

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO POR ANÁLISE TERMOGRÁFICA DE TINTAS REFLETANTES APLICADAS EM FACHADAS COM ETICS

Luís Gonçalves^{1*}, Luís Matias² e Paulina Faria¹

1: Departamento de Engenharia Civil (DEC),
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa (FCT UNL)
2829-516 Caparica, * l.goncalves@campus.fct.unl.pt, paulina.faria@fct.unl.pt

2: Departamento de Edifícios (DED)
Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)
Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, lmatias@Inec.pt

Palavras-chave: Tintas refletantes, termografia de infravermelhos, ETICS, desempenho térmico

Resumo: Atualmente, são usadas em coberturas planas tintas de elevada refletância (cool paints), com o intuito de reduzir os ganhos térmicos resultantes da incidência da radiação solar e, conseqüentemente, melhorar o conforto térmico e a eficiência energética nos edifícios, principalmente em períodos de verão.

Tendo em conta o potencial de aplicação destas tintas em fachadas (cool facades), tem sido desenvolvido, um estudo de investigação para avaliar o desempenho térmico de tintas refletantes, sob condições reais de exposição. Nesse sentido, foram aplicadas diversas tintas, na maioria caracterizadas por apresentarem uma elevada reflexão, como revestimento final de uma solução do tipo ETICS nas fachadas de três células experimentais construídas à escala real, no campus do LNEC. Neste trabalho utilizou-se uma dessas células.

A escolha de uma tinta a aplicar em sistemas ETICS obedece a vários requisitos, quer estéticos, quer funcionais (tais como a aderência entre camadas do revestimento ou a durabilidade do isolante térmico), fundamentais para o seu bom desempenho. Como este sistema construtivo está sujeito a uma exposição solar prolongada, podem surgir vários problemas, como a degradação da pintura ou das propriedades do isolante térmico, principalmente com cores menos claras.

Para avaliar o desempenho térmico das tintas aplicadas recorreu-se ao método de análise não destrutivo de termografia de infravermelhos. A termografia permite conhecer a distribuição de temperatura nas fachadas ao medir a radiação emitida pelas suas superfícies. Como apoio ao diagnóstico termográfico, colocaram-se termopares entre o isolamento térmico e o sistema de pintura das células experimentais. Testes laboratoriais adicionais permitiram a caracterização das propriedades ópticas (reflectância e emitância) das diferentes tintas refletantes utilizadas neste estudo.

Da análise comparativa do desempenho térmico de tintas refletantes e convencionais, verificou-se que as tintas refletantes permitem reduzir a temperatura superficial da fachada, diminuindo o risco de perda das propriedades isolantes do sistema ETICS e garantindo a sua melhor funcionalidade e longevidade. A cor da tinta utilizada afeta, naturalmente, a capacidade refletora da superfície, podendo desempenhar um papel importante no balanço energético do edifício.

Neste artigo apresentam-se os resultados obtidos neste estudo, nomeadamente, a análise comparativa do desempenho térmico entre tintas refletantes e convencionais, a avaliação do risco de perda das propriedades isolantes do sistema ETICS, e evidenciou-se o potencial da termografia de infravermelhos na avaliação do desempenho térmico de tintas refletantes.

1. INTRODUÇÃO

A principal característica das tintas refletantes (*cool paints*) é a sua elevada capacidade para refletir a radiação solar incidente. Estas tintas absorvem apenas uma pequena fracção da radiação solar incidente, mantendo a temperatura superficial mais baixa que quando aplicadas as tintas convencionais correspondentes, diminuindo o fluxo de calor para o interior dos edifícios.

A aplicação em larga escala de superfícies com maior refletância solar pode afectar o micro-clima urbano, ao permitir a diminuição da temperatura do ar, devido a uma menor transferência de calor da superfície para o ar ambiente, reduzindo desta forma o *heat island effect* [1].

Neste contexto, surge a necessidade de utilizar materiais ou revestimentos, que permitam de uma forma económica e ecológica, melhorar o conforto térmico e a eficiência energética nos edifícios. A solução apresentada neste estudo recorre à utilização de *cool materials*, como as tintas refletantes. Estas apresentam elevadas refletância solar e emitância, contribuindo desta forma para a redução dos ganhos térmicos convectivos e radiativos em ambiente urbano e para a mitigação do *heat island effect*.

Atualmente, este tipo de tintas (*cool paints*) já são largamente utilizadas em coberturas planas, com o intuito de reduzir os ganhos térmicos resultantes da incidência da radiação solar e, conseqüentemente, melhorar o conforto térmico e a eficiência energética nos edifícios, principalmente em períodos de Verão.

