

UNIEVANGÉLICA – CAMPUS CERES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**PEDRO AUGUSTO SILVA OLIVEIRA
VINÍCIUS FERNANDES FELIX**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE RESFRIAMENTO DO PAVIMENTO
ASFÁLTICO COM USO DE TINTAS FRIAS NA REGIÃO DE RIALMA – GO**

PUBLICAÇÃO N°:

CERES / GO

2021

**PEDRO AUGUSTO SILVA OLIVEIRA
VINÍCIUS FERNANDES FELIX**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE RESFRIAMENTO DO PAVIMENTO
ASFÁLTICO COM USO DE TINTAS FRIAS NA REGIÃO DE RIALMA – GO**

PUBLICAÇÃO Nº:

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

Orientador: JANAÍNE MÔNICA DE OLIVEIRA SOUSA

CERES / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, PEDRO AUGUSTO SILVA

FELIX, VINÍCIUS FERNANDES

Análise da Viabilidade Econômica de Resfriamento do Pavimento Asfáltico com Uso de Tintas Frias na Região de Rialma – GO. Goiás, 2021, 23p. (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC – Unievangélica. Curso de Engenharia Civil.

1. Ilhas de calor

2. Pavimento asfáltico

3. Tintas frias

4. Desempenho térmico

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, P. A. S.; FELIX, V. F. Análise da Viabilidade Econômica de Resfriamento do Pavimento Asfáltico com Uso de Tintas Frias na Região de Rialma – GO. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 23p. 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Pedro Augusto Silva Oliveira e Vinícius Fernandes Felix.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise da Viabilidade Econômica de Resfriamento do Pavimento Asfáltico com Uso de Tintas Frias na Região de Rialma – GO.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

Pedro Augusto Silva Oliveira

Rua 24 Qd. X Lt. 16 - Sorriso 2
76335000 - Ceres/GO – Brasil

Vinícius Fernandes Felix

Rua Coração Fiel n. 50 – Rialma II
76310000 – Rialma/GO – Brasil

**PEDRO AUGUSTO SILVA OLIVEIRA
VINÍCIUS FERNANDES FELIX**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE RESFRIAMENTO DO PAVIMENTO
ASFÁLTICO COM USO DE TINTAS FRIAS NA REGIÃO DE RIALMA – GO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**JANAÍNE MÔNICA DE OLIVEIRA SOUSA, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)**

**LUIZ TOMAZ DE AQUINO NETO, Especialista (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**VITOR MAGALINI ZAGO DE SOUSA, Mestre
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: CERES/GO, 04 de JUNHO de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, em primeiro lugar, ao Coração de Jesus, no qual estão os tesouros da sabedoria e da ciência, por nos ter inspirado, conduzido e sustentado ao longo deste curso.

Agradecemos a Comunidade Coração Fiel, por ser nosso ponto de apoio físico e espiritual durante a realização desta pesquisa.

Agradecemos aos nossos familiares, amigos e irmãos na fé, que direta ou indiretamente nos ajudaram em todo o processo de constituição deste trabalho, sobretudo através do incentivo, da compreensão e das orações.

Agradecemos aos nossos professores, que partilharam conosco seu conhecimento e sua experiência durante esses anos, em particular, ao professor Rodrigo Nascimento Portilho de Faria durante a concepção deste artigo.

Agradecemos, de modo muito especial, à nossa orientadora Janaíne Mônica de Oliveira Sousa, pela disponibilidade, pela amizade, pela serenidade e pela paciência com que nos direcionou rumo ao êxito deste projeto.

Agradecemos ao senhor Lucas Maia pela atenção e por disponibilizar o local para a realização do experimento.

Agradecemos à professora Andreia Alves do Prado, pela indicação do tema e pelas referências compartilhadas.

“Eu vi descer do céu, de junto de Deus, a Cidade Santa, a nova Jerusalém, como uma esposa ornada para o esposo. A avenida da cidade era de ouro, transparente como cristal. A cidade não necessita de sol nem de lua para iluminar, porque a glória de Deus a ilumina, e a sua luz é o Cordeiro”.

(Apocalipse 21,2.21b.23)

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE RESFRIAMENTO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO COM USO DE TINTAS FRIAS NA REGIÃO DE RIALMA – GO

Pedro Augusto Silva Oliveira¹
Vinícius Fernandes Felix²
Janaína Mônica de Oliveira Sousa³

RESUMO

Os pavimentos, por ocuparem extensas faixas dos centros urbanos, sendo constituídos por materiais pouco refletivos, contribuem significativamente com o fenômeno das ilhas de calor, que é caracterizado pela elevação das temperaturas do ar e das superfícies expostas ao sol, e se mostra prejudicial para a qualidade de vida das populações. Este trabalho analisou os efeitos da aplicação de tintas frias sobre um trecho de pavimento asfáltico da cidade de Rialma – GO, buscando obter uma redução considerável de sua temperatura superficial, com custo e durabilidade que viabilizem a execução desse procedimento em áreas maiores, a fim de melhorar o microclima local. Para tanto, procedeu-se com a aplicação de dois exemplares de tintas refletivas em faixas de 10 m², separadas entre si por um intervalo de 1 m de distância. Após a secagem, efetuou-se a aferição, em triplicata, das temperaturas das superfícies analisadas – bem como do pavimento em estado natural –, com um termômetro infravermelho, em dia ensolarado. Registrou-se também a temperatura ambiente, mensurada por um termômetro digital. As aferições de temperatura repetiram-se semanalmente – em dias com clima similar e horário fixado entre 12:00 h e 15:00 h –, de modo a obter-se cinco mensurações. Após a coleta de dados, realizou-se a comparação entre a eficiência e os custos de aplicação dos revestimentos analisados. Verificou-se para ambas as tintas uma redução superior a 21 °C, em média, da temperatura superficial, com custos de aplicação por metro quadrado de R\$ 11,40 e R\$ 13,79, sendo que a tinta de menor custo apresentou desempenho superior nos dias com maiores temperaturas médias do pavimento. Os resultados obtidos foram comparados com dados do projeto de resfriamento urbano da cidade de Los Angeles, comprovando a eficácia dessa técnica que, porém, ainda encontra no custo elevado uma barreira para sua aplicação na região.

