

**UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS, ENGENHARIAS E
TECNOLOGIA - UNACET
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS – PPGCEM**

LUIZ CESAR DE CASTRO

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS "FRIOS"
PARA PAVIMENTAÇÃO URBANA**

Dissertação de Mestrado
apresentado ao Programa de Pós-
Graduação em Ciência e
Engenharia de Materiais da
Universidade do Extremo Sul
Catarinense para obtenção do título
de Mestre em Ciência e Engenharia
de Materiais.

Orientador: Prof. Dr.
ElidioAngioletto

**CRICIÚMA
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

C355e Castro, Luiz Cesar de.

Estudo e desenvolvimento de materiais “frios” para
pavimentação urbana / Luiz Cesar de Castro;
orientador: Elídio Angioletto, – Criciúma, SC : Ed. do Autor,
2015.

78p : il. ; 21 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul
Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Materiais, Criciúma, SC, 2015.

1. Materiais frios – Desempenho térmico. 2. Pavimentação
– Materiais alternativos. 3. Pavimentação urbana. I. Título.

CDD. 22ª ed. 620.136

Luiz Cesar de Castro

Estudo e desenvolvimento de materiais “frios” para pavimentação.

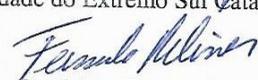
Esta dissertação foi julgada adequada à obtenção do grau de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Criciúma, SC, 03 de julho de 2015.

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Marcio Roberto da Rocha
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC


Prof. Dr. Alexandre Gonçalves Dal-Bó
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC


Prof. Dr. Fernando Pelisser
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela criação do Universo, pela minha existência e por permitir e possibilitar a pessoa que sou;

O segundo agradecimento faço ao meu orientador, o Prof. Dr. ElídioAngioletto, pelo profissionalismo, dedicação, estímulo, confiança, camaradagem e perseverança a mim dedicado em todo o processo de orientação. E que dessa relação docente/discente, permita-me, tê-lo a minha humilde amizade.

Agradeço à minha mulher Lédia, que sempre esteve ao meu lado, incentivando, apoiando e criando as condições favoráveis ao meu progresso pessoal e intelectual, nessa tão almejada conquista.

Agradeço aos acadêmicos Kananda de Matos Degues, Tchesare Andreas Keller e Willian Acordi Cardoso por sua dedicação, coleguismo e pelo trabalho conjunto no desenvolvimento nesta pesquisa.

Por último, agradeço a todos os professores, colegas e colaboradores do Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da UNESC, pelo profissionalismo, amizade e atenção, no processo de transmissão do conhecimento, a mim dedicados.

RESUMO

O recorrente fenômeno do aquecimento das cidades a patamares de temperatura elevados, as chamadas “ilhas de calor” vem sendo estudado no mundo todo, onde, além de gerar desconforto térmico urbano, provocam uma maior demanda de energia para refrigerar os ambientes. Em resposta ao impacto ambiental gerado por esse fenômeno, pesquisadores de diferentes nações estão desenvolvendo técnicas para atenuação do aquecimento, desenvolvendo novos materiais, tecnologias e sistemas construtivos para os elementos construídos do espaço urbano. E dentro desses elementos estudados, a pavimentação urbana é responsável por significativa contribuição para ocorrência da chamada “ilha de calor” nas cidades. A utilização de pavimentos chamados “frios” apresenta menor temperatura superficial, e constitui-se numa solução importante para mitigar os efeitos do fluxo de calor sensível nas cidades e no planeta. Várias tecnologias já foram desenvolvidas para diminuir o albedo urbano, nos pavimentos, telhados, vedações e outros elementos construtivos, e esses dados e resultados estão publicados e disponíveis. Estudos mostram de forma muito clara que a redução dos picos de aquecimento dos materiais chamados “frios” é muito significativa nos dias mais quentes das cidades, e que contribuem na diminuição da temperatura no ambiente urbano. Diante desse panorama local e global, o propósito desse trabalho foi desenvolver testar e avaliar novos materiais “frios” para pavimentação. Reflexão e emissividade foram os parâmetros térmicos que nortearam a concepção e o desenvolvimento dos novos materiais, material A(concreto+Talco) e material B(concreto+Mica), e ambos, após testes, demonstraram possuir melhor desempenho térmico que os convencionais, em relação aos parâmetros escolhidos. Foram usadas as matérias primas talco e mica por serem minerais comercialmente viáveis, por serem disponíveis em abundância no Brasil e por constituírem como excelentes agregados cimentícios na indústria da construção civil.

Palavras chave: Desempenho térmico; pavimentos; ilhas de calor; reflexão; emissividade.

ABSTRACT

The recurring phenomenon of increasing temperature levels on cities, the so-called "heat islands" is being study around the world, because apart from generating urban thermal discomfort, causes an increased demand for energy to cool environments. In response to the environmental impact generated by this phenomenon, researchers from several nations are developing techniques for warming mitigation, by developing new materials, technologies and construction systems for the built urban space elements. And within those studied elements, urban paving is responsible for a significant contribution to the occurrence of the "heat islands" in cities. The use of "cold" pavements, leads to a lower surface temperature, and results in an important solution to mitigate the effects of the sensible heat flux in the cities and the planet. Several technologies has been developed aiming to decrease the urban albedo on paving floors, roofs, seals and other building elements, and these data and results are already published and available. All these studies demonstrate very clearly that the reduction of the heating peaks from "cold" materials are very significant in the hottest days on cities, and that contributes to a decrease in temperature levels on urban environments. Given this local and global panorama, the purpose of this work is to investigate, develop, test and evaluate new "cold" materials for paving. Reflection and emissivity were the thermal parameters that guided the design and development of new materials, A material (concrete + talc) and B material (concrete + Mica), both, after testing, proved to have better thermal performance than conventional ones.

Keywords: Thermal performance; flooring; heat islands; reflection; emissivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Experimento de Herschel.....	25
Figura 2 - Diagramas de níveis de energia da matéria ao absorver/liberar uma onda eletromagnética.....	26
Figura 3 - Espectro da radiação eletromagnética.	27
Figura 4 - Representação gráfica dos processos radioativos que ocorrem na atmosfera.	28
Figura 5 - A correlação entre a possível mudança do albedo e a correspondente diminuição da temperatura ambiente média, em áreas urbanas.	29
Figura 6 - Representação da interação entre ondas eletromagnéticas e matéria.....	31
Figura 7 - A) Espectro contínuo, produzido por uma fonte que emite luz em todos os comprimentos de onda da faixa a ser analisada, no caso o visível;B) Espectro de emissão do elemento; C)Espectro de absorção do elemento.	32
Figura 8 - Espectro de absorção do mesmo elemento da figura 7C	32
Figura 9 - Diagrama esquemático de um sistema sensor de radiação ...	34
Figura 10 - Alterações no espaço natural pelo urbano pode afetar a temperatura do ar.....	35
Figura 11 - Mapa da cidade de São Paulo mostra regiões onde ocorrem as ilhas de calor.	36
Figura 12 - O uso de telhados brancos para aumentar a reflexão solar. 37	
Figura 13 - Esquema de refletância especular e difusa.	38
Figura 14 - Fatores que influenciam a refletividade dos raios solares. .	39
Figura 15 - Benefícios da manutenção de superfícies melhoram a refletância.	41
Figura. 16 - Esquema simplificada do sistema de transferência de calor do corpo humano.....	45
Figura 17 - Propriedades radiantes no espectro da radiação solar e do infravermelho de materiais de construção.....	46
Figura 18 - Diagrama das diretrizes e conceitos para desenvolvimento dos novos materiais.	51
Figura 19 - Diagrama esquemático das etapas do processo de desenvolvimento dos novos materiais.....	52
Figura 20 - Dispositivo desenvolvido para medição da radiação artificial dos corpos de prova.....	54
Figura 21 - Esquema do dispositivo desenvolvido para medição da radiação artificial.....	54
Figura 22 - Arranjo aleatório das amostras para exposição à luz solar. 55	

Figura 23 - Preparação das amostras para medição.....	56
Figura 24 e 25 - Teste de resistência à compressão dos corpos de prova	57
Figura 26 e 27- Dispositivo de exposição e medição das amostras sob ação da luz natural.....	59
Figura 28 - Materiais testados na luz artificial	60
Figura 29 - Materiais testados na luz solar.....	61
Figura 30 - Amostras expostas a radiação artificial.	62
Figura 31 - Amostras expostas a radiação Solar.	63
Figura 32 – Difratoogramas de raios-X das amostras a) concreto; b)concreto com talco; c)concreto com mica; d)mica; e)talco.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos de refletância.	38
Tabela 2 - Composição da superfície estimada de Sacramento – Califórnia.....	43
Tabela 3 - Índice das emissividades dos materiais em estudo.....	43
Tabela 4 - Composições dos novos materiais.....	53
Tabela 5 - Diferença de temperatura entre os métodos utilizados, dos materiais com melhor e pior desempenho.	64
Tabela 6 - Dados da emissividade, comparação entre os mensurados e a literatura.	64
Tabela 7 - Temperatura mensurada em cada material e o potencial de irradiação de calor.	69

LISTA DE ABREVIATURAS

ASTM :American Society for Testing and Materials
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UV: Ultravioleta
IV: Infravermelho
LAS: Laboratório Associados de Sensores e Materiais
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
USP: Universidade de São Paulo
NBR: Norma Brasileira
IRS: Índice de Reflexão Solar
RS: Reflexão Solar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
3.1 RADIAÇÃO SOLAR.....	25
3.1.2 Medição de Infravermelhos	31
3.1.3 Linha do tempo	32
3.1.4 Interação da radiação com a matéria	33
3.1.5 A influência da radiação solar no conforto térmico do espaço urbano.	34
3.1.6 Estudos para melhora do conforto térmico no espaço urbano	36
3.2. REFLETÂNCIA.....	37
3.2.1 Comportamento refletivo dos materiais	38
3.2.2 Fatores que interferem na refletância dos materiais	39
3.2.3 Correlação da refletância com o desempenho térmico	41
3.3 EMITÂNCIA/EMISSIVIDADE	43
3.4 COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO.....	44
3.5 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	44
3.6 REVESTIMENTOS REFLEXIVOS.....	45
3.7 TÉCNICAS E MÉTODOS.....	47
3.7.2 Índice de reflexão solar	47
3.7.3 Procedimentos de medição	48
3.7.4 Aplicação da energia solar	49
4 MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS.....	51
5. RESULTADO E DISCUSSÃO	59
5.1 DESEMPENHO TÉRMICO	59
5.2 EMISSIVIDADES	64
5.3 ANÁLISES DAS ESTRUTURAS CRISTALINAS	65
5.4 ENSAIOS DOS ESFORÇOS DE COMPRESSÃO.	67
5.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE ECONOMIA DE ENERGIA.	67
6. CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1 INTRODUÇÃO

Nesse início de século XXI, as mídias tem nos informado, que nos espaços urbanos e suburbanos de praticamente todo o Brasil formam-se as chamadas "ilhas de calor", onde o ar e as temperaturas das superfícies são mais quentes do que as áreas rurais próximas.