Tendo em conta o potencial de aplicação destas tintas em fachadas (*cool facades*), foi desenvolvido, no LNEC, no âmbito da dissertação de mestrado do primeiro autor [2], um estudo de investigação para avaliar o desempenho térmico de tintas refletantes, sob condições reais de exposição. Nesse sentido, foram aplicadas diversas tintas, na maioria caracterizadas por apresentarem uma elevada reflexão, sobre uma solução de revestimento do tipo ETICS aplicada nas fachadas de três células experimentais construídas à escala real, no campus do LNEC.

Para avaliar o desempenho térmico das tintas utilizadas recorreu-se ao método de análise não destrutivo de Termografia de Infravermelhos. A termografia permite conhecer a distribuição de temperatura das fachadas ao medir a radiação emitida pelas suas superfícies. O conhecimento do padrão de temperaturas superficiais possibilita a exploração de outra vertente do diagnóstico termográfico, como é a detecção de variações de temperatura prejudiciais à durabilidade dos materiais e que originam a sua degradação.

Testes laboratoriais adicionais permitiram a caracterização das propriedades ópticas (reflectância e emitância) das diferentes tintas refletantes utilizadas neste estudo.

Neste artigo apresentam-se os resultados obtidos no estudo efectuado sobre uma das células, nomeadamente a análise comparativa do desempenho térmico entre faixas revestidas com tintas refletantes e convencionais (em condições reais de exposição) e a avaliação do risco de perda das propriedades isolantes do sistema ETICS, e demonstra-se o potencial da termografia de infravermelhos na avaliação do desempenho térmico de tintas refletantes.

2. METODOLOGIA DE ESTUDO

2.1. Células experimentais

Para avaliar o desempenho térmico de tintas refletantes em condições reais de exposição, foram utilizadas três células experimentais, construídas à escala real. Estas células foram construídas no âmbito de um estudo de doutoramento em desenvolvimento, para avaliar o desempenho térmico de soluções de cobertura inovadoras [3].

Usando como base as três células experimentais, procedeu-se à aplicação das tintas refletantes nas fachadas, em faixas verticais de três cores: branco, preto e telha, esta última assim designada por ser semelhante à de telhas cerâmicas correntes (Figura 1).



Figura 1. Células experimentais à escala real pintadas com três tintas refletantes.

As três células experimentais têm dimensões idênticas (4,80 m x 4,80 m x 3,74 m) e partilham a mesma solução construtiva. A solução construtiva consiste em paredes altamente isoladas termicamente ($R_t = 3,75\text{m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}$), compostas por blocos vazados de cofragem permanente em EPS (poliestireno expandido moldado) preenchidos *in situ* com varões de aço e betão bombeado para preenchimento. A espessura total da parede é de 0,28 m. A cobertura é constituída por pré-lajes de betão armado que servem de cofragem a uma camada de betão complementar com função resistente, incluindo armadura complementar, totalizando uma espessura de 0,20 m.

Para a avaliação do desempenho térmico das diferentes cores, foram colocados termopares entre o isolamento térmico e acabamento pintado com as tintas refletantes, um por cada faixa, das fachadas Oeste e Sul da célula experimental do meio (Figura 2).

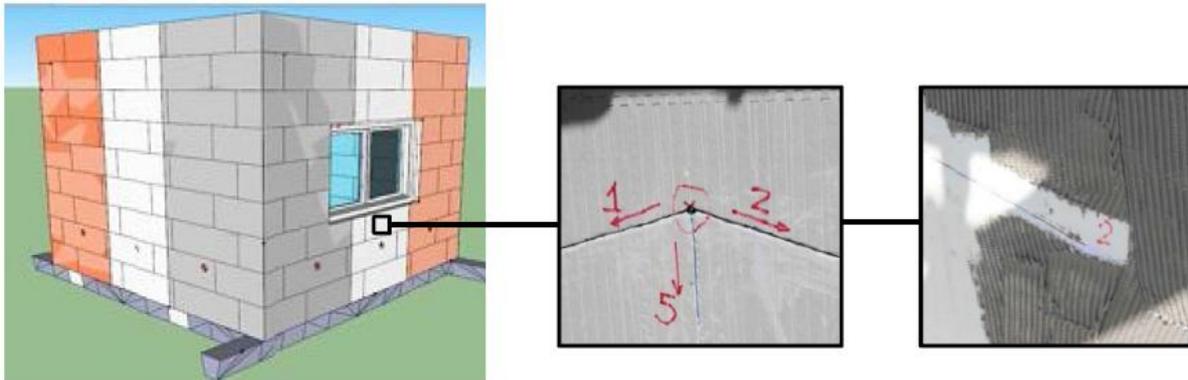


Figura 2. Localização dos termopares na parede Sul e Oeste da célula experimental (aplicados entre o isolamento térmico e revestimento).