Palavras-chave: Ilhas de calor; pavimento asfáltico; tintas frias; desempenho térmico.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: pedro_2596@hotmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: viniciusf.felix@hotmail.com

³ Mestre, professora do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: monica.janaine@gmail.com

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
2.1 Métodos de Procedimento.....	7
2.2 Pesquisa Bibliográfica.....	7
2.3 Estudo de Campo.....	7
2.4 Pesquisa Experimental.....	7
2.4.1 <i>Local.....</i>	7
2.4.2 <i>Preparação da superfície.....</i>	8
2.4.3 <i>Pintura.....</i>	9
2.4.4 <i>Aferição das temperaturas.....</i>	10
2.4.5 <i>Materiais utilizados.....</i>	10
2.4.6 <i>Processamento dos dados.....</i>	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
3.1 Pesquisa Bibliográfica.....	12
3.2 Estudo de Campo.....	12
3.3 Pesquisa Experimental.....	12
3.3.1 <i>Temperaturas registradas.....</i>	12
3.3.2 <i>Temperaturas superficiais em função da temperatura ambiente e do horário.....</i>	14
3.3.3 <i>Eficiência das tintas.....</i>	14
3.3.4 <i>Desempenho em função do tempo.....</i>	15
3.3.5 <i>Custos e rendimento.....</i>	17
3.4 Análise Comparativa.....	18
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
5 REFERÊNCIAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

As zonas urbanas, em geral, são afetadas pelo fenômeno das ilhas de calor, que é marcado pela elevação das temperaturas do ar e das superfícies expostas ao sol. Tal fenômeno se mostra prejudicial para a qualidade de vida nos centros urbanos, ocasionando, além do desconforto, maior consumo de energia, queda na qualidade do ar, maior incidência de enchentes e o aumento de transtornos de saúde entre a população, entre outros fatores que, segundo Gartland (2010), são sentidos com maior intensidade em dias calmos e claros, nos quais uma maior taxa de energia solar é absorvida pelas superfícies.

Os pavimentos, por ocuparem extensas faixas das áreas urbanas e serem constituídos por materiais pouco refletivos (GARTLAND, 2010), apresentam, conforme Pomerantz et al. (2000), uma significativa contribuição para a ocorrência do fenômeno das ilhas de calor, influenciando diretamente o aumento da temperatura do ar nas cidades. Esse efeito pode ser reduzido através da substituição dos materiais convencionais utilizados na pavimentação por materiais frescos, que apresentam refletância solar igual ou superior a 25% (GARTLAND, 2010). A refletância solar, ou albedo, pode ser definida como a medida quantitativa da refletividade solar total de uma superfície, ou ainda como a razão entre a luz solar refletida e a incidente (TRICHES; VILLENA; MARINOSKI, 2014).

Apesar dos efeitos consideráveis do resfriamento dos pavimentos na atenuação das ilhas de calor, o custo elevado e a vida útil das soluções empregadas podem se caracterizar como uma barreira para a aplicação dessa tecnologia em larga escala. Um aspecto importante a se ressaltar é a relação entre a temperatura superficial e a durabilidade dos pavimentos, uma vez que temperaturas menores tendem a potencializar seu desempenho (KEMP; PREDOEHL, 1980; POMERANTZ; AKBARI; HARVEY, 2000). Dentre os principais requisitos de qualidade a serem avaliados em um projeto de pavimentação, a Petrobras (2015) ressalta a importância de se atentar para a suscetibilidade térmica do asfalto, ou seja, a perda de consistência e de ductibilidade em função do aumento da temperatura. Gartland (2010) pondera que, com a atual expectativa de vida dos pavimentos asfálticos, variando entre seis e vinte anos, caso a redução das temperaturas seja capaz de estender sua durabilidade em um único ano a mais, os custos totais reduzir-se-iam consideravelmente, tornando compensativas as despesas extras incorridas com as técnicas de resfriamento.

Uma das estratégias utilizadas para melhorar o desempenho térmico dos pavimentos é a aplicação de camadas de materiais refletivos sobre a superfície existente. Dornelles, Caram e Sichier (2014) conceituam materiais refletivos, ou materiais frios, como aqueles que apresentam baixas absorptâncias e altas emissividades, ressaltando que esses materiais, quando usados como revestimento no envelope construtivo permitem a redução das temperaturas das edificações. Marques (2013) demonstra que essa alteração das propriedades dos materiais constituintes da envoltória das habitações implica também na melhoria do conforto térmico em seu interior, sendo essa relação ainda mais intensa nas edificações térreas, nas quais a temperatura do solo é determinante para o resultado das trocas de calor do ambiente (SORGATO, 2009).

No mercado da construção civil brasileira, verifica-se a disponibilidade de uma gama de tintas frias, que são comumente utilizadas no revestimento de coberturas residenciais. Contudo, Monteiro (2010) indica que as pesquisas acadêmicas relacionadas à mitigação dos efeitos das ilhas de calor no panorama urbano do país, apesar de serem substanciais, se mostram restritas, em sua maioria, a modelos teóricos, verificando-se poucos casos de experiências práticas que resultem em intervenções efetivas, evidenciando-se uma lacuna no mercado editorial brasileiro quanto a publicações referentes a essa temática.

