante a compactação é um dos principais fatores para que se tenha um revestimento de boa qualidade. Com isso, a surgência de patologias prematuras no revestimento é reduzida e a mistura asfáltica passa a ter uma longevidade maior.

Na obra acompanhada, foi observado que, de maneira geral, houve uma homogeneidade da temperatura da mistura, como mostra a Figura 17 (foto da esquerda). Entretanto, foram observadas três situações de segregação de temperatura, conforme mostradas na Figura 17: Juntas frias, raias frias e pontos frios. Como pode ser visto através da escala de cores, as temperaturas nestes pontos estão bem abaixo da faixa predominante, considerada homogênea.

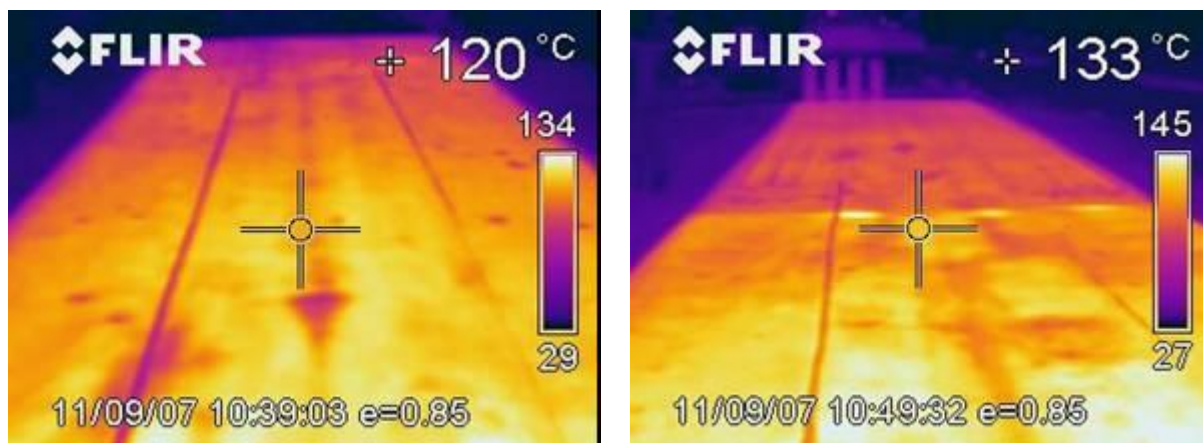


Figura 17 - Pontos, raias e juntas frias.

Conforme mostrada a Figura 17 (foto da direita), é visível a queda da temperatura da mistura asfáltica que se deu no momento de uma das paradas da vibroacabadora para a realização do abastecimento de massa.

A parada da vibroacabadora é responsável pela formação de pequenas ondulações na superfície do revestimento que os equipamentos de compactação não conseguem corrigir. Estas geram um aumento da irregularidade no revestimento acabado.

Este procedimento é recorrente no processo construtivo das rodovias brasileiras, mas que precisa ser revisado. O procedimento para corrigir isto é garantir que a vibroacabadora não pare, mesmo entre um caminhão e outro, melhorando a logística do transporte da mistura e/ou incorporando-se um equipamento que serve de depósito e homogeneizador da temperatura possibilitando assim o abastecimento contínuo da vibroacabadora.

5.5 Queda da Temperatura Com o Tempo

A avaliação da variação da temperatura da mistura asfáltica com o decorrer do tempo foi realizada através da medição da temperatura em uma mesma seção da faixa pavimentada com a câmera e pistola IR, como mostra a Figura 18.

Nesta análise não foram utilizadas as informações com o termômetro de mercúrio, pois com este, a medição da temperatura da mistura é feita no interior da camada compactada, enquanto que as medidas feitas com a câmera ou com a pistola, refletem a temperatura na superfície da camada. No interior da camada, a variação da temperatura se dá de forma mais lenta do que na superfície.