As medições de temperatura obtidas com os termopares (registadas a cada 10 minutos) permitem registar a evolução da temperatura superficial das diferentes tintas aplicadas, em contínuo durante períodos prolongados ao longo das várias estações do ano. A inclusão de termopares na fachada da célula experimental permite validar os resultados obtidos por análise termográfica.

A parede orientada a Oeste além da tinta reflectante também inclui em cada faixa, uma zona pintada com uma tinta convencional da mesma cor, destacada a amarelo na figura 3. Esta zona situa-se sensivelmente a meia altura da parede e apresenta uma secção de 20 cm x 20 cm.



Figura 3. Localização dos três quadrados pintados com tinta convencional

A avaliação do desempenho térmico das tintas refletantes foi efetuada durante vários dias no período de verão (Agosto de 2013), nas fachadas Oeste e Sul da célula experimental. A análise termográfica aqui apresentada baseia-se nos resultados obtidos nos termogramas efetuados ao longo de um dia (céu limpo), assim como, nas temperaturas obtidas pelos termopares. Desta forma, foi possível validar o método termográfico como um método fiável para a determinação da temperatura superficial no exterior, e ao mesmo tempo, analisar a contribuição das tintas refletantes para a diminuição da temperatura superficial.

2.2. Termografia de infravermelhos

A Termografia de Infravermelhos pode ser definida como o mapeamento térmico de padrões da temperatura superficial do objecto em análise. Estes mapas são produzidos por instrumentos termográficos como a câmara termográfica e designam-se por termografias ou termogramas [4]. Uma câmara de infravermelhos mede e reproduz, em imagens térmicas visíveis (termogramas), a radiação infravermelha emitida pelos objectos.

Métodos de análise não destrutiva como a termografia de infravermelhos baseiam-se no princípio, de que a presença de certos tipos de anomalias altera o fluxo de calor através do material, permitindo a sua identificação no termograma [5]. Mas a análise termográfica não pode ser reduzida apenas à identificação de anomalias. A influência das diferentes propriedades radiativas dos materiais e das condições ambientais locais (termografia pelo exterior), apresentam um peso significativo no que se "vê" no termograma, sendo a sua caracterização, um factor importante na descodificação do padrão térmico, que muitas vezes não é de fácil interpretação.

3. RESULTADOS

3.1. Validação do método termográfico

Tal com já foi referido, no presente desenvolvimento experimental pretendeu-se analisar o desempenho das tintas refletantes em estudo, no contexto real de aplicação, averiguando a aplicabilidade do método termográfico e a qualidade dos resultados obtidos. Durante um dia de observação, foram registados vários termogramas (T1 a T6), em diferentes períodos do dia, nomeadamente, às 11h, 13h, 16h, 18h30, 19h30 e 20h30.

Tendo por base, a temperatura registada pelos termopares, foi possível averiguar a precisão/fiabilidade dos resultados obtidos pela termografia. Na figura 4 apresentam-se as temperaturas superficiais medidas pelo método termográfico e pelos termopares, na fachada Sul, nas faixas revestidas com a tinta branca refletante (BrT) e com a tinta preta refletante (PrT).

A emitância estimada para as diferentes superfícies de $\epsilon = 0,89$ (tintas refletantes), e $\epsilon = 0,90$ (tintas convencionais) para configuração da câmara termográfica resultaram de ensaios de caracterização efetuados em laboratório. Os restantes parâmetros de configuração do equipamento que dependem das condições atmosféricas e da metodologia, foram determinados no momento de ensaio.