Segundo Gago (2013), as cidades ocupam 2% da superfície da Terra, e seus habitantes consomem 75% dos recursos de energia do mundo. Sob certas condições, o calor da radiação solar em diferentes atividades urbanas pode fazer subir as temperaturas das cidades em certas áreas, simplesmente por causa da maneira em que uma cidade é estruturada. Estes efeitos são conhecidos como "ilha de calor urbano". Gago (2013), em seu trabalho de pesquisa recente sobre a "ilha de calor urbano", estabelece como estratégias de planejamento urbano, contemplar o incremento de espaços verdes, elevar o albedo das edificações, e maior preocupação com as superfícies de pavimentos.

Dimoudi (2014), em seu estudo feito na Grécia, afirma que os materiais, que são utilizados na pavimentação de ruas, calçadas e dos espaços urbanos e nas superfícies dos edifícios, vedações verticais externas (fachadas) e horizontais (telhados planos), constituem, a "pele" de uma cidade. Esses materiais desempenham um papel decisivo nos processos de transferência de calor, que acontecem entre a cidade e o meio ambiente. Materiais influenciam na absorção da radiação solar, na emissão de radiação térmica, no armazenamento de calor, e nos processos de evaporação que ocorrem em praticamente toda a superfície da cidade.

Conforme as cidades vão se expandindo, essas "ilhas de calor" tendem a elevar as temperaturas médias anuais das cidades. Esse fenômeno acontece não só no Brasil, mas praticamente em todas as cidades do planeta com a estação do verão, exceto as encontradas em latitudes maiores. O efeito de "ilha de calor" tem sido documentado em centenas de cidades do mundo. Estudos realizados sobre o tema, nos fornece dados e um panorâma completo do problema e um profundo conhecimento de suas características (Mirzaei, 2010; Santamouris, 2014). Isso acontece porque os materiais que compõem as edificações e pavimentações das áreas urbanas absorvem a radiação solar em todas as faixas de frequências, incluindo aquelas no infravermelho, que por sua vez aquecem os materiais, armazenando calor e em seguida dissipando-o no ambiente urbano em forma de ondas longas. Isto significa que o envelope urbano desempenha um papel muito importante nos ganhos de

calor e no superaquecimento das cidades, nos esclarece Alchapar, *et al* (2014).

Outro aspecto que deve ser considerado na definição do tipo de pavimentação é a temperatura. Segundo Mascaró (2008), os pavimentos asfálticos chegam a atingir 90°C, principalmente nas latitudes menores onde a radiação solar é mais intensa, o que os tornam desagradáveis na sensação térmica em escala do microclima local. Os pavimentos claros, como o concreto, refletem boa parte dos raios solares e atingem, no chão, temperaturas que não ultrapassam 60°C. A diferença é, portanto, significativa.

Segundo Romero(2000), das intervenções do homem no espaço natural, destaca-se o processo de urbanização, que ao substituir por construções e ruas pavimentadas a cobertura vegetal natural, altera o equilíbrio do microambiente. Isto produz distúrbios no ciclo térmico diário, devido às diferenças existentes entre a radiação solar recebida pelas superfícies construídas e a capacidade de armazenar calor dos materiais de construção, considerando que o tecido urbano absorve calor durante o dia e o irradia durante a noite.

Para Frota(2003), as modificações climáticas podem ser tais que as áreas urbanas, notadamente as maiores, resultem em verdadeiras “ilhas de calor”. Tais fenômenos, basicamente, são gerados a partir das modificações impostas à drenagem do solo, notadamente pelo seu revestimento por superfícies de concreto e asfalto.

A utilização de materiais que apresentam alta refletividade à radiação solar e alta emissividade espectral, materiais dito frios, contribuem para aumentar o albedo urbano e é considerada uma das técnicas mais promissoras para mitigar o fenômeno da ilha de calor, conforme Akbari(2009).

Diante desse panorama, o propósito deste estudo foi primeiramente buscar entender a dinâmica e o comportamento térmico dos materiais convencionais utilizados na pavimentação urbana, principalmente o parâmetro absorvância e emissividade, e propor solução de novos materiais com melhor desempenho térmico, para mitigar os problemas de aquecimento urbano. Também estabelecer diretrizes para se desenvolver os novos materiais, tecnologias ou sistemas construtivos com melhor desempenho térmico e por consequência contribuir com a qualidade do ambiente nas escalas micro, meso e macroclimáticas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudo do efeito da adição do uso do talco e da mica no composto de concreto na fabricação de pavimentos urbanos, considerando os parâmetros de desempenho térmico de reflexão e emissividade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Entender a dinâmica da radiação solar e as trocas térmicas entre os materiais e o ambiente construído;
- Discutir os resultados dos estudos já existentes;
- Desenvolver e testar novos materiais com adição de talco e mica para pavimentação com boas propriedades reflexivas e emissivas;
- Avaliar os novos materiais com adição de talco e mica e buscar o aumento do albedo urbano;

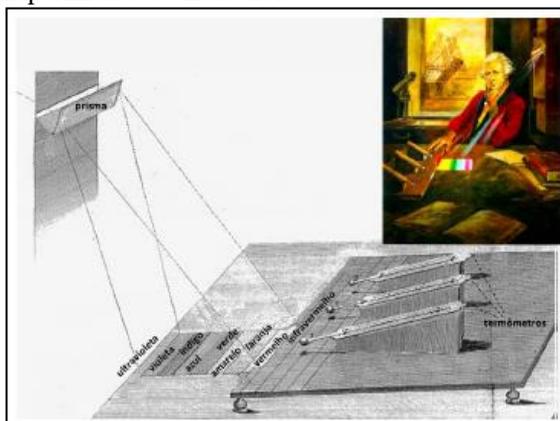
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RADIAÇÃO SOLAR

O Sol emite ondas eletromagnéticas em várias frequências de ondas, e elas podem ser detectadas com um experimento semelhante ao que William Herschel realizou no ano de 1800, conforme se observa na figura 01, cujo objetivo era o de identificar quais cores do espectro visível da luz solar continham o calor.

Conforme nos explica Leite (2012), o experimento consistiu na colocação de termômetros de mercúrio pintados de preto em posições distintas do espectro da luz solar para observação das temperaturas em cada região do espectro. Onde principalmente na faixa do infravermelho, entre 700nm e 2.500nm, é a responsável pelo aquecimento da matéria.

Figura 1 - Experimento de Herschel.



Fonte: las.inpe.br(2015) adaptada.

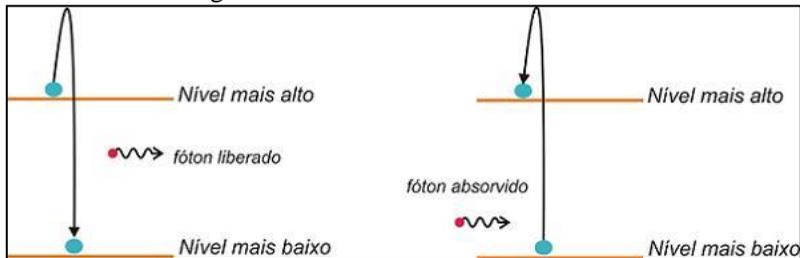
Conforme Santamouris (2011) os materiais utilizados nos materiais dos edifícios e nas estruturas urbanas desempenham um papel muito importante quanto ao equilíbrio térmico da ambiência urbana. Eles absorvem a radiação solar na faixa do infravermelho, aquecem e dissipam parte do calor acumulado através de convecção e processos radiativos para a atmosfera aumentando a temperatura das cidades.

O aquecimento da terra ocorre pela incidência da radiação solar, que após atravessar a atmosfera incide nas superfícies que absorvem essa radiação e a emitem para o espaço em forma de ondas longas. Essas

taxas de absorção e emissão são quase equivalentes, de modo que o sistema está muito próximo do equilíbrio radiativo.

O espectro da radiação eletromagnética engloba a luz visível, os raios gama, as ondas de rádio, as microondas, os raios-X, ultravioleta e infravermelho. O espectro de absorção é obtido quando o espectro contínuo de luz atravessa uma substância. Neste caso, duas coisas podem acontecer em maior ou menor proporção: a luz pode atravessar a substância ou a luz pode ser absorvida pela substância. Os átomos e moléculas tendem a absorver radiações eletromagnéticas nas mesmas frequências em que as emitem, de modo que o espectro de absorção é equivalente ao espectro de emissão. Isso acontece porque na absorção ocorre a transição inversa daquela do espectro de emissão, conforme figura 02.

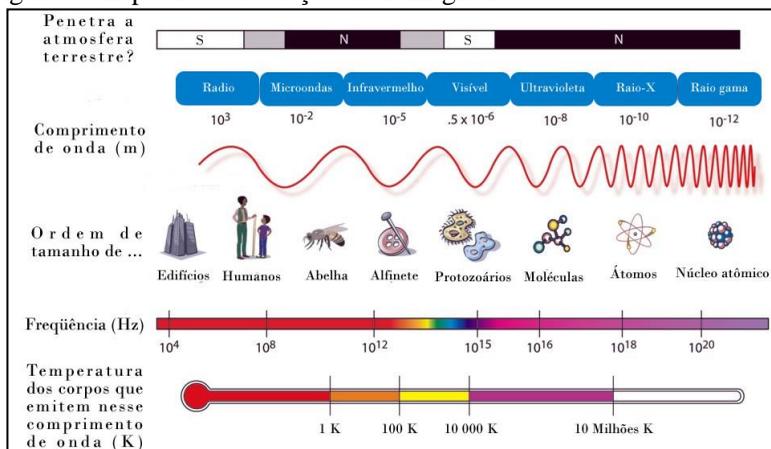
Figura 2 - Diagramas de níveis de energia da matéria ao absorver/liberar uma onda eletromagnética.