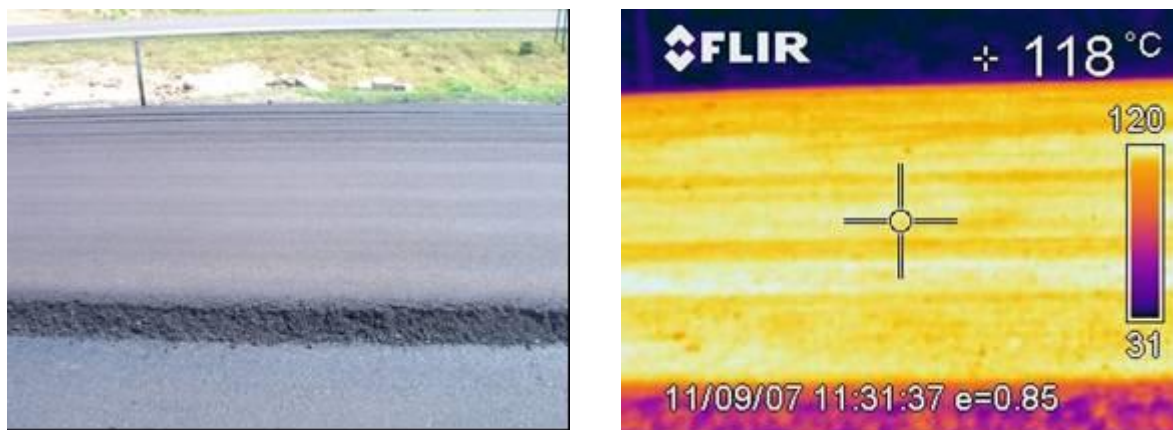


Figura 18 - Região onde foram coletadas as temperaturas durante o intervalo de tempo.

Para esta análise, foi registrada a temperatura a cada minuto num intervalo de 10 minutos, e após um registro a cada 2 minutos até completar 20 minutos de tempo corrido. Neste intervalo de tempo se contemplou as fases de aplicação da mistura asfáltica e compactação. Com estas informações, foi gerado o gráfico mostrado na Figura 19.

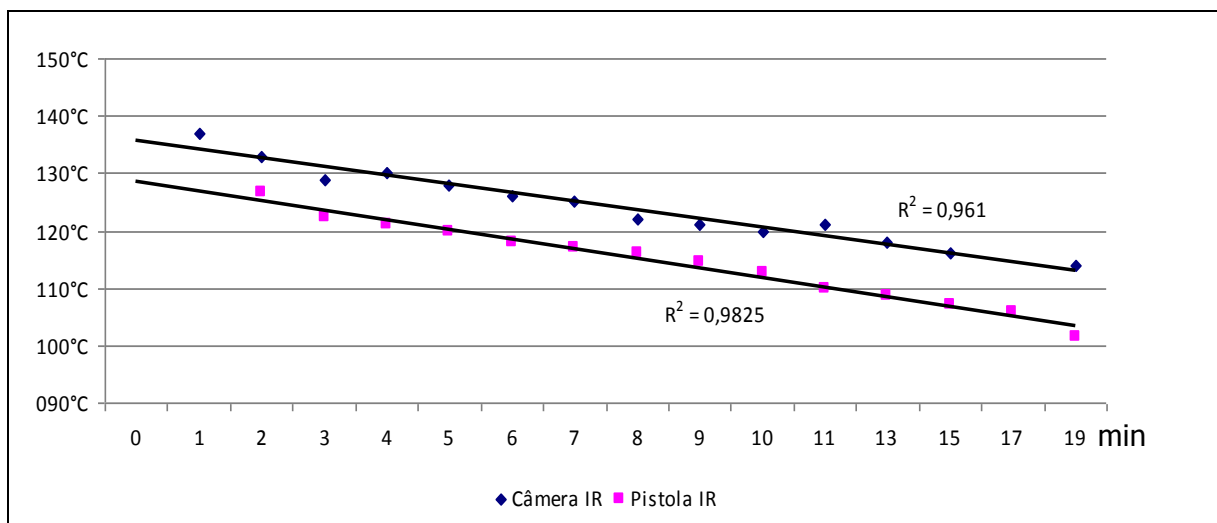


Figura 19 - Temperatura com Câmera IR e Pistola IR x Tempo (min).