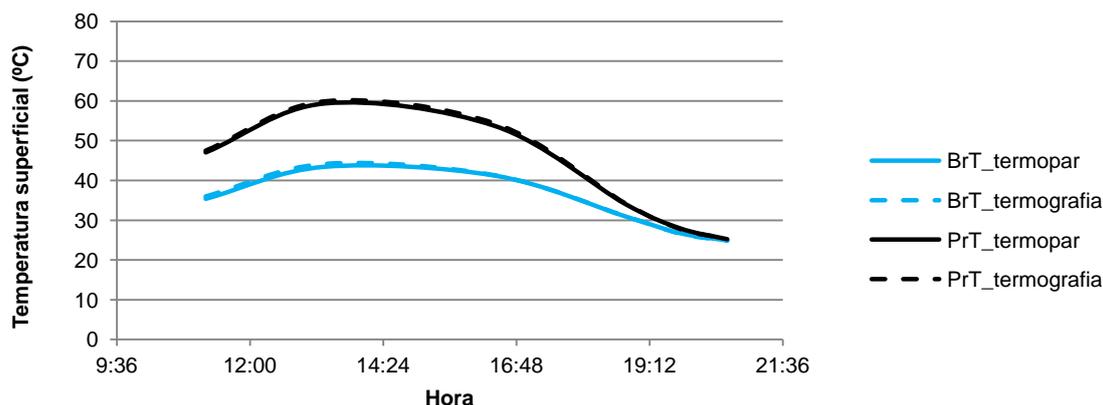


Figura 4. Evolução da temperatura obtida pelos termopares e pela termografia, nas faixas revestidas com duas tintas refletantes (branca, BrT, e preta, PrT), ao longo de um dia.

Da análise da figura anterior e dos valores apresentados na Tabela 1 verificou-se que, a diferença entre a temperatura superficial obtida pela termografia e pelos termopares (ΔT_{surf}) na parede Sul, para as duas cores (BrT e PrT), foi no máximo de 2 %.

Tabela 1. Diferença de temperatura entre medições (termopares e termografia)

Termograma	Temperatura superficial (fachada sul), T_{surf} (°C)				Diferença de temperatura superficial, ΔT_{surf} (%)	
	Termografia		Termopares		(Termopares/Termografia)	
	BrT	PrT	BrT	PrT	BrT	PrT
T1	36,0	47,5	35,4	47,0	1,8	1,0
T2	44,2	59,9	43,4	59,4	1,7	0,9
T3	41,3	54,3	41,2	53,7	0,2	1,1
T4	31,0	34,2	30,9	34,1	0,2	0,4
T5	26,6	27,8	26,7	28,0	0,5	0,6
T6	24,8	25,3	24,9	25,2	0,4	0,3

Observando a Tabela 1, pode concluir-se que o valor máximo de ΔT_{surf} não é significativo porque o valor médio da diferença de temperatura entre medições equivale a cerca de $0,8^{\circ}\text{C}$ para ambas as cores (PrT e BrT). Os valores obtidos revelam que, embora condicionado por decorrer em condições reais de exposição, consegue-se, com o método termográfico, uma boa aproximação à situação real, permitindo aferir, com relativa segurança, a temperatura superficial do elemento.

3.2. Desempenho térmico das tintas refletantes

Durante o dia em análise, foram obtidos vários termogramas (T1 a T6), correspondendo cada um, a um período diferente do dia. As condições meteorológicas verificadas nesse dia foram caracterizadas por céu limpo, vento fraco e temperaturas típicas de verão (Tabela 2). Estas condições meteorológicas revelam ser ideais para o desempenho das tintas refletantes, assim como, para aplicação do método termográfico.

Tabela 2. Condições exteriores (Radiação solar incidente e temperatura ambiental) durante a inspeção termográfica

Termograma	Hora	Condições exteriores	
		Radiação solar incidente, I_{global} (W/m^2)	Temperatura ambiental, T_{amb} ($^{\circ}\text{C}$)
T1	11:04	719	21,2
T2	13:11	905	27,0
T3	16:18	722	31,3
T4	18:39	309	32,0
T5	19:37	109	28,6
T6	20:30	1	26,7

Tal como foi referido, a avaliação do desempenho dos diferentes tipos de tintas (refletante e convencional) só é possível na parede Oeste. Nesse sentido, cingiu-se a análise do desempenho térmico à parede Oeste, apresentando-se na figura 5, o termograma geral e a correspondente imagem real às 16h.