Fonte:UFRGS- Astronomia e Astrofísica(2015)

Segundo Leite e Prado (2012), as ondas eletromagnéticas são geradas a partir do movimento de cargas elétricas aceleradas ou a partir das transições (eletrônicas, nucleares, vibracionais) entre dois níveis de energia quantizados, e isso remete ao universo atômico. Alguns elétrons de cada átomo estão fortemente ligados ao núcleo, enquanto outros estão praticamente livres para circular pelo material. Quanto mais elétrons “livres” um material possuir, maior será a capacidade desse material em refletir a luz, justamente porque esses elétrons estão livres para vibrar e interagir com a luz (onda eletromagnética) incidente. No espectro eletromagnético, apresentado na Figura 03, se observam comprimentos de ondas distintos, e embora o espectro eletromagnético seja contínuo, são atribuídas diferentes classificações para cada intervalo de comprimento de onda devido aos seus efeitos, forma de geração, forma de medida e o uso das suas ondas eletromagnéticas.

Figura 3 - Espectro da radiação eletromagnética.



Fonte: UFRGS(2015)

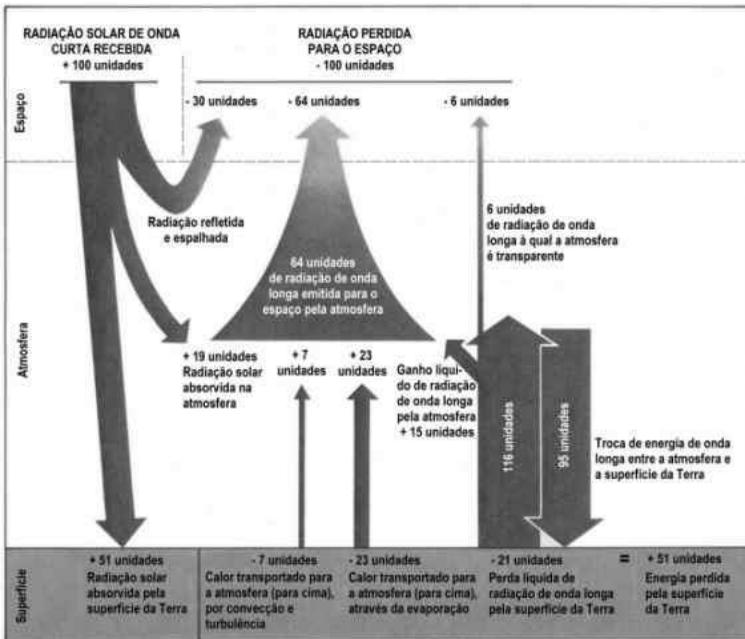
Para Leite e Prado (2012), no espectro solar são observados os intervalos de onda para cada região do espectro, e esses intervalos, determinados pelos comprimentos de ondas citados apresentam energias distintas e afetam o material de diferentes formas.

- Região ultravioleta (UV): compreende intervalos de comprimento de onda entre 190 a 380nm, representa aproximadamente 6% do espectro solar e é a principal causa da deterioração dos materiais orgânicos devido ao efeito fotoquímico que a radiação UV causa dentro da estrutura do polímero.
- Região do visível (VI): compreende os intervalos de comprimentos de onda entre 381 a 780nm e representa cerca de 46 % de todo o espectro solar, determinando as cores dos objetos. Verifica-se que os diferentes comprimentos de onda (as diferentes cores) produzem diversas sensações de luminosidade, isto é, o olho humano não é igualmente sensível a todas as cores do espectro visível.
- Região do infravermelho (IV): corresponde aproximadamente a 43% do espectro solar e o seu intervalo de comprimento de ondas curtas e médias está contido entre 730nm até aproximadamente 2.500nm. É a região responsável pelas trocas de energia térmica entre os corpos. A radiação infravermelha é invisível ao olho humano, sendo uma “fonte de calor” que

interfere nas condições internas do ambiente, através do ganho de calor.

Segundo Ceballos (2000), da energia total que incide na atmosfera terrestre apenas parte chega até a superfície terrestre, conforme apresentando na Figura 04, a Terra recebe energia através da radiação solar e perde energia através da radiação infravermelha em forma de ondas longas, para o espaço, sendo esta troca de energia que determina a temperatura da Terra.

Figura 4 - Representação gráfica dos processos radioativos que ocorrem na atmosfera.



Fonte: UFPR(2015)

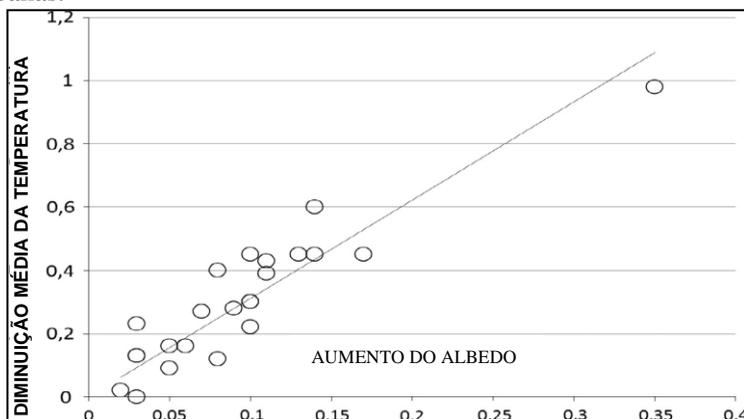
Aproximadamente 30% da radiação solar são refletidas e ou redirecionadas de volta para o espaço de duas formas, em torno de 26% são refletidas por nuvens ou partícula em suspensão e 6% refletida pela superfície da terra. Deste total da radiação solar, 51% são absorvidas pelas superfícies dos materiais expostos. Embora a atmosfera seja muito transparente à radiação solar incidente, somente 25% da radiação solar passam diretamente para a superfície da Terra sem nenhuma interferência da atmosfera. O restante é refletido, absorvido ou

espalhado de volta para o espaço até atingir a superfície da Terra ou retornar ao espaço.

Para Martinazzo (2004), na atmosfera terrestre existe uma grande quantidade de nitrogênio e o oxigênio, assim como as moléculas de água e aerossóis. A radiação solar incide em linha reta nos elementos como nitrogênio e o oxigênio, assim como moléculas de água, aerossóis e de poluição, que espalham a radiação solar dispersando-a em todas as direções.

A radiação direta é a radiação solar recebida diretamente do sol pelos componentes construtivos, com exceção da radiação que é espalhada, absorvida ou refletida por componentes atmosféricos. A parcela da radiação solar que é espalhada pelos componentes atmosféricos, citados anteriormente, é denominada radiação difusa. A Figura 05 mostra a correlação entre possível mudança do albedo urbano e a correspondente diminuição da temperatura média em áreas urbanas, conforme estudos de Santamouris (2014). Seus estudos também demonstram que se aumentar o albedo urbano de 0,1 a 0,35 haverá uma redução média das temperaturas em torno de 1°C.

Figura 5 - A correlação entre a possível mudança do albedo e a correspondente diminuição da temperatura ambiente média, em áreas urbanas.



Fonte: M. Santamouris (2014)Adapatada

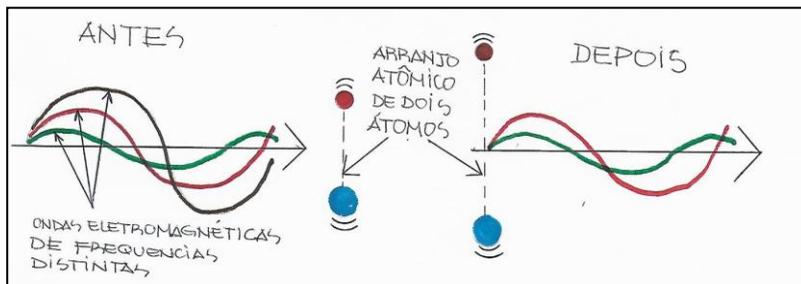
3.1.1 Radiação de raio infravermelho.

Todos os objetos acima do zero absoluto (0 K ou $-273,16^{\circ}\text{C}$) emitem radiação térmica devido à agitação térmica de átomos e moléculas dos quais são constituídos. Quanto maior essa agitação, mais quente se encontra o objeto e mais radiação ele emite. Conforme Chrzanowski(2001), a radiação térmica pode ser emitida nas faixas de ultravioleta, visível, infravermelho e até na faixa de microondas do espectro eletromagnético. Entretanto, para temperaturas típicas encontradas na Terra, a maior parte da radiação térmica é emitida dentro da faixa de infravermelho. Assim sendo, os termovisores são fabricados com detectores que respondem a essa faixa do espectro.

Segundo Maldague (2002), a termografia detecta a radiação infravermelha emitida pelo objeto inspecionado, que é invisível ao olho humano, e a transforma em imagens térmicas visíveis, com a possibilidade de convertê-la em leituras de temperatura. Dentro do espectro eletromagnético, a radiação infravermelha está localizada entre a região de radiação visível e a região de radiação de microondas. Essas regiões são divididas arbitrariamente, dependendo dos métodos utilizados para produção e detecção da radiação. Para Leite e Prado (2012), a espectroscopia no infravermelho produz espectros de absorção (e/ou transmissão) fazendo um feixe de luz na região do infravermelho incidir sobre a substância e determinando as frequências absorvidas por ela. Nunca é demais enfatizar que se mede diretamente o quanto de cada comprimento de onda (ou frequência) da radiação eletromagnética incidente é absorvido (ou transmitido).

A forma de pensar o processo de absorção da radiação eletromagnética pela matéria é uma característica essencial da espectroscopia no infravermelho. Na figura 06, ondas eletromagnéticas de três frequências distintas atingem arranjo atômico de dois átomos. Apenas a onda eletromagnética cuja frequência esta representada pela cor marrom é absorvida pelo arranjo atômico, que passa a vibrar com maior amplitude.