Diante desses apontamentos, este trabalho analisou os efeitos da aplicação de tintas frias sobre um trecho de pavimento asfáltico da cidade de Rialma – GO, buscando obter uma

redução considerável de sua temperatura superficial, com custo e durabilidade que viabilizem a execução desse procedimento em larga escala, a fim de minimizar os efeitos do fenômeno da ilha de calor urbana e, conseqüentemente, melhorar o microclima local.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Métodos de Procedimento

Para este estudo utilizaram-se como métodos de procedimento a pesquisa bibliográfica, o estudo de campo e a pesquisa experimental.

2.2 Pesquisa Bibliográfica

Durante o levantamento de dados bibliográficos foram consultados livros, revistas científicas, teses, dissertações, artigos, manuais, relatórios, normas técnicas e sites relacionados às temáticas das ilhas de calor, pavimentação asfáltica, tintas frias e desempenho térmico, buscando-se por referenciais de experiências práticas de resfriamento de pavimentos, para fins de comparação com os dados obtidos no experimento aqui descrito.

2.3 Estudo de Campo

Realizou-se um levantamento junto às lojas de materiais de construção da região de Rialma – GO, a fim de se averiguar a disponibilidade e os custos das tintas frias e proceder-se com a aquisição de dois exemplares, de marcas distintas, para utilização na etapa de pesquisa experimental. A Tabela 1 apresenta a listagem das lojas consultadas.

Tabela 1 – Lojas consultadas no estudo de campo.

Nº	Nome do estabelecimento
1	Atacadão das Tintas
2	Camargo Materiais de Construção
3	Comatel
4	Construarte Material de Construção
5	Construmais
6	Irmaco Materiais de Construção
7	Irmãos Peixoto (Ceres)
8	Irmãos Peixoto (Rialma)
9	Marquinho Materiais de Construção
10	MH Construções

Fonte: Próprios autores (2021)

2.4 Pesquisa Experimental

2.4.1 Local

Para a realização do experimento, a fim de minimizar-se o desgaste causado pelo fluxo de veículos e pedestres sobre o pavimento, escolheu-se uma faixa de rua em um loteamento em implantação às margens da rodovia GO 480, no município de Rialma – GO, mostrado na Figura 1, onde as etapas de pavimentação asfáltica ainda não foram concluídas.

Figura 1 – Vista aérea do local com indicação do ponto de realização do experimento.



Fonte: Google LLC (2021)

2.4.2 Preparação da superfície

Antes da aplicação das tintas, em conformidade com as orientações da NBR 13245/2011, bem como com as indicações dos fabricantes (NANOTECH DO BRASIL, 2018; SHERWIN-WILLIAMS, 2021), procedeu-se com a escovação e a lavagem do trecho do pavimento em análise com detergente neutro, conforme apresenta-se na Figura 2, com o intuito de remover partículas soltas, matérias orgânicas e outras substâncias indesejáveis eventualmente presentes na pista.

Figura 2 – Limpeza da superfície.



Fonte: Próprios autores (2021)

Em seguida, considerando-se o rendimento estimado das tintas utilizadas, e a largura da rua, de aproximadamente 6,8 m, efetuou-se a demarcação de três faixas de análise com dimensões de 5 m x 2 m cada, totalizando área igual a 10 m², centradas na pista e distantes 90 cm do meio-fio em ambos os lados. As faixas foram separadas entre si por um intervalo de 1 m de distância, com o intuito de evitar que as características refletivas de algum dos revestimentos afetassem a temperatura das regiões adjacentes.

2.4.3 Pintura

Na Figura 3 destacam-se os dois produtos utilizados para fins de análise de desempenho, ambos caracterizados como materiais frios de tonalidade branca: o Revestimento Refletivo Nanothermic 1, doravante denominado Tinta 1, e a Tinta Acrílica Brilhante Metalatex Eco Telha Térmica Premium, doravante denominada Tinta 2. Ambas as tintas adquiridas possuem volume nominal do galão igual a 3,6 l, sendo indicadas para aplicação em áreas de até 10 m².

Figura 3 – (a) Tinta 1 e (b) Tinta 2.



Fonte: Nanotech do Brasil (2021) e Leroy Merlin (2021)

Após um intervalo de aproximadamente 15 h desde a lavagem do pavimento, estando as superfícies completamente secas, iniciou-se a pintura, com rolo de lã sintética, seguindo-se os procedimentos previstos pela NBR 13245/2011 e pelos fabricantes dos produtos (NANOTECH DO BRASIL, 2018; SHERWIN-WILLIAMS, 2021).

Para a Tinta 2, a pintura se deu em três camadas de 1,2 l de tinta com acréscimo de 120 ml de água para diluição, respeitando-se um intervalo de aplicação de 4 h entre demãos.

Para a Tinta 1, a orientação do fabricante consistia na aplicação em duas camadas de 1,8 l de tinta com acréscimo de 180 ml de água para diluição, também com intervalo de 4 h entre demãos. Contudo ao proceder-se com a pintura, verificou-se que o conteúdo real da embalagem não correspondia ao volume nominal indicado no rótulo. A falha foi comunicada à empresa responsável pelo produto, porém diante da impossibilidade de aquisição de outro exemplar em tempo hábil para a execução do experimento, o trecho revestido com as duas camadas foi reduzido para uma área de aproximadamente 5 m².

O acesso ao trecho pintado permaneceu vedado durante o período de secagem das tintas. Em uma das faixas demarcadas o pavimento foi mantido em seu estado natural. A Figura 4 apresenta uma visão das três faixas após a pintura.

Figura 4 – Pavimento após a aplicação das tintas.