Como era de se esperar, as temperaturas foram decrescentes com o decorrer do tempo. Foram obtidas boas correlações lineares tanto considerando os valores obtidos na câmera IR (96,1%) quanto nas medições da pistola IR (98,2%). Em média a variação entre a temperatura registrada pela câmera e a pistola IR foi de aproximadamente 8°C.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo as especificações de serviço para misturas asfálticas ditadas pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte – DNIT, as temperaturas medidas com os três equipamentos (termômetro de mercúrio, câmera IR e pistola IR) durante as fases de descarregamento da mistura, aplicação da mistura através da vibroacabadora e na fase de rolagem se mantiveram dentro dos limites estabelecidos pela especificação vigente no Brasil.

Na verificação das temperaturas observou-se que as medidas de temperaturas obtidas com pistola IR foram mais baixas que os outros 2 equipamentos. Acredita-se que isto seja devido ao desconhecimento da constante de emissividade do equipamento utilizado e que ele não permitia qualquer ajuste. Assim, principalmente na comparação entre as temperaturas da pistola com o termômetro

de mercúrio, foi observado que existe uma grande variação entre os dados coletados.

Com relação às temperaturas medidas com a câmera e com o termômetro mercúrio, foi observado que existe uma grande similaridade entre os dados. Isso deve, em parte, ao ajuste da emissividade do material, realizado através de uma calibração prévia. Os resultados obtidos indicam que a câmera IR pode ser utilizada para o controle de temperatura da mistura asfáltica durante o processo construtivo.

Além da medição da temperatura através da câmera IR, ela é capaz de registrar o panorama térmico geral da plataforma com a mistura asfáltica espalhada. De maneira geral foi observada uma homogeneidade de temperatura da mistura na faixa espalhada, indicando a capacidade da vibroacabadora utilizada para garantir esta homogeneidade. Porém, houve em alguns segmentos em que foram observados pontos, raias e juntas frias, o que futuramente podem ser regiões com aparecimento precoce de falhas no revestimento. Assim, os resultados alcançados com a câmera IR na visão panorâmica da obra podem trazer informações da necessidade de pequenos ajustes na vibroacabadora e de aspectos relacionados com a continuidade do processo executivo da camada de revestimento.

Assim, através deste trabalho conclui-se que a medição da temperatura com a câmera IR pode ser utilizada para verificação da temperatura do pavimento desde que haja uma calibração prévia da emissividade do equipamento e que os dados sejam bem analisados.

Destacam-se, ainda, a importância da realização de estudos semelhantes a este para avaliar o comportamento da utilização da câmera e pistolas IR com os diferentes tipos de mistura asfáltica e do acompanhamento do desempenho da mistura asfáltica objetivando analisar se as regiões de baixa temperatura do pavimento registradas com a câmera IR irão ocasionar danos reais no revestimento.

AGRADECIMENTOS

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (UFSC);

Ao Laboratório de Materiais de Pavimentação (UFSC);

À SOTEPA Ltda;

Ao DNIT- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.

Aos colegas do PET – ECV.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

FLIR SYSTEMS, Manual do operador. ThermaCAM E25. 2005.

Phillips, L. A. Infrared Thermography Revolutionizes Asphalt Paving. 2007. Disponível em:

http://www2.flirthermography.com/brazil/success/ir_image_list.asp?industry_id=1013

Phillips, L. A; Willoughby, K.; Mahoney, J. Infrared Thermography Revolutionizes Hot-Mix Asphalt Paving. InfraMation ITC 092 A 2003 - 08 - 15. Disponível em:

http://www.goinfrared.com/media/IR_Thermography_Hot_Mix_Asphalt_Paving.pdf

Putman, B. J. and Amirkhanian, S. N. Laboratory and Field Investigation of Temperature Differential in HMA Mixtures Using an Infrared Camera. Report No. FHWA-SC-06-06. 2006.

Disponível em: http://www.clemson.edu/t3s/scdot/pdf/projects/SPR%20626_1.pdf

Artigo publicado no

XIV congresso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, 2007, havana. XIV CILA. Havana, 2007.
v. 1. p. 1-10.