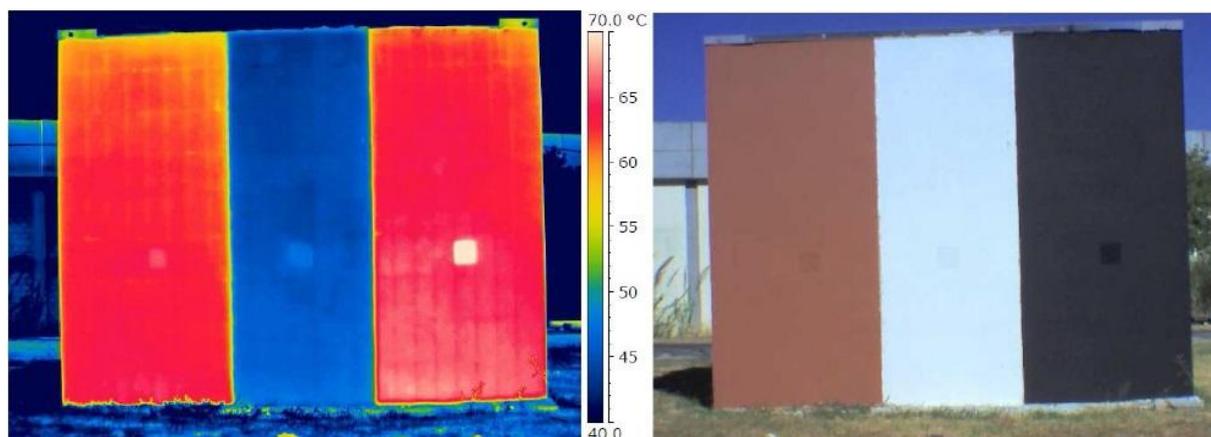


Figura 5. Termograma geral da parede Oeste e correspondente imagem real às 16h

O termograma geral apresentado na figura 5, permite observar os diferentes desempenhos dos dois tipos de tinta e três cores existentes na parede. É possível verificar que as faixas verticais de cor preta refletante (PrT) e telha refletante (TeT), surgem na termografia com cores muito semelhantes, indicando que a superfície onde estão aplicadas, se encontra a uma temperatura semelhante. O inverso acontece com o BrT, surgindo no termograma com uma cor diferente, neste caso, indicativo de uma zona com temperatura superficial muito inferior às restantes áreas pintadas.

Distingue-se igualmente, os quadrados pintados com tinta telha convencional (TeN), branca convencional (BrN) e preta convencional (PrN), da restante parede, estando sempre mais quentes do que as correspondentes tintas refletantes (BrT, PrT e TeT).

As figuras 6, 7 e 8 apresentam os termogramas, obtidos no dia da inspeção termográfica; quando a radiação solar incidente foi mais intensa, pelas 13h (T2), imediatamente antes de cessada a incidência solar, pelas 18h30 (T4) e no final do dia, pelas 20h30 (T6).

Em cada termograma, a área de medição 1 (Ar1), situa-se sobre o quadrado pintado com tinta convencional e a área de medição 2 (Ar2) sobre a superfície correspondente à cor refletante. Apenas são apresentados os termogramas da faixa branca e preta, pois a temperatura superficial na cor telha é semelhante à atingida na cor preta.

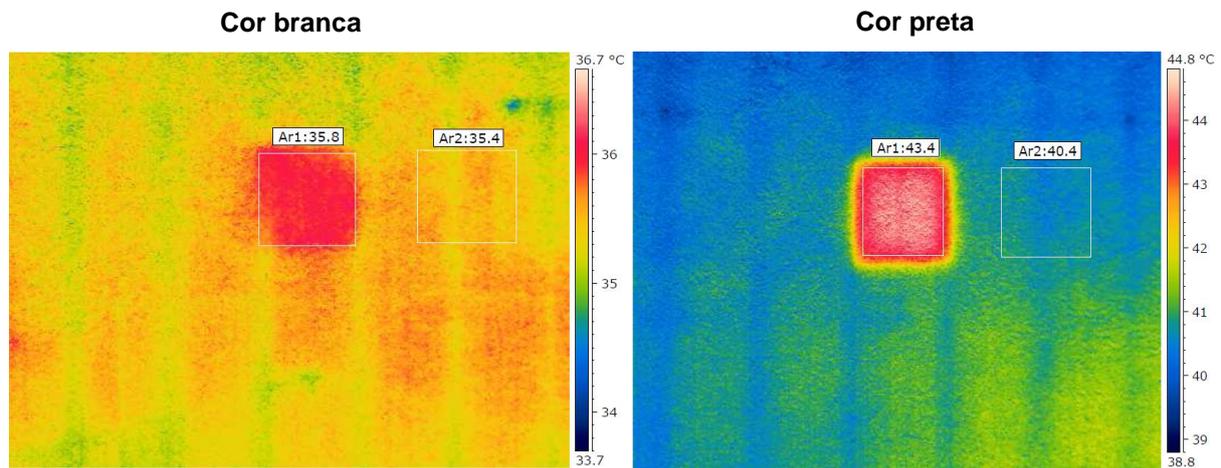


Figura 6. Termogramas (T2) da faixa de cor branca e de cor preta, da parede Oeste às 13h