Fonte: Próprios autores (2021)

2.4.4 Aferição das temperaturas

Decorrido intervalo de aproximadamente 17 h desde a aplicação da última demão de tinta, encontrando-se as superfícies devidamente secas, aferiu-se, em triplicata, as temperaturas das três faixas por meio de um termômetro infravermelho. Registrou-se também a temperatura ambiente através de um termômetro digital. Ambos os termômetros, mostrados na Figura 5, apresentam resolução de 0,1 °C.

As aferições repetiram-se semanalmente, em dias ensolarados com clima similar e horário fixado entre 12:00 h e 15:00 h, obtendo-se cinco mensurações.

Figura 5 – Aferição das temperaturas superficial (a) e ambiente (b).

(a)

(b)



Fonte: Próprios autores (2021)

2.4.5 Materiais utilizados

Os materiais utilizados para a limpeza, marcação, pintura e aferição das temperaturas, e suas respectivas quantidades, encontram-se listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Listagem de Materiais.

Quantidade	Descrição
-	Água limpa
3	Baldes
1	Colher para mistura das tintas
2	Copos medidores
1	Detergente neutro
1	Esfregão de cerdas duras
-	Fragmentos de gesso para marcações na pista
1	Galão de Revestimento Refletivo Nanothermic 1
1	Galão de Tinta Acrílica Brilhante Metalatex Eco Telha Térmica Premium
4	Piquetes
6	Recipientes para manuseio das tintas
2	Rodos
1	Rolo de fita adesiva
1	Rolo de fita de sinalização
2	Rolos de lã sintética
1	Termômetro infravermelho IR
1	Termômetro para ambiente Simpla
1	Trena de 5 m
2	Vassouras

Fonte: Próprios autores (2021)

2.4.6 Processamento dos dados

Ao fim da coleta de dados em campo, procedeu-se com a sua tabulação, cálculo dos valores médios e de dispersão, análises gráficas e comparação por meio do software LibreOffice (THE DOCUMENT FOUNDATION, 2020), verificando-se a eficiência e os custos dos revestimentos aplicados, e comparando-os com os dados obtidos através da pesquisa bibliográfica.

Além disso, buscando-se avaliar o efeito do desgaste das superfícies sobre a variação das temperaturas ao longo do tempo, bem como estimar projeções do seu desempenho em intervalos maiores, realizou-se a interpolação da série de valores obtidos pelo método de Newton, que segundo Guimarães e Nascimento (2002), apresenta eficiência elevada com relação ao nível de complexidade de cálculo. Através da plataforma Planetcalc (PLANETCALC LLC, 2021), obtiveram-se polinômios de grau quatro que descrevem o comportamento da diferença de temperatura entre as superfícies pintadas e o pavimento em estado natural em função do tempo, realizando-se ainda sua análise gráfica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Pesquisa Bibliográfica

Por meio das leituras realizadas, verificou-se que, por se tratar de uma tecnologia relativamente nova, a construção de pavimentos frescos, bem como as técnicas de adaptação de pavimentos convencionais com vistas à diminuição de suas temperaturas, ainda são pouco conhecidas e estudadas no ramo da indústria da pavimentação, constatando-se também a inexistência de normativas que obriguem os pavimentos a atenderem padrões de cor ou de refletância solar (GARTLAND, 2010). Além disso, em consulta às normativas nacionais concernentes aos requisitos de desempenho de tintas para construção civil, NBR 11702/2019 e NBR 15079/2019 Partes 1 e 2, percebeu-se também a ausência de referenciais aplicáveis às propriedades térmicas das tintas comercializadas no país.

Entretanto, identificou-se um projeto pioneiro de resfriamento urbano executado na cidade de Los Angeles no ano de 2019, onde implantaram-se diferentes técnicas para arrefecimento do pavimento em cerca de trinta e cinco quarteirões contíguos do município, realizando-se posteriormente a análise do benefício proveniente desse empreendimento para o conforto térmico dos bairros onde foi realizado (LOS ANGELES, 2021). Na Figura 6 exibe-se parte do processo de aplicação de um revestimento refletivo sobre o pavimento.

Figura 6 – Execução de tratamento térmico sobre um trecho de asfalto na cidade de Los Angeles.



Fonte: Los Angeles (2021)

3.2 Estudo de Campo

Na pesquisa junto às lojas de materiais de construção da região de Rialma – GO, constatou-se a indisponibilidade de tintas frias em oferta, confirmando-se assim, também na cidade em estudo, os apontamentos de Gartland (2010) de que os benefícios proporcionados pelo uso dos revestimentos refletivos ainda são ignorados por grande parte dos profissionais do mercado da construção. Procedeu-se então com a compra dos dois exemplares de tintas em lojas virtuais, fato que agregou custos consideráveis ao seu valor final devido às taxas de frete.

3.3 Pesquisa Experimental

3.3.1 Temperaturas registradas

As Tabelas 3A, 3B e 3C apresentam os valores individuais e médios das temperaturas superficiais mensuradas para a faixa de asfalto em estado natural e para as faixas com aplicação das Tintas 1 e 2, respectivamente, como também a temperatura ambiente registrada em cada um dos dias e horários listados.

Tabela 3A – Temperaturas: Asfalto em Estado Natural.