Figura 6 - Representação da interação entre ondas eletromagnéticas e matéria

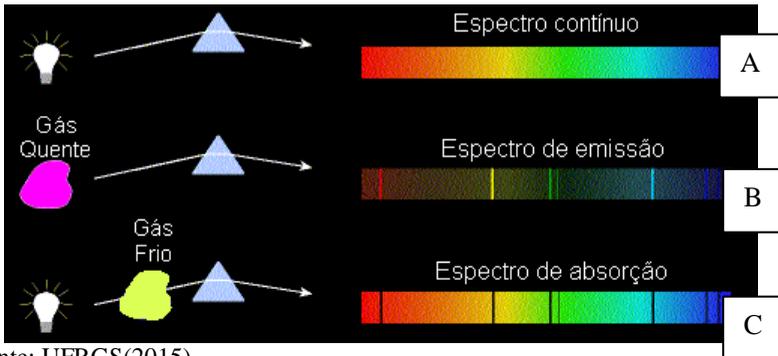


Fonte: Autor(2015).

3.1.2 Medição de Infravermelhos

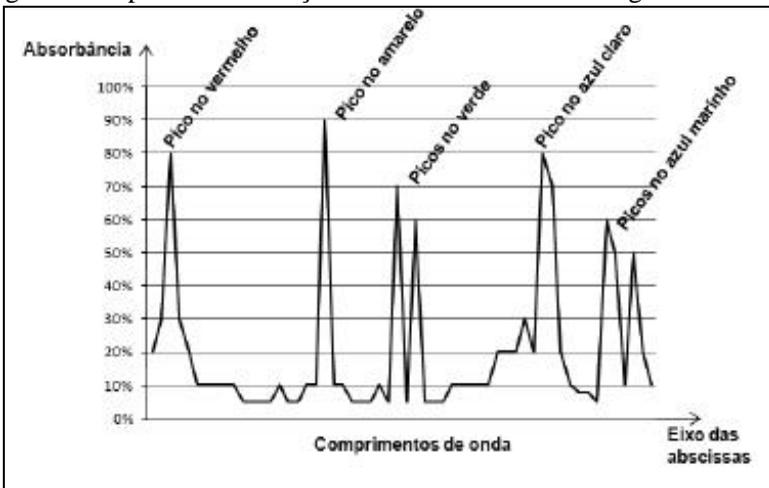
O experimento pioneiro realizado por Herschel que, revelou a existência do que hoje conhecemos como a banda do infravermelho do espectro eletromagnético. Apesar do pioneirismo, o próprio Herschel não deu muita importância à sua descoberta. Além disso, vale notar o uso do termômetro como primeiro detector de Infravermelho. Durante muito tempo essa radiação desconhecida foi denominada de “raios invisíveis”, “espectro termométrico”, “raios que provocam calor” e “calor escuro”. O termo infravermelho só apareceu por volta de 1880 e, lamentavelmente, parece não haver um autor ao qual possamos creditar o nome. Para alguns autores, a raiz latina (*infra* = abaixo, em baixo de) é um indicativo de que o termo tenha aparecido naturalmente na literatura da época sem uma autoria específica. Mas para outros autores, essa explicação não é satisfatória. A espectroscopia se desenvolve a partir da simples idéia de que podemos identificar um elemento a partir do seu espectro. Cada elemento da matéria possui identidade única, assim com as digitais de cada ser humano, assim sendo, cada matéria possui comportamento diferente quando expostas a radiações eletromagnéticas, como podemos observar na figura 07 e 08.

Figura 7 - A) Espectro contínuo, produzido por uma fonte que emite luz em todos os comprimentos de onda da faixa a ser analisada, no caso o visível; B) Espectro de emissão do elemento; C) Espectro de absorção do elemento.



Fonte: UFRGS(2015)

Figura 8 - Espectro de absorção do mesmo elemento da figura 7C



Fonte: UFRGS(2015)

3.1.3 Linha do tempo

O desenvolvimento de pesquisa na área térmica teve os principais eventos apontados a seguir.

- Até 1830 – Termômetros de mercúrio (Com auxílio de microscópio era possível perceber incremento de $0,1^{\circ}\text{C}$)
- 1829 – Nobili desenvolve o primeiro termopar (O efeito termoelétrico foi descoberto por Seebeck em 1821)
- 1833 – Termopilha de Meloni (São vários termopares ligados em série e apresentava-se 40 vezes mais sensível que os melhores termômetros da época)
- 1840 – John Herschel (filho do pioneiro) faz protótipo de “Evaporagraph” (Espécie de imageador baseado na evaporação diferencial de um filme de óleo).
- 1843 – Becquerel demonstra a fosforescência de certos materiais sob infravermelho bem como a sensibilidade de filmes fotográficos.
- 1883 – Abney detecta 1,3 mm com filmes fotográficos especiais.
- Década de 1880 surge o bolômetro de Langrey (30 vezes mais sensível que a termopilha de Melloni).
- 1917 – Case desenvolve o primeiro fotocondutor de sulfeto de tálio (primeiro detector quântico)
- Durante II Guerra Mundial os alemães desenvolveram vários fotocondutores e demonstraram o ganho de sensibilidade com o resfriamento.
- Durante a guerra fria houve grande desenvolvimento na área (novos materiais, novas técnicas, grande aperfeiçoamento eletrônico etc.)

3.1.4 Interação da radiação com a matéria

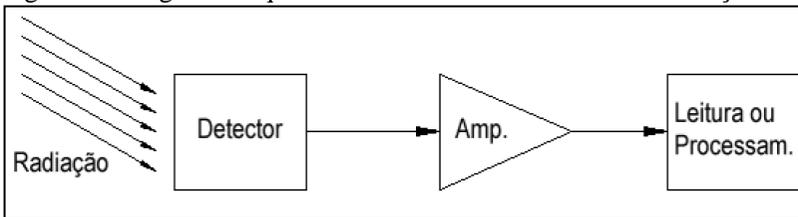
De modo geral, radiação é o único efeito observável em inúmeros eventos físicos que ocorrem em uma escala de tempo muito breve ou em uma escala de tamanho muito reduzido. É também o único aspecto observável e, portanto, fundamental, no estudo de eventos que ocorrem a distâncias muito grandes. Deste modo, os detectores de radiação têm um papel fundamental no progresso científico e tecnológico nos mais variados campos do conhecimento.

A radiação, no sentido mais amplo a que estamos nos referindo, pode assumir uma das seguintes formas: (a) partículas carregadas: elétrons, prótons e núcleos atômicos dentre outras partículas elementares; (b) partículas neutras: nêutrons, partículas elementares e

“grávitons”; (c) fótons (radiação eletromagnética): microondas, infravermelho, visível, ultravioleta, raios-X e raios gama.

De modo geral, a radiação absorvida interage com o detector produzindo alguma forma de sinal elétrico que é processado por um circuito eletrônico associado, conforme mostrado na Figura 09. A sensibilidade do sistema (detector + eletrônica), isto é, o menor nível de intensidade de radiação incidente que pode ser detectado depende, basicamente, de fatores intrínsecos ao detector e de fatores intrínsecos à eletrônica associada. Para maximizar a sensibilidade de um sistema, devemos considerar a formação do sinal no detector, o acoplamento do detector com a eletrônica e as flutuações introduzidas pela eletrônica durante o processamento do sinal. O acoplamento detector-eletrônico compreende uma variedade de aspectos bastante ampla e, por vezes, bastante complexa.

Figura 9 - Diagrama esquemático de um sistema sensor de radiação



Fonte: LAS-INPE: Pós-graduação, 2015.

3.1.5 A influência da radiação solar no conforto térmico do espaço urbano.

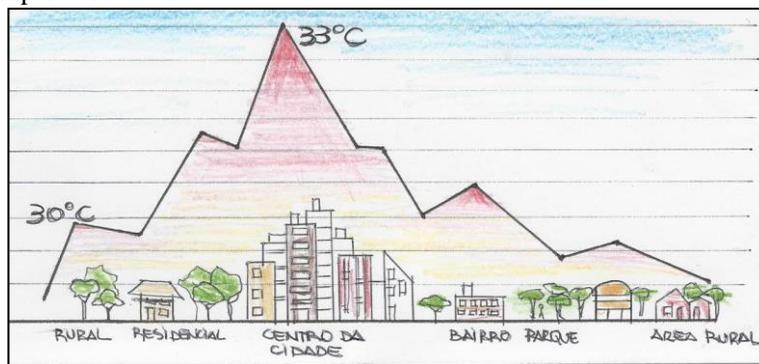
O clima ao redor das construções é determinado por vários fatores climáticos como a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e a velocidade dos ventos. Esses parâmetros influenciam diretamente na transferência de calor que ocorre entre a habitação e o meio ambiente através das paredes, telhados, portas e janelas. Internamente o ganho de calor reflete nos usuários, podendo causar um desconforto térmico no verão e levando ao um consumo maior de energia, devido ao uso constante de ar condicionado, conforme estudos de Simpson e Mc Pherson (apud Akbari, 2007).

As diferenças do microclima urbano têm sido cada vez mais perceptíveis em grandes cidades, como São Paulo, onde existem os

chamados “cânions urbanos”, onde a sombra de edifícios, construídos próximos uns dos outros, cria zonas frias no meio das ilhas de calor, e existem regiões muito quentes devido a concentração cada vez maior de construções e a diminuição de áreas verdes. Segundo estudos do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (USP), em São Paulo as temperaturas entre microclimas podem variar até 10°C. Para Soares (apud Volpe-Filik, 2007), essa diferença de temperatura ocorre em pontos da cidade que não ultrapassam 10 quilômetros de distância.