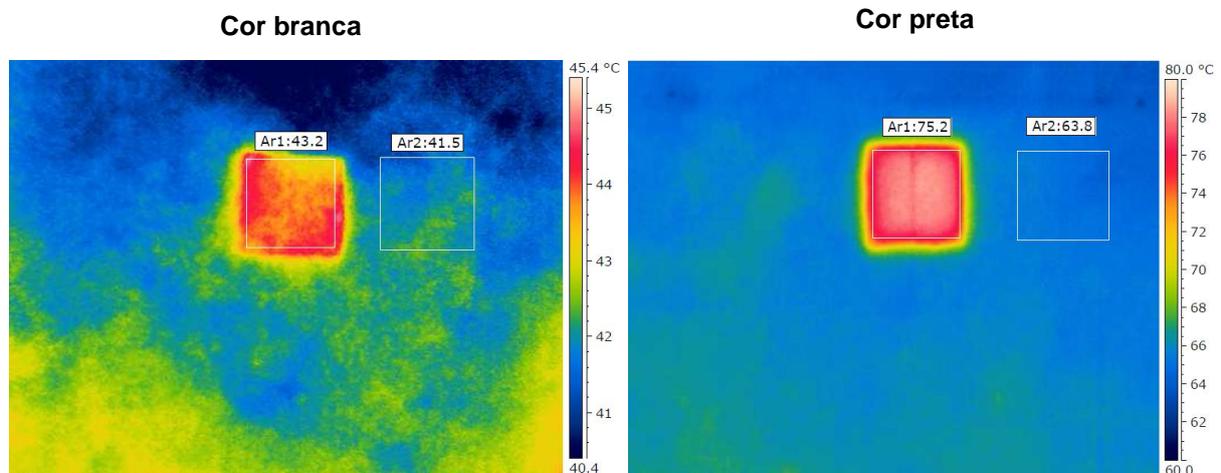


Figura 7. Termogramas (T4) da faixa de cor branca e de cor preta, da parede Oeste às 18h30

Analisando as figuras 6 e 7, observa-se que as temperaturas superficiais são nitidamente diferentes na zona pintada com tinta refletante e convencional. A diferença de temperatura verificada entre tipo e cor de tinta deve-se em parte, ao maior ou menor aquecimento da superfície pela radiação solar, e como resultado direto das propriedades intrínsecas da tinta (refletante ou convencional) e da cor (branca ou preta).

Quando os termogramas (T2 e T4) foram obtidos, a superfície analisada encontrava-se insolada. Sabendo que as tintas refletantes analisadas (BrT e PrT) apresentam uma refletância solar superior às correspondentes tintas convencionais, principalmente no infravermelho próximo (NIR), verificou-se que as superfícies onde se aplicaram tintas refletantes atingiram temperaturas superficiais mais baixas (resultado da menor absorção de radiação).

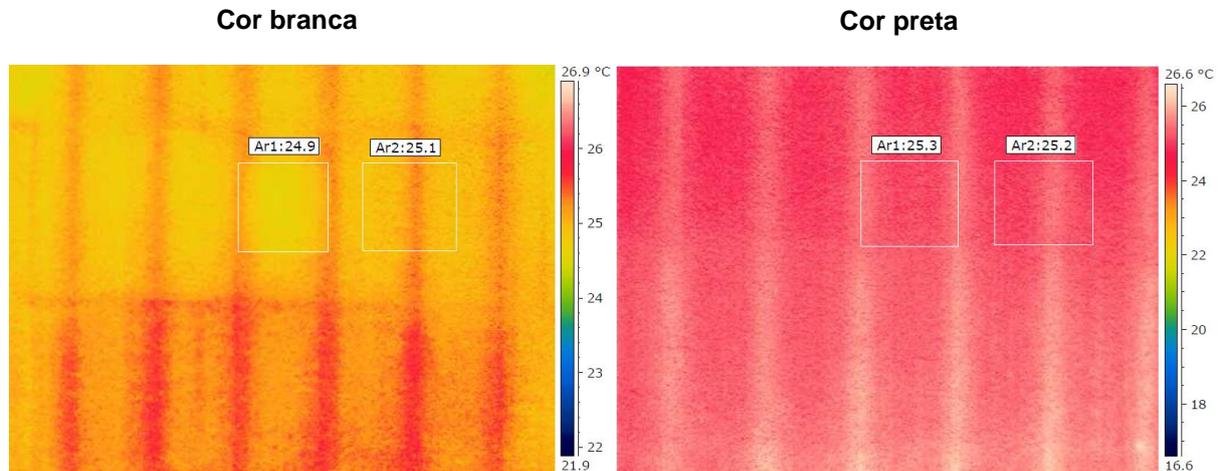


Figura 8. Termogramas (T6) da faixa de cor branca e de cor preta, da parede Oeste às **20h30**