Data da aferição	25/03/21	01/04/21	09/04/21	15/04/21	22/04/21
Dias decorridos desde a pintura	1	8	16	22	29
Horário de início	12:22 h	15:00 h	13:17 h	14:14 h	13:58 h
Temperatura ambiente (°C)	35,5	36,3	34,3	34,5	32,2
Temperatura superficial 1 (°C)	62,6	61,9	52,8	60,9	59,5
Temperatura superficial 2 (°C)	64,1	62,0	53,4	60,8	59,5
Temperatura superficial 3 (°C)	62,4	61,4	53,1	59,9	59,8
Média (°C)	63,033	61,767	53,100	60,533	59,600
	59,607				

Fonte: Próprios autores (2021)

Tabela 3B – Temperaturas: Tinta 1

Data da aferição	25/03/21	01/04/21	09/04/21	15/04/21	22/04/21
Dias decorridos desde a pintura	1	8	16	22	29
Horário de início	12:22 h	15:00 h	13:17 h	14:14 h	13:58 h
Temperatura ambiente (°C)	35,5	36,3	34,3	34,5	32,2
Temperatura superficial 1 (°C)	41,1	40,2	34,0	38,5	35,8
Temperatura superficial 2 (°C)	41,8	40,6	33,7	39,2	36,0
Temperatura superficial 3 (°C)	40,5	40,3	33,7	39,2	35,5
Média (°C)	41,133	40,367	33,800	38,967	35,767
	38,007				

Fonte: Próprios autores (2021)

Tabela 3C – Temperaturas: Tinta 2

Data da aferição	25/03/21	01/04/21	09/04/21	15/04/21	22/04/21
Dias decorridos desde a pintura	1	8	16	22	29
Horário de início	12:22 h	15:00 h	13:17 h	14:14 h	13:58 h
Temperatura ambiente (°C)	35,5	36,3	34,3	34,5	32,2
Temperatura superficial 1 (°C)	41,4	39,5	35,0	37,7	36,5
Temperatura superficial 2 (°C)	41,2	39,9	35,3	38,8	36,3
Temperatura superficial 3 (°C)	39,5	39,6	35,6	37,8	36,6
Média (°C)	40,700	39,667	35,300	38,100	36,467
	38,047				

Fonte: Próprios autores (2021)

3.3.2 Temperaturas superficiais em função da temperatura ambiente e do horário

A Tabela 4 relaciona as médias da temperatura superficial do asfalto aos respectivos valores de temperatura ambiente registrados em cada um dos dias e horários, destacando dois intervalos específicos de análise.

Tabela 4 – Comparação entre as temperaturas

Dia	Hora	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura Superficial (°C)	Intervalo
1	12:22	35,5	63,033	-
8	15:00	36,3	61,767	2
16	13:17	34,3	53,100	1
22	14:14	34,5	60,533	1
29	13:58	32,2	59,600	2

Fonte: Próprios autores (2021)

Contraopondo-se os dados referentes aos dias 16 e 22, doravante denominado intervalo 1, com as variações verificadas entre os dados dos dias 8 e 29 – intervalo 2 –, percebe-se uma diferença considerável da temperatura superficial registrada no intervalo 1, da ordem de 7 °C, para valores muito próximos de temperatura ambiente; situação não verificada no intervalo 2, apesar da diferença de mais de 4 °C na temperatura ambiente.

Considerando-se ainda que a diferença entre os horários de medição para ambos os intervalos é de aproximadamente 1 h, depreende-se que a temperatura superficial aparenta não estar diretamente associada a nenhum dos dois fatores: temperatura ambiente e horário de aferição. Tal fato pode ser explicado pela influência de outras variáveis ambientais não consideradas neste estudo, como a ação dos ventos sobre o processo de convecção do calor das superfícies para o ar (GARTLAND, 2010).

Diante destas constatações, procedeu-se com a análise das temperaturas aferidas para as diferentes superfícies desconsiderando-se eventuais interferências da temperatura ambiente e do horário sobre a eficiência dos revestimentos.

3.3.3 Eficiência das tintas

A Figura 7 apresenta um gráfico com a comparação entre os valores médios de temperatura superficial, do asfalto natural e com a aplicação das tintas, nos cinco dias de aferição, como também as médias gerais.

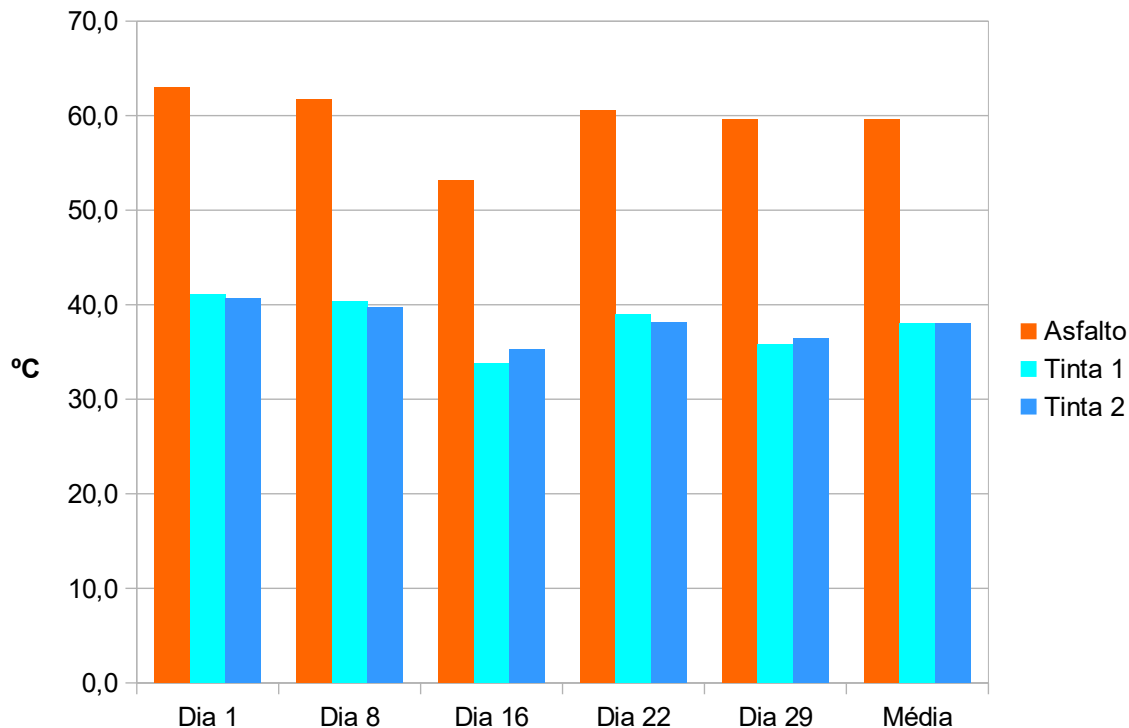
Para ambas as tintas, identificou-se uma redução superior a 21 °C, em média, da temperatura superficial com relação ao pavimento em estado natural. Considerando-se a precisão do termômetro utilizado para as aferições, pode-se afirmar que a eficiência média de resfriamento das duas tintas foi equivalente.