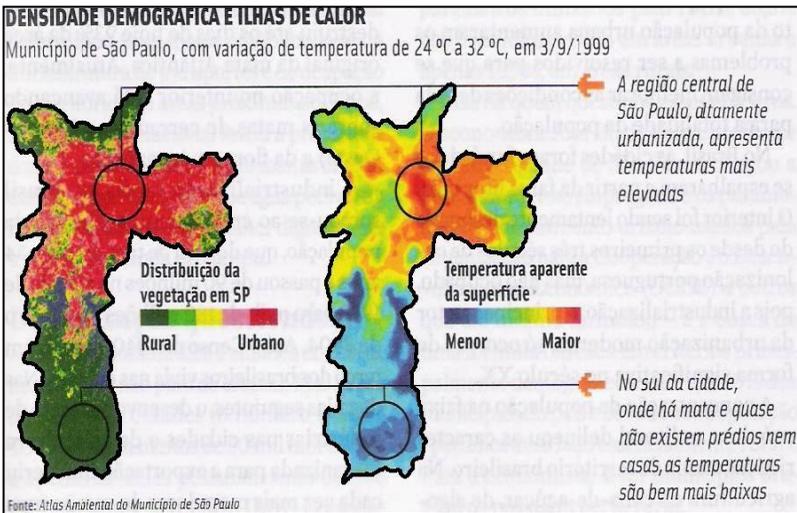
Na Figura 10 é apresentado esquema do perfil da curva de temperatura de uma cidade onde ocorre o fenômeno na escala do mesoclima, observa-se uma elevação da temperatura no centro da cidade em relação ao entorno não urbanizado. Na Figura 11 é apresentado um mapa da cidade de São Paulo com medição de temperaturas máximas feitas por imagens térmicas de satélite no evento do solstício de verão.

Figura 10 - Alterações no espaço natural pelo urbano pode afetar a temperatura do ar.



Fonte: Autor(2015).

Figura 11 - Mapa da cidade de São Paulo mostra regiões onde ocorrem as ilhas de calor.



Fonte: Atlas Ambiental do Município de São Paulo (2011)

3.1.6 Estudos para melhora do conforto térmico no espaço urbano

Nos Estados Unidos da América, uma das alternativas para aumentar o conforto térmico e a redução do consumo de energia devido ao uso de ar condicionado é a utilização de elementos construtivos como telhas e tintas com boas propriedades de refletância em coberturas. Para se utilizar este tipo de material nas coberturas brasileiras há necessidade de aumentar o conhecimento sobre estes produtos, antes da sua aplicação e/ou utilização final. Segundo Ferreira (2003), o conceito de “comunidades frias” foi implementado nos EUA, através da inclusão de uma normalização para códigos de edificações, onde os materiais utilizados nas coberturas e nas paredes das construções, não atinjam temperaturas elevadas quando expostas à radiação solar. O propósito destas normas é promover a utilização de materiais com refletância elevada, e que se mantenham “frios” quando expostos à radiação solar.

Esta preocupação mundial com o aquecimento global é mostrada na implementação de medidas para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor. Segundo Rosenfeld (1995), parte do manifesto “Plano de ação para alterações climáticas” do ex-presidente dos EUA, Bill Clinton, apresenta como plano de ação o controle da emissão de gases, para a

diminuição do aquecimento global e suas consequências, além da redução de custos no setor energético.

3.2. REFLETÂNCIA

A intensidade da radiação solar emitida pelo sol varia de acordo com o intervalo de comprimento de onda onde ela está situada. A refletância é uma propriedade física fundamental para se entender o comportamento térmico dos materiais.

Conforme definido na NBR15220-1 de desempenho térmico de edificações, refletância é o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície, pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Em outubro de 2011, em São Paulo, foi apresentado projeto de lei (615/2009) para se tornar obrigatória a pintura dos telhados de branco, para se aumentar a taxa de reflexão solar. Conforme se observa na Figura 12, o uso de tinta branca nos telhados, visa diminuir os picos de calor latente das edificações nos períodos de calor na cidade. Para defender a idéia a câmara de vereadores trouxe o pesquisador HashemAkbari da Universidade de Berkeley – California-EUA.

Figura 12 - O uso de telhados brancos para aumentar a reflexão solar.

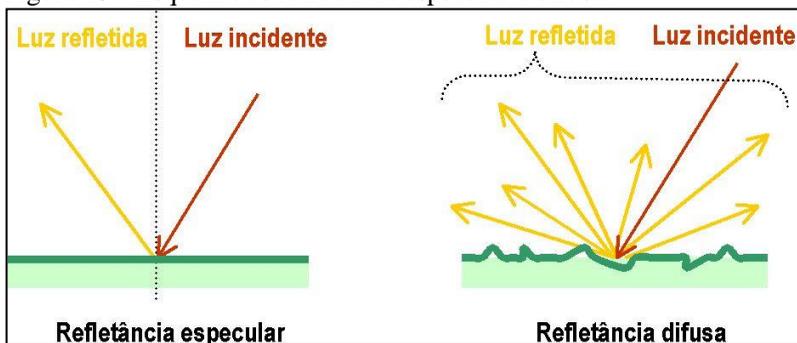


Fonte: <http://192clima.webnode.com.br> (2011)

3.2.1 Comportamento refletivo dos materiais

O comportamento refletivo de um material depende da refletância especular e da refletância difusa. A refletância especular ocorre quando a superfície da amostra consegue refletir toda a luz incidente num mesmo ângulo como se fosse um "espelho". Já a refletância difusa ocorre quando a superfície da amostra reflete a luz incidente em diversos ângulos dispersos devido à irregularidade da superfície, estes fenômenos são ilustrados na Figura 13.

Figura 13 - Esquema de refletância especular e difusa.



Fonte: USP, 2012.

Na Tabela 01 são apresentados valores típicos de refletância, segundo Rossi (2014), quanto mais clara é a superfície do material, maior é o seu valor de refletância. Na composição da tabela foram consideradas médias de valores medidos ao longo de um dia. Observa-se que revestimentos brancos refletivos refletem 85% da radiação solar e absorvem aproximadamente 15%. Esta propriedade física aliada a outras, pode ajudar a não aumentar a temperatura do material e contribuir para uma melhora do conforto térmico.

Tabela 1 - Valores típicos de refletância.

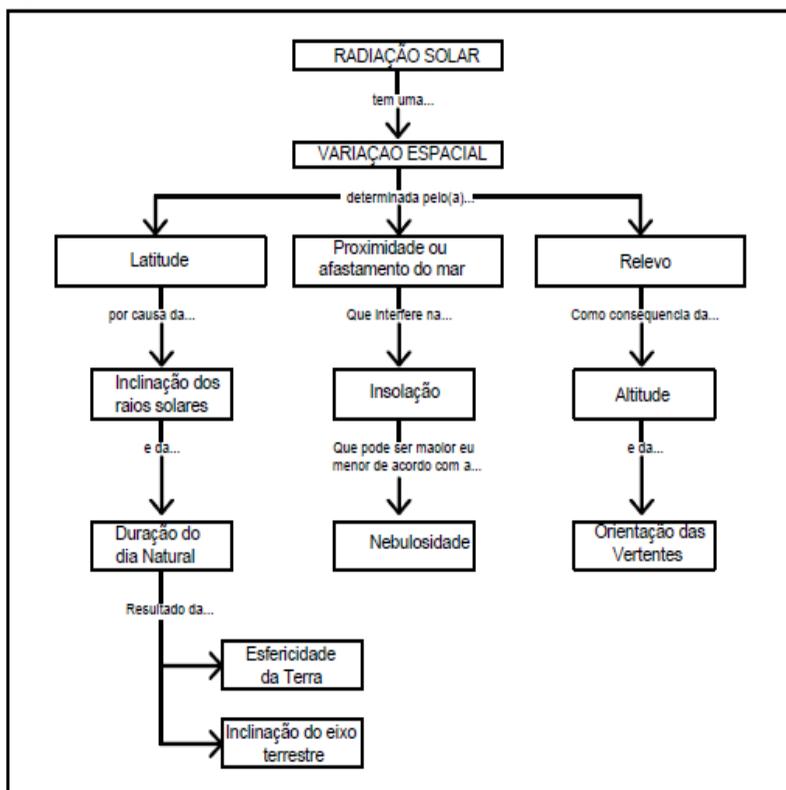
Material Refletância (%)	Material Refletância (%)
Revestimento refletivo branco	85
Tinta Branca	60
Areia do deserto	40
Concreto	22
Betume (asfalto)	9
Água (largos ângulos de incidência)	7

Fonte: Usp, 2012. Adaptada

3.2.2 Fatores que interferem na refletância dos materiais

A variação dos valores de refletância ocorre devido a uma infinidade de fatores, como a superfície dos materiais (rugosidade), clima do ambiente, latitude e relevo onde o material está sendo exposto (como radiação solar, temperatura e presença de nuvens) etc., conforme estabelece Simpson e Mc Pherson (apud Akbari, 2005), e como nos mostra esquematicamente a Figura 14.

Figura 14 - Fatores que influenciam a refletividade dos raios solares.



Fonte: Autor(2015)

3.2.2.1 Rugosidade

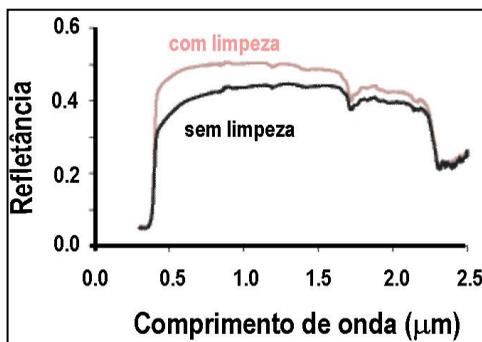
Segundo Dorneles e Roriz (2007), cada material absorve energia radiante em determinada frequência de ressonância. As frequências mais altas do espectro solar, nas regiões do ultravioleta e do visível, são absorvidas em função da densidade das ligações atômicas da substância, enquanto as mais baixas, no infravermelho, uma escala molecular. Segundo Akbari (1997) substratos rugosos podem apresentar uma refletância superficial menor quando comparado a um substrato liso devido a efeitos geométricos e às partículas suspensas de ar que se acumulam nas irregularidades das superfícies. A rugosidade de uma superfície é definida por suas micro-irregularidades geométricas. Os materiais de construção civil, geralmente apresentam certa irregularidade nas suas superfícies, onde há picos e vales de diferentes alturas e a diferentes distâncias, nos diz Dornelles e Roriz (2007).

3.2.2.2 Refletância e exposição às variáveis ambientais

Segundo Akbari, Bretz e Rosenfeld (1998), não se deve considerar somente o valor inicial da refletância, também deve ser considerada a monitorização temporal do seu desempenho, durante a sua vida útil sob a exposição à radiação solar. Superfícies com cores escuras (baixa refletância na região do visível) tendem a aumentar a refletância com o passar do tempo devido à concentração de sujeiras e de poluição, além da oxidação dos materiais. Em contraste, coberturas com alto valor de refletância, geralmente de cores brancas, tendem a diminuir o valor da refletância.