Na figura 8, é perceptível que cessado o "aquecimento", isto é, verificada a redução da radiação solar incidente, são as propriedades térmicas e emitância dos materiais que controlam a emissão de energia e não a maior ou menor capacidade da superfície para refletir radiação solar. Quando a parede começa a arrefecer, a maior ou menor emissão de energia térmica dos vários constituintes da parede, é captada pela câmara termográfica que traduz em imagens termográficas, as zonas na superfície com diferente temperatura, evidenciando a constituição da parede. Neste caso, são visíveis no termograma, as armaduras que se encontram no interior da parede.

A figura 9 apresenta a evolução da temperatura superficial na parede Oeste, nas faixas com tintas branca e preta, refletante e convencional, respetivamente BrT, BrN, PrT e PrN, ao longo do dia analisado.

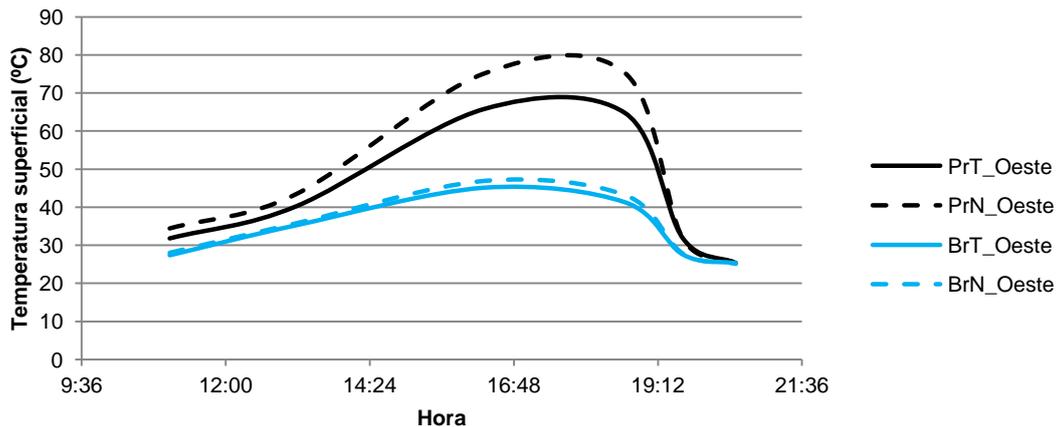


Figura 9. Evolução da temperatura superficial na parede Oeste, nas faixas de cores branca e preta, refletante e convencional.

Analisando a figura 9, verifica-se que se atingiu uma diferença de temperatura máxima entre a tinta preta convencional (PrN) e refletante (PrT) de 11,4 °C, e na cor branca, de apenas 1,8 °C.

A Tabela 3 apresenta as diferenças de temperatura (ΔT), para as três cores, entre tintas convencionais e refletantes na parede Oeste, ao longo do dia analisado.

Tabela 3. Diferenças de temperatura entre tintas convencionais e refletantes, para as três cores, na parede Oeste.

Termograma	Período do dia	Diferença de temperatura superficial, ΔT_{surf} (°C)		
		BrN-BrT	PrN-PrT	TeN-TeT
T1	11h00	0,6	2,6	1,0
T2	13h00	0,4	3,0	0,5
T3	16h00	1,8	9,3	1,5
T4	18h30	1,7	11,4	1,4
T5	19h30	0,2	0,6	0,4
T6	20h30	-0,2	0,1	-0,2

Analisando a Tabela 3, verifica-se que a ΔT_{surf} entre tintas convencionais e refletantes, diminui para os períodos mais tardios do dia. Conclui-se que essa diminuição da diferença, resulta da menor intensidade da radiação solar incidente nestes períodos, e do facto, de ambos os tipos de tinta apresentarem emitâncias muito semelhantes.

A Tabela 4 apresenta as diferenças de temperatura superficial na parede Oeste, entre as faixas com tintas refletantes das três cores (BrT, PrT e TeT).

Tabela 4. Diferenças de temperatura entre as três tintas refletantes, na parede Oeste.