Percebeu-se também uma melhor eficiência de resfriamento da Tinta 2 em dias com temperatura superficial do asfalto superior a 60 °C – condição observada com maior frequência –, verificando-se efeito contrário para a Tinta 1. Ressalta-se que tal performance verificada para a Tinta 1, pode estar associada à sua aplicação em área menor.

Notou-se ainda que, no dia de menores temperaturas superficiais da série de pontos analisada, o nível de redução da temperatura por ambas as tintas foi significativamente menor. Acredita-se que esses resultados se devem ao fato de o desempenho dos revestimentos

refletivos estar associado à quantidade de radiação incidente sobre eles, de modo que, havendo maior incidência sobre a superfície, consequente há maior reflexão.

Figura 7 – Gráfico das temperaturas superficiais.



Fonte: Próprios autores (2021)

3.3.4 Desempenho em função do tempo

Através de uma análise visual das superfícies pintadas, percebeu-se que gradualmente sofreram desgaste e manchamento, como nota-se na Figura 8, onde apresentam-se as fotografias da faixa de aplicação da Tinta 1, retiradas no primeiro dia de aferições e no último.

Figura 8 – Condição da faixa no primeiro (a) e no último dia de análise (b).



Fonte: Próprios autores (2021)

Com os valores de diferença entre as temperaturas do asfalto e das faixas pintadas, em função dos dias de análise, a plataforma Planetcalc (PLANETCALC LLC, 2021) gerou os polinômios interpoladores 1 e 2, associados respectivamente aos comportamentos observados para a Tinta 1 e para a Tinta 2.

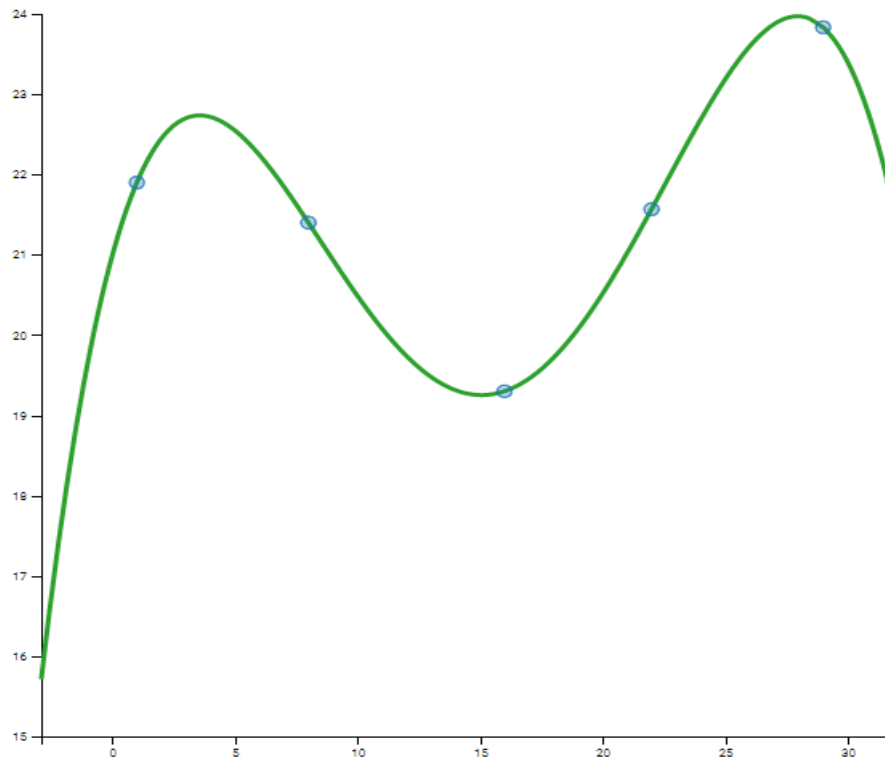
$$f(x) = \frac{-29587}{160524000}x^4 + \frac{612527}{53508000}x^3 - \frac{653647}{3087000}x^2 + \frac{4228709}{3822000}x + \frac{210628217}{10032750} \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{-185923}{401310000}x^4 + \frac{744563}{26754000}x^3 - \frac{3150143}{6174000}x^2 + \frac{10694707}{3822000}x + \frac{502080548}{25081875} \quad (2)$$

Confeccionaram-se também os gráficos correspondentes às equações polinomiais determinadas para cada uma das tintas, exibidos nas Figuras 9 e 10 .