A refletância de uma cobertura pode ser alterada com o passar do tempo, devido à sua exposição às intempéries, por isso devem ser realizadas limpezas periódicas para amenizar este problema. Estudos realizados por Levinson, Akbari e Berdahl (2010) de exposição ao ambiente natural com 10 tipos de telhados na Califórnia-EUA, mostraram que a refletância destes “materiais frios” pode diminuir cerca de 15 % no primeiro ano de exposição. Na Figura 15, observam-se os valores de refletância com e sem manutenção periódica. Um fator importante para a avaliação da durabilidade deste tipo de material é a resistência à sujidade e a pegajosidade da película de tinta.

Figura15 - Benefícios da manutenção de superfícies melhoram a refletância.



Fonte: USP, 2012.

Para Synnefa, Santamouris e Livada (2006), o envelhecimento da superfície é causado pela contaminação por poluentes atmosféricos, agentes biológicos, e outras alterações resultado da ação da radiação Ultra Violeta. Para um estudo da durabilidade de uma pintura, deve-se observar que as amostras são afetadas pelo clima onde a amostra está. Synnefa, Santamouris e Apostolakis (2007) realizaram um estudo com tintas coloridas refletivas na Grécia, onde foram avaliados comparativamente o desempenho térmico de tintas coloridas refletivas e convencionais durante o período de 3 meses, com constante monitoração de temperatura.

Os resultados mostraram que é possível a utilização de tintas coloridas com propriedades refletivas e significativa eficiência térmica, mas que uma manutenção periódica é necessária para que estas propriedades refletivas sejam mantidas. Portanto, uma tinta refletiva deve apresentar elevada durabilidade, e não permitir a deposição de partículas do meio (fator sujidade) que poderia comprometer as suas propriedades refletivas.

Para Small (2006), para que não seja necessária uma manutenção frequente estão sendo estudadas adições especiais na formulação das tintas, dificultando a deposição de partículas sobre as películas ou que favoreçam a remoção da camada superficial sem prejudicar o aspecto estético e melhorar as propriedades reflexivas das superfícies.

3.2.3 Correlação da refletância com o desempenho térmico

Para o estudo das propriedades térmicas de um material, a refletância à região do infravermelho está diretamente relacionada ao

desempenho térmico dos materiais, já que é esta região do espectro solar que contribui para o aumento da temperatura dos materiais. Segundo estudos de Bretz, Akbari e Rosenfeld (1997) existem várias modificações que podem ser realizadas nas edificações para a melhoria do seu desempenho térmico.

Telhados e paredes podem ser repintados com cores claras, os materiais de cobertura dos telhados podem ser substituídos por telhas de metal, de concreto ou de cerâmica na cor branca, com estas simples mudanças de materiais nas construções há o aumento da refletância. Por exemplo, uma superfície cinza ou preta, possui refletância próxima de 10%, já uma superfície branca apresenta a refletância em torno de 50-70%. A vegetação ao redor da edificação apresenta uma refletância de 25-30%. O aumento da refletância em coberturas pode auxiliar a diminuição do aquecimento do ar e a diminuir o efeito do calor nos usuários.

A modificação do ganho de calor pela absorção da radiação solar é viável segundo estudos de Synnefa, Santamouris e Apostolakis (2007), que concluíram que o aumento de refletância da superfície dos materiais, a irrigação da superfície expostas ao calor e o aumento da vegetação em áreas totalmente edificadas, podem ser meios efetivos para a mitigação ou reversão da corrente de calor gerada pelo microclima nas cidades. Coberturas de edificações com alta refletância à radiação solar tendem a se manterem “frias” quando expostas à radiação solar. Este tipo de cobertura transfere menos calor para o interior da edificação do que uma cobertura tradicional; como resultado observa-se uma melhoria do conforto térmico no interior da edificação. Estudos de Akbari e Matheus (2012) nos mostram que, devido à diminuição da dilatação térmica, há o aumento da vida útil das telhas da cobertura e consequentemente, a redução do resíduo deste material.

Pesquisas realizadas por Oliveira, Andrade e Vaz (2011) em Lisboa-Portugal, mostraram que os materiais de construção civil apresentam diferentes valores de refletância, que podem ser potencializados com aumento das áreas verdes e com a modificação das cores dos materiais de construção das edificações.

Estudos de Akbari, Bretz e Rosenfel (1997), mostram que as áreas residenciais apresentam 28% de coberturas para telhados, 16% de ruas, 14% de outras superfícies como parques, rodovias e calçadas. Baseado nestes valores pode-se estimar o potencial de modificação da refletância urbana em 18% para a cidade de Sacramento-EUA, como informa a Tabela 02.

Tabela 2 - Composição da superfície estimada de Sacramento – Califórnia

Tipo de superfície	Área (% da cidade)	Refletância teórica(%)	Refletância medida($\Delta\%$)	Potencial de modificação da refletância($\Delta\%$)
Coberturas de cores escuras	20	5-10	50	10
Cobertura de cores claras	8	50-80	0	0
Ruas	16	5-40	30	5
Parques, rodovias, calçadas	10	5-15	30	3
Cores escuras	4	35-40	0	0
Cores claras				
Total	58	-	-	18

Fonte: Energy and Buildings (1997). Adaptada.

3.3 EMITÂNCIA/EMISSIONIDADE

A emissividade de uma superfície representa a razão entre a radiação emitida pela superfície em uma determinada temperatura e a radiação emitida por um corpo negro na mesma temperatura. A emissividade da superfície é denotada por E , e varia entre $0 \leq \epsilon \leq 1$. A emissividade é a medida de quanto a superfície se aproxima de um corpo negro, para o que $\epsilon=1$ (ÇENGEL, 2012, p700). Na Tabela 03 se apresenta uma relação de materiais e os respectivos índices de refletâncias de radiação solar e a emitância de radiação infravermelho.

Tabela 3 - Índice das emissividades dos materiais em estudo

MATERIAL	TEMPERATURA (°c)	EMISSIONIDADE (ϵ)
Concreto	0-1093	0,94
Asfalto	38	0,93
Granito	21	0,45
Mica	38	0,75
Talco	-	-

Fonte: www.omega.com

3.4 COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

Os materiais utilizados no envelope de edifícios e nas pavimentações urbanas desempenham um papel muito importante nas áreas urbanas no equilíbrio térmico. Eles absorvem a radiação solar no infravermelho e dissipam parte do calor acumulado através de convecção e processos radiativos para a atmosfera aumentando temperatura ambiente. Assim, as características técnicas dos materiais utilizados, determinam o grau elevado de consumo de energia, para melhorar as condições de conforto para os indivíduos nos edifícios, bem como de espaços abertos.

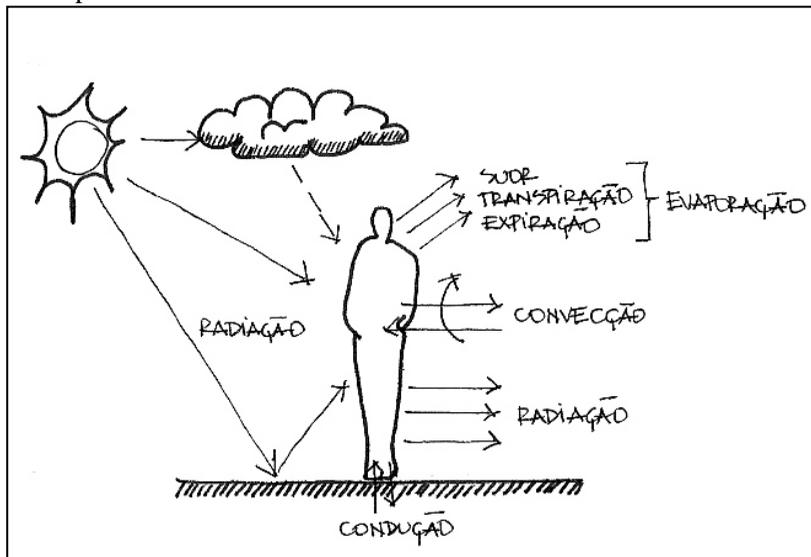
Muitos estudos têm sido realizados para compreender melhor as características dos materiais do ponto de vista de suas propriedades óticas e térmicas, bem como o seu impacto sobre o clima das cidades, como nos informa estudo feito por Sinnefa, Santamouris e Apostolakis (2007).

Diferenças significativas de temperatura em diversos ambientes foram relatados devido à diversidade de materiais utilizados. O albedo, que é a propriedade de reflexão dos materiais, das cidades está seriamente diminuído em comparação com as zonas rurais circundantes, principalmente por causa da irregular estrutura dos edifícios e dos pavimentos.

3.5 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Quando existe uma diferença de temperatura entre duas regiões do espaço, esta tende a desaparecer devido à passagem de calor de uma região para outra. Este conjunto de fenômenos caracterizados pela passagem de calor é chamado de transferência de calor. O calor é a energia transferida entre dois sistemas que se encontrem em temperaturas distintas até atingirem o equilíbrio térmico. A energia que um corpo recebe na forma de calor pode ser transformada em energia interna, o que acarreta em um aumento de temperatura. A transferência de calor ocorre por três processos: condução, convecção e radiação, como podem ser observadas na Figura 16. Na condução, a energia térmica é transferida pelas interações dos átomos ou de moléculas vizinhas, sem haver deslocamento dos mesmos, na convecção, o calor é transferido pelo transporte direto de massa, e na radiação, a energia é transferida através do espaço, por meio de ondas eletromagnéticas.

Figura. 16 - Esquema simplificada do sistema de transferência de calor do corpo humano.