Termograma	Período do dia	Diferença de temperatura superficial, ΔT_{surf} (°C)		
		PrT-BrT	PrT-TeT	TeT-BrT
T1	11h00	4,4	2,7	1,7
T2	13h00	5,0	1,4	3,6
T3	16h00	20,7	2,3	18,4
T4	18h30	22,3	2,4	21,1
T5	19h30	4,2	2,7	1,5
T6	20h30	0,1	0,2	-0,2

Verifica-se que as diferenças de temperatura entre tintas refletantes são mais elevadas entre cor escura e clara, como seria de esperar, e que as temperaturas superficiais do PrT e TeT diferem no máximo em 3°C.

A escolha de uma cor específica, obedece a vários requisitos estéticos ou funcionais (por exemplo, a durabilidade do isolante), e considera-se que, para os últimos, este estudo pode oferecer algumas respostas.

No caso de estudo, o isolamento térmico das células experimentais consiste num sistema ETICS. Esta solução consiste, sucintamente, na aplicação de um isolamento térmico sobre a face exterior da parede. Quando o sistema de isolamento térmico está sujeito a uma exposição solar prolongada, podem ocorrer vários problemas, desde da degradação da pintura até à perda das propriedades isolantes.

Neste contexto, um factor determinante na manutenção da funcionalidade do sistema é o isolante térmico, neste caso, poliestireno expandido moldado (EPS). O intervalo de temperaturas, para os quais, o EPS pode ser utilizado com total segurança, sem que as suas propriedades sejam afetadas, tem como valor extremo, um limite de temperatura de utilização que ronda os 100 °C para acções de curta duração e os 80 - 85 °C para acções continuadas [6].

Constata-se com os resultados obtidos que, as tintas refletantes permitem baixar consideravelmente a temperatura das superfícies, diminuindo o risco de perda das propriedades isolantes do sistema ETICS, garantido a sua funcionalidade e longevidade.

4. CONCLUSÕES

O estudo realizado permitiu constatar que a aplicação de tintas refletantes em fachadas pode constituir uma solução válida na redução da temperatura superficial, possibilitando a diminuição dos ganhos térmicos através da envolvente, situação desejável no período de arrefecimento (verão). Este tipo de solução (passiva) revela ser de fácil aplicação e de custo relativamente baixo.

Pode-se assumir que existem vantagens inerentes ao uso de tintas refletantes, não só ao nível da poupança energética e financeira, resultante do menor consumo de energia para arrefecimento, mas também, ao nível da durabilidade da solução construtiva de revestimento de fachada ETICS.

A exposição prolongada a cargas térmicas elevadas, associada aos factores atmosféricos (raios UV, vento, precipitação), provoca o desgaste da superfície, e conseqüente degradação. Este desgaste, pode ser minorado com a aplicação de tintas refletantes, pois estas permitem reduzir consideravelmente a temperatura superficial, contribuindo para a diminuição da carga térmica, principalmente nos períodos onde se verifica maior intensidade solar.

Os resultados demonstraram igualmente, como era expeável, que tintas de cor mais clara apresentam temperaturas superficiais mais baixas que cores escuras, quando expostas a radiação solar.

Em suma, os resultados obtidos revelam que é plausível, assumir as vantagens inerentes ao uso deste tipo de tintas em fachadas, quando inserida numa estratégia bioclimática, cujo planeamento melhore as condições de conforto no interior dos edifícios.

Relativamente ao método termográfico constatou-se, que tomadas as devidas precauções, a Termografia revela ser um método eficaz e relativamente preciso, na determinação de temperaturas superficiais em condições reais de exposição, permitindo a avaliação do desempenho térmico deste tipo de soluções.

5. AGRADECIMENTOS

Agradece-se à CIN - Corporação Industrial do Norte, SA pelo fornecimento das tintas refletantes e convencionais utilizadas neste estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Santamouris, A. Synnefa e T. Karlessi, "Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions," *Solar Energy*, vol. 85, pp. 3085–3102, 2011.
- [2] L. Gonçalves, "Avaliação do desempenho térmico de tintas refletantes em fachadas por análise termográfica", *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2014.

- [3] A. Costa e C. Pina dos Santos, "Avaliação de produtos de alta refletância na reabilitação de coberturas planas. Estudo experimental", in *Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, CLB-MCS proceedings*. Guimarães (Portugal), Março de 2014.
- [4] X. Maldague, *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*, John Wiley & Sons, 2001.
- [5] L. Matias, "Testing techniques for structures inspection. Thermography", in *DuratiNet Course book: Lisbon*, LNEC, 29 a 30 de Maio 2012.
- [6] Associação Industrial do Poliestireno Expandido (ACEPE), <http://www.acepe.pt/index.php/eps/propriedades-qualidades>, Online:acesso 14 de Abril de 2014.