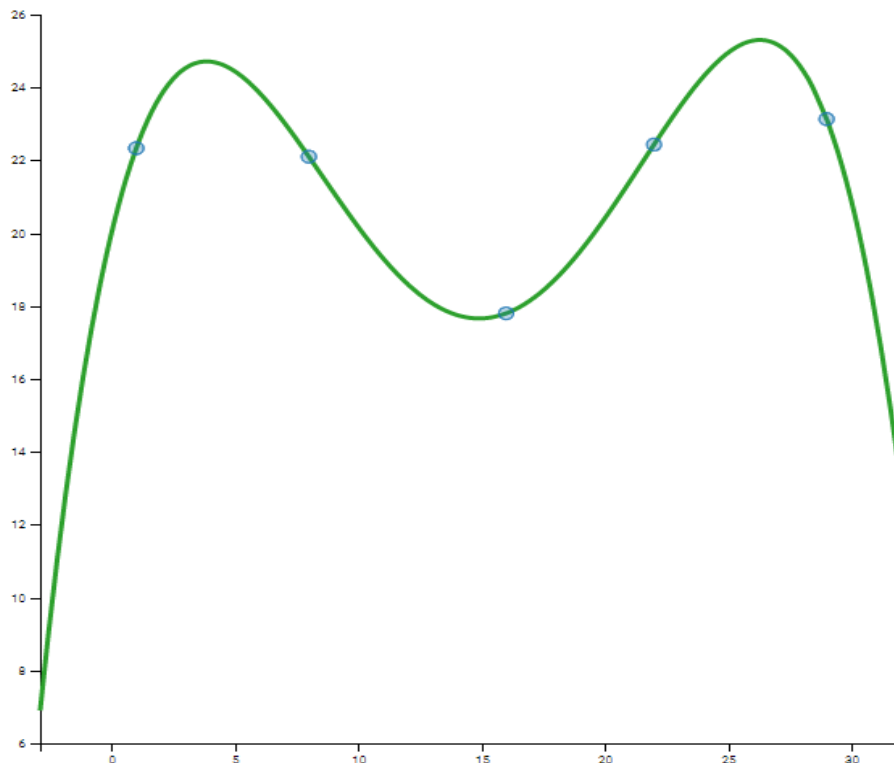
A partir dos gráficos, percebeu-se que a quantidade de medições realizadas se mostrou insuficiente para a obtenção de estimativas próximas aos valores reais através da técnica adotada, de modo que não foi possível efetuarem-se as projeções de desempenho a longo prazo, como esperado. Contudo, o caráter decrescente apresentado pelas equações obtidas, pode servir como indicação de uma real tendência de diminuição da eficiência das tintas em função do tempo. Além disso, a partir do traçado dos gráficos pode-se inferir que a Tinta 2 apresenta uma maior propensão ao decréscimo de desempenho ao longo do tempo.

Figura 9 – Gráfico da estimativa de desempenho da Tinta 1 em função do tempo.



Fonte: Próprios autores (2021)

Figura 10 – Gráfico da estimativa de desempenho da Tinta 2 em função do tempo.



Fonte: Próprios autores (2021)

3.3.5 Custos e rendimento

Conforme os dados fornecidos pelos fabricantes das tintas frias (NANOTECH DO BRASIL, 2018; SHERWIN-WILLIAMS, 2021), ambas apresentaram rendimento médio estimado de 2,8 m²/l. A Tabela 5 relaciona os custos individuais dos revestimentos – desconsiderando-se os valores de frete –, aos seus respectivos rendimentos, apresentando ainda uma estimativa de custo de aplicação para um trecho de 1 km de rua com dimensão igual à verificada em campo.

Tabela 5 – Relação entre o custo e o rendimento das tintas.

Variável	Tinta 1	Tinta 2
Custo (R\$)	139,00	114,90
Volume do galão (l)	3,6	3,6
Custo por litro (R\$/l)	38,61	31,92
Rendimento (m ² /l)	2,8	2,8
Custo por m ² (R\$/m ²)	13,79	11,40
Custo estimado para aplicação em 1 km de rua (R\$)	93.769,84	77.511,90

Fonte: Próprios autores (2021)

Tendo em vista que se verificou para a Tinta 2 um nível de resfriamento superior na maioria dos dias analisados, e ainda que esta apresentou uma economia de 17,33% em relação a Tinta 1, pode-se defini-la como a opção mais eficaz, quanto ao custo-benefício, entre os dois revestimentos avaliados.

3.4 Análise Comparativa

Em uma análise do desempenho de três diferentes tecnologias de pavimentos frescos aplicadas no bairro Sun Valley, na cidade de Los Angeles, Zaidi (2020), verificou no intervalo de tempo entre 12 h e 15 h, para uma temperatura ambiente máxima de 29,4 °C, que o trecho de melhor desempenho entre os analisados, apresentou valor de temperatura superficial cerca de 5 °C menor que a temperatura do asfalto comum, sendo esta aproximadamente igual a 36 °C. Comparando-se unicamente o nível de resfriamento alcançado, constatou-se que as tintas analisadas no presente estudo apresentaram melhores resultados, devendo-se, porém, levar em consideração a diferença significativa entre a temperatura média do pavimento nos dois casos.

Com relação aos custos, a empresa Nichols Consulting Engineers (2012) em relatório apresentado ao Escritório de Serviços de Rua da cidade de Los Angeles, adotou como referência orçamentária para os projetos de aplicação de tintas frias sobre pavimentos já existentes, um custo estimado por metro quadrado entre R\$ 3,44 e R\$ 5,73 para execução completa do serviço, considerando-se os valores atuais de correção monetária. Nesse quesito, percebeu-se grande discrepância para com os custos de aplicação aqui obtidos, onde se verificam valores cerca de duas vezes maiores para a aquisição exclusiva da matéria-prima.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Consideram-se relevantes os resultados apresentados pelos revestimentos refletivos analisados, sendo que o seu desempenho na redução da temperatura superficial do pavimento mostrou-se condizente com os valores indicados pelos fabricantes, atingindo inclusive níveis superiores aos esperados com base nos referenciais bibliográficos consultados (GARTLAND, 2010).