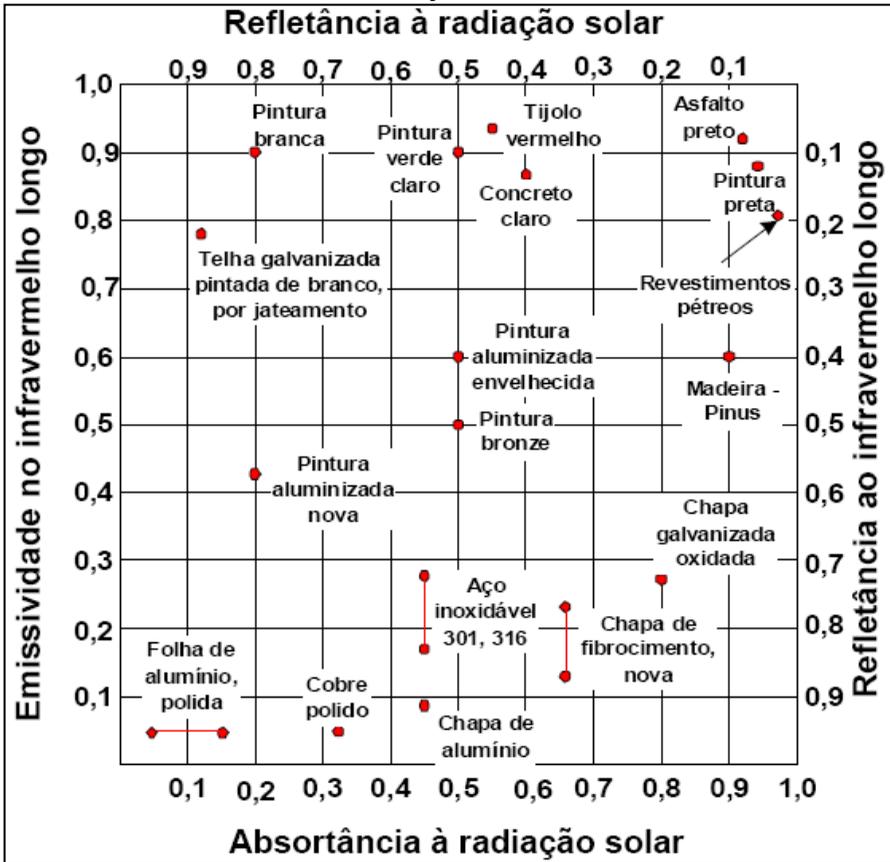


Fonte: Autor(2015).

3.6 REVESTIMENTOS REFLEXIVOS

As tintas, como a maioria dos materiais de construção civil, são de natureza não metálica e, portanto absorvem grande parte da energia térmica de onda longa incidente e a irradiam novamente para o ambiente. As tintas podem ser classificadas como “materiais seletivos frios” se apresentarem alta emissividade e alta reflexão à radiação solar, conforme nos afirma Castro (2005). Na Figura 17 são apresentadas as propriedades radiantes de alguns materiais de construção opacos.

Figura 17 - Propriedades radiantes no espectro da radiação solar e do infravermelho de materiais de construção



Fonte: USP (2007).

As tintas refletivas têm a finalidade de manter as construções “frias” reduzindo a necessidade do uso do ar-condicionado. Estes revestimentos devem apresentar baixa capacidade de absorção da radiação solar, com redução de temperatura na superfície da telha, e diminuição do calor a ser transferido para o interior da construção.

3.7 TÉCNICAS E MÉTODOS

3.7.1 Definição e Avaliação dos materiais

Materiais altamente reflexivos, ou "materiais frios" são eficazes, quando utilizados como técnicas passivas de conforto ambiental, e contribuem para melhorar a eficiência energética nos edifícios, diminuindo demanda de energia para refrigeração e melhorar o microclima urbano, baixando as temperaturas do ar e da superfície. Materiais "frios" são caracterizados por: (a) Reflexão solar alta (RS). Refletância solar é uma medida da capacidade da superfície de um material em refletir a radiação solar e designa a refletância total de uma superfície, considerando-se a refletância hemisférica de radiação, integradas ao longo do espectro solar ou especular e reflexão difusa. Mede-se em uma escala de 0 a 1 (ou 0-100%). (b) Alta emissividade de infravermelho. (e) Emitância no infravermelho é uma unidade para medir a capacidade de uma superfície de liberar o calor absorvido. É a propriedade que os materiais tem de irradiar energia a partir de si, em comparação com um corpo negro a uma mesma temperatura. A emitância no infravermelho é medida em uma escala de 0 a 1.

3.7.2 Índice de reflexão solar

Os materiais frios são definidos como materiais com alta refletância solar e alta emitância no infravermelho . Outra forma de avaliar quão "frio" é um material, é calcular o seu índice de refletância solar (IRS) . Este é um índice que incorpora tanto reflexão solar como emitância no infravermelho em um único valor. De acordo com a norma (ASTM E1980 - 01) a prática padrão para o cálculo de índice de refletância solar de superfícies opacas na Horizontal, o IRS quantifica o calor que uma superfície plana receberia em relação a uma superfície na cor preta padrão (reflectividade 5 % , a emitância 90 %) e uma superfície padrão branca (reflectividade de 80% , a emitância 90 %) .

O cálculo deste índice é baseado em um conjunto de equações (ASTM E1980-01) que requer valores medidos de refletância e emitância infravermelha da radiação solar para condições ambientais específicas. O IRS tem um valor de zero (para o padrão superfície negra) e de 100 (para o padrão branco superfície) e é calculado como se segue, conforme Equação 01.

$$IRS = ((T_{preto} - T_{superfície}) / (T_{preto} - T_{branco})) \times 100 \quad (1)$$

Onde T_{preto} , T_{branco} e $T_{superfície}$ são as temperaturas de estado estacionário da superfície preta, branca e material de padrão respectivamente . A partir da definição do IRS , espera-se que muito materiais quentes podem realmente ter valores negativos e muito materiais classificados como frios podem ter valores maiores que 100.

3.7.3 Procedimentos de medição

De acordo com a aplicação, vários métodos e instrumentação existem para medir a reflectância da superfície.

(a) **espectrofotômetro**. Este método pode medir o espectro total de reflectância hemisférica , pois a esfera de integração recolhe tanto radiação especular como a difusa, para uma pequena área (cerca de 0,1 cm²) de um plano uniforme da amostra. Bons procedimentos práticos para a medição espectrofotométrica das propriedades ópticas de materiais são definidas pela norma ASTM E903 - 96 .

A reflexão solar pode ser calculada por média ponderada , usando um espectro solar padrão como a ponderação da função. Os dados padrão de irradiância , utilizados para nesse cálculo são apresentados na ISO 9845-1:1992 ou Norma ASTM G159 - 98 (substituído por ASTM G173 - 03) . Levinson et al . (2010) propôs um céu claro - Massa de ar Global Horizontal de irradiância espectral (AM1GH) avaliadas sob as condições atmosféricas específicas na norma ASTM G173 que quando usado para calcular reflexão solar melhor informa o ganho de calor solar e de economia de energia.

(b) **reflectômetro solar portátil** . Este instrumento pode medir a reflectância de uma superfície plana e uniforme de alguns cm² . As medições podem ser realizadas de acordo com ASTM C1549. Na Europa, os métodos de reflectômetro portáteis o uso para medir reflexão solar não é difundida para além da sua utilização na medição da cor . c) **Piranômetro** . Para medições no local (superfícies grandes) de reflexão solar um piranômetro pode ser usado . O procedimento é descrito na norma ASTM E1918 - 1997.

Para amostras planas, mas não uniformes, os métodos estatísticos são necessários como o CRRC -1 MÉTODO DE ENSAIO N ° 1 proposta pelo telhado "frio" "Rating Council" EUA , que utiliza um reflectômetro solar portátil e exige várias medições em diferentes locais

em uma única amostra. A reflectância solar média da superfície de teste é determinada pela média das reemissões solares de manchas localizadas aleatoriamente. Além disso, para superfícies rugosas e / ou não-uniformes, o E1918 - 1997 ASTM usando um piranômetro pode também ser utilizado em uma superfície de 10 m² quadrado ou redondo. Akbari et al. (2008) propuseram um método (variante de ASTM E1918) para estimar a reflexão solar de baixo e conjuntos de telha perfilados maiores de cerca de 1 m², usando um piranômetro e um par de máscaras preto e branco.

Eles vêm principalmente em vidro e vidros industriais, cortinas e persianas (por exemplo, EN 12898). Para estas medidas um Espectrômetro de Infravermelho com transformada de Fourier é necessário. No entanto, deve ser mencionado que um monte de incertezas estão envolvidas na medição de emissividade, com vários fatores como a temperatura da amostra, a geometria da superfície, podem afetar a medida.

3.7.4 Aplicação da energia solar.

Em aplicações de energia solar, a distribuição espectral da radiação solar incidente é muito diferente da distribuição espectral das radiações emitidas pelas superfícies, já que a primeira está concentrada na região de ondas curtas e a segunda na região de infravermelho.

Portanto as propriedades de radiação das superfícies são muito diferentes para radiações incidentes e emitidas e assim não é correto considerar simplesmente superfícies cinza. Em vez disso, considera-se que as superfícies tem dois conjuntos de propriedades: um para radiação solar e outro para radiação no infravermelho na temperatura ambiente.