Tendo em vista a comprovada influência exercida pelos pavimentos sobre a temperatura do ar nas cidades (POMERANTZ et al. 2000), acredita-se que a aplicação destas tintas frias em áreas maiores resultaria em uma significativa amenização dos efeitos da ilha de calor urbana e na conseqüente melhoria do microclima da região de Rialma – GO. Todavia, o alto custo – decorrente em grande parte da escassez de matéria-prima –, assim como o desconhecimento a respeito dessa tecnologia, verificados na região, ainda se apresentam como barreiras para a realização de tal empreendimento.

O avanço das pesquisas sobre essa técnica deve contribuir para promover a conscientização da população local quanto aos seus benefícios, como também para viabilizar sua implantação efetiva. Pondera-se ainda que a eventual aplicação em larga escala tende a diminuir os custos, fazendo com que as soluções de resfriamento dos pavimentos se tornem mais acessíveis.

A fim de obterem-se estimativas coerentes para a variação da temperatura do pavimento em função do tempo, propõe-se a realização de futuras pesquisas com tempos de análise maiores, divididos em intervalos menores, bem como a consideração de outras variáveis não abordadas no presente estudo, tais como a influência dos ventos, da chuva e do trânsito sobre os revestimentos, de modo a obter-se um panorama mais preciso da sua expectativa de vida. Sugere-se ainda a realização de estudos com tintas de tonalidades diferentes, com o intuito de compreender melhor a influência da cor sobre a eficiência de resfriamento, bem como proporcionar, além do conforto térmico, maior conforto visual associado ao uso dos pavimentos refletivos.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11702**: Tintas para construção civil - Tintas, vernizes, texturas e complementos para edificações não industriais - Classificação e requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 13245**: Tintas para construção civil - Execução de pinturas em edificações não industriais - Preparação de superfície. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15079-1**: Tintas para construção civil - Requisitos mínimos de desempenho - Parte 1: Tinta látex fosca nas cores claras. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 15079-2**: Tintas para construção civil - Requisitos mínimos de desempenho - Parte 2: Tintas látex semiacetinada, acetinada e semibrilho nas cores claras. Rio de Janeiro, 2019.

DORNELLES, K. A.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P. Absortância solar e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope construtivo. **Paranoá**, Brasília, nº 12, p. 55-64, 2014.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GOOGLE LLC. **Google Earth**. Versão 9.135.0.3. Mountain View, 2021. Disponível em: <<https://earth.google.com/web>>. Acesso em: 23 maio 2021.

GUIMARÃES, B. C.; NASCIMENTO, L. T. **Análise de Complexidade de Métodos Numéricos para Interpolação**. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

KEMP, G. R.; PREDOEHL, N. H. **An Investigation of the Effectiveness of Asphalt Durability Tests** – Final Report. Sacramento: California Department of Transportation, 1980.

LEROY MERLIN. **Tinta Acrílica Brilhante Metalatex Eco Telha Térmica Premium Cerâmica Telha 3,6L Sherwin Williams**. Villars, 2021. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/tinta-acrilica-brilhante-metalatex-eco-telha-termica-premium-ceramica-telha-3,6l-sherwin-williams_87552045>. Acesso em: 19 fev. 2021.

LOS ANGELES. Bureau of Street Services. **Cool LA Neighborhoods**. Los Angeles, 2021. Disponível em: <<https://streetsla.lacity.org/cool-la-neighborhoods>>. Acesso em: 23 maio 2021.

MARQUES, T. H. T. **Influência das propriedades térmicas da envolvente opaca no desempenho de habitações de interesse social em São Carlos, SP**. 2013. Dissertação (Mestrado)--Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MONTEIRO, L. M. Apresentação - **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas, de Lisa Gartland. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

NANOTECH DO BRASIL. **Manual do Procedimento de Aplicação**. Santo André, 2018.

_____. **Nanothermic 1** – Revestimento térmico. Santo André, 2021. Disponível em: <<https://nanotechdobrasil.com.br/nanothermic-1/>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

NICHOLS CONSULTING ENGINEERS. **Cool Pavements Study** – Final Report. Fountain Valley, 2012.

PETROBRAS. **Asfalto** – Informações Técnicas. Rio de Janeiro, 2015.

PLANETCALC LLC. **Interpolação Polinomial de Newton**. Versão 3.0.3982.0. Moscou, 2021. Disponível em: <<https://pt.planetcalc.com/9021/#>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

POMERANTZ, M., AKBARI, H.; HARVEY, J. T. **Cooler Reflective Pavements Give Benefits Beyond Energy Savings: Durability and Illumination**. Washington: ACEEE, 2000.

POMERANTZ, M. et al. **The Effect of Pavements Temperatures on Air Temperatures in Large Cities**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.

SHERWIN-WILLIAMS. **Premium** - Metalatex Eco Telha Térmica. Taboão da Serra, 2021. Disponível em: <<https://www.sherwin-williams.com.br/produto-detalle/metalatex-eco-telha-termica>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. 2009. Dissertação (Mestrado)--Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

THE DOCUMENT FOUNDATION. **LibreOffice**. Versão 6.3.7.2. Berlim, 2020.

TRICHES, G.; VILLENA, J.; MARINOSKI, D. L. Mistura Asfálticas Coloridas e a Ilha de Calor Urbano. **Boletim Técnico**, 3 ed. São Paulo: SINICESP, 2014.

ZAIDI, F. F. **Cool Pavement Evaluation** - Sun Valley, Los Angeles. Los Angeles: UCLA - Institute of Transportation Studies, 2020.