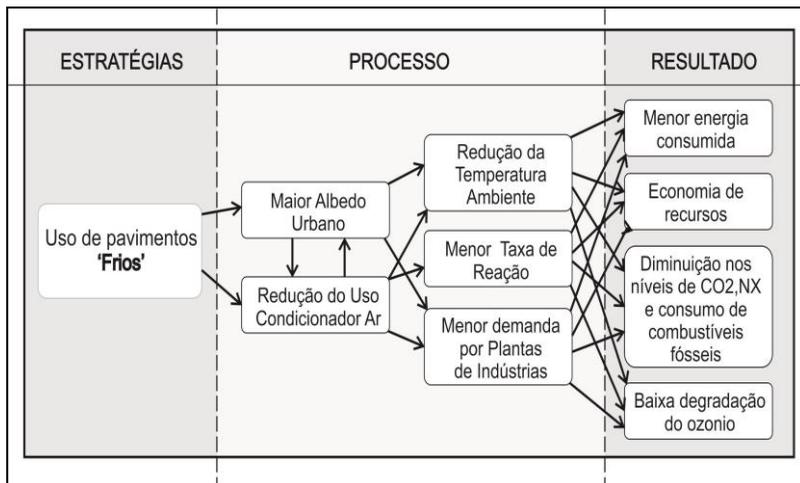
Como exemplo, para o concreto se tem absorvidade solar $\alpha_s = 0,6$ e emissividade $\varepsilon = 0,88$. As superfícies destinadas a coletar energia solar como as superfícies de absorção dos coletores solares devem ter alta absorvidade solar α_s e baixa emissividade ε . Já as superfícies que se destinam a permanecer frias, como o caso de tanques de combustível, caminhões frigoríficos devem ter baixa absorvidade solar e alta emissividade. As superfícies podem apresentar as propriedades desejadas por meio de revestimentos com camada muito finas de matérias seletivos, como tintas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS

Após processo da revisão bibliográfica e fundamentação teórica, foram estabelecidas algumas diretrizes e estratégias conceituais para a continuidade do trabalho, conforme se observa esquema na figura 18. A intenção inicial desse trabalho foi contribuir para redução do gasto energético para diminuição do uso dos recursos naturais e por consequência a diminuição do uso dos combustíveis fósseis e do uso dos condicionadores de ar que ainda usam o Clorofluorcarbono (CFC). Para isso acontecer deveria se propor novo material com propriedades que diminuíssem a temperatura ambiente e por consequência também haveria uma menor necessidade em se produzir mais sistemas artificiais de condicionamento de ar para as edificações, e também diminuir o albedo urbano. E dentre os materiais utilizados na construção das cidades está o pavimento utilizados nas vias de pedestres e automóveis, material este que corresponde por um bom percentual utilizado na construção das cidades e que contribui para o aquecimento do espaço urbano.

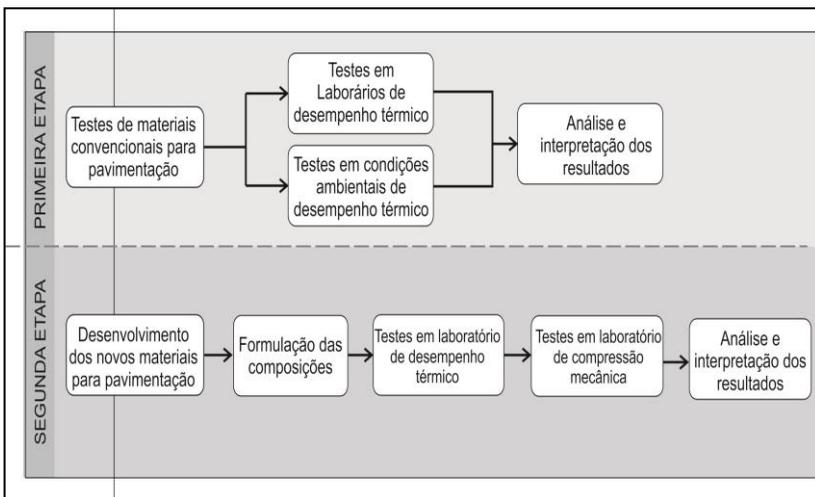
Figura 18 - Diagrama das diretrizes e conceitos para desenvolvimento dos novos materiais.



Fonte: Autor(2015)

Para alcançar os objetivos deste trabalho os experimentos foram divididos em duas etapas, conforme pode ser visualizado na figura 19, nas quais a primeira consiste em testar os materiais que são normalmente utilizados em pavimentações urbanas, e a segunda parte os novos materiais que foram desenvolvidos, para comparação.

Figura 19 - Diagrama esquemático das etapas do processo de desenvolvimento dos novos materiais.



Fonte: Autor

Os materiais definidos para se obter dados iniciais do desempenho térmico foram aqueles normalmente utilizados na pavimentação urbana: asfalto, paver, granito (paralelepípedo) e lajota. Também utilizou-se a pedra São Tomé, por ser um material utilizado na pavimentação externa, com bom desempenho térmico, geralmente empregado na pavimentação de bordas de piscina.

Depois de realizados os testes nos materiais convencionais, adotou-se o paver, como material industrializado a ser preparado, desenvolvido e melhorado. Para os novos materiais, foram formuladas as seguintes composições que podem ser observadas na tabela 04. A composição do paver foi determinada para atender às NBR 9780/87 – Peças de concreto para pavimentação: Ensaio de resistência à compressão.

Tabela 4 - Composições dos novos materiais.

Material %	Cimento %	Areia %	Brita %	Água %
A(Concreto+Talco) 10	16	41	25	8
B(concreto+Mica) 10	16	41	25	8

Fonte: Autor(2015)

Como composição para os novos materiais, foram adotados o talco e a mica. O talco, por suas propriedades térmicas, é muito utilizado na indústria cerâmica de isolantes, onde a presença de óxido de magnésio (MgO) controla a expansão térmica, aumentando a resistência ao choque térmico, conforme nos informa Pontes e Almeida (2005). E a Mica, do latim *micare*(brilho), que é um termo genérico aplicado ao grupo dos minerais constituídos por silicatos hidratados de alumínio, potássio, sódio, ferro, magnésio, com boas propriedades físicas como a baixa condutividade térmica e resistência a mudanças abruptas de temperaturas. A idéia de se utilizar a mica neste trabalho é decorrente da observação que a mesma é um dos constituintes da pedra São Tomé, material natural que possui excelente desempenho térmico, como nos informa Lobato (2009).

A idéia de se utilizar um agregado na composição do novo material e não utilização de tinta superficial, como em outros estudos já realizados, é o fato de a tinte requerer constante manutenção, já a incorporação do aditivo com pigmento claro diminui o fator manutenção aumenta a eficiência do novo material.

Foram confeccionados corpos de prova dos diferentes materiais, acima citados, nas dimensões de (200x100x80 mm). Trabalhou-se com os corpos de prova em triplicata, tendo-se o cuidado para que fossem homogêneos nas suas dimensões e composição. Em laboratório, estes corpos de prova foram submetidos à radiação de luz artificial, e posteriormente a céu aberto, onde foram expostos à radiação da luz solar medida ao ar livre. No experimento utilizando a luz artificial desenvolveu-se um dispositivo com 35 lâmpadas incandescentes com filamento de tungstênio de 100 W com bulbo transparente como pode ser visualizada na Figura 20. A forma de distribuição das lâmpadas permite que a incidência de luz sobre os corpos de prova fosse igual para todos os cinco materiais confeccionados em triplicata conforme pode ser visualizado na Figura 21. Como tempo de exposição à luz artificial, definiu-se o tempo de quinze minutos, com intervalos de medição de três minutos.

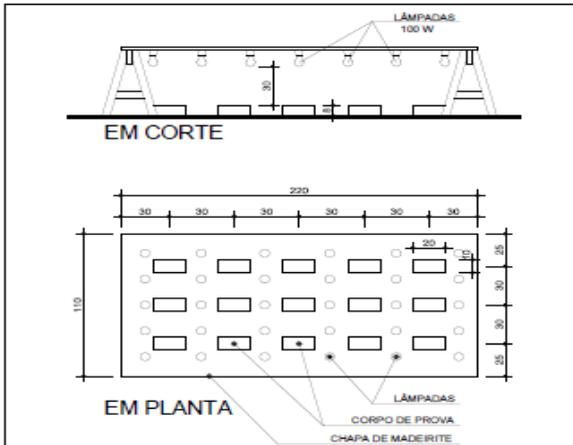
O tempo de quinze minutos foi adotado por ensaios anteriores que demonstraram que essa duração já afeta de forma satisfatória as amostras com a radiação de luz artificial. A data de medição foi 04 de março 2014.

Figura 20 - Dispositivo desenvolvido para medição da radiação artificial dos corpos de prova.



Fonte: Autor(2015)

Figura 21- Esquema do dispositivo desenvolvido para medição da radiação artificial.



Fonte: Autor(2015)

Para exposição de seis horas à luz natural, com intervalos de medição de duas horas, onde a montagem e distribuição dos corpos de prova foram feitos de forma aleatória e as condições climáticas para o dia foi de céu aberto, conforme mostra a Figura 22. E as medições foram feitas no dia 25 fevereiro de 2014. Não se mediu a intensidade luminosa do sol para o dia.

Figura 22- Arranjo aleatório das amostras para exposição à luz solar.



Fonte: Autor(2015)

Essa exposição causa na prática, gradientes de temperatura, que foram mensuradas em cada material. A velocidade de aquecimento dos materiais difere, pois os mesmos possuem diferentes índices de emissividade. Para a coleta das temperaturas utilizou-se uma câmera termográfica (FLIR), com software próprio para análise dos dados. Utilizou-se ainda na segunda etapa do experimento um data-logger com termopares, onde se coletou os dados das temperaturas, como se observa na Figura 23.

Figura 23- Preparação das amostras para medição.



Fonte: Autor(2015)

Foi medido o comportamento térmico de cada amostra durante a elevação da temperatura ocasionada pela exposição à radiação incidente nos corpos de prova, em diferentes intervalos de tempo acima citado. O principal parâmetro que foi avaliado é a emissividade no infravermelho, que foi medida utilizando uma das funções da câmera termográfica (FLIR). Esses valores de temperatura serviram também para se estabelecer diretrizes e informações para o desenvolvimento dos materiais com novas composições, para se obter desempenho térmico superior àqueles apresentados pelos materiais convencionais.

Para a caracterização dos materiais desenvolvidos A e B, foram realizadas análises de Difração de Raios-X: referência (concreto simples), pedra São Tomé, e para as novas composições A(concreto+talco) e B(concreto+mica) para determinar-se as fases mineralógicas presentes e os tipos de ligações químicas características. Os difratogramas de Raios-X foram realizados em um equipamento modelo Shimadzu XRD-6000, utilizando tubo de cobre com 30 mA de corrente e 30 kVolts de ddp, identificou-se as fases por comparação de um perfil desconhecido com o conjunto de difração padrão coletado e mantido pelo “Joint Committee on Powder Diffraction Standards” (JCPDS).

Realizou-se ainda, ensaios de compressão, mostrados nas figuras 24 e 25, cuja finalidade foi verificar se os materiais desenvolvidos apresentavam características mecânicas adequadas à utilização para pavimentação. Utilizou-se para essa finalidade uma máquina universal

de ensaios EMIC PC200 com célula Trd30 com velocidade 370 KPa/s, conforme estabelece a NBR 9781/87- Peças de concreto para pavimentação: Determinação da resistência à compressão.

Figura 24 e 25-Teste de resistência à compressão dos corpos de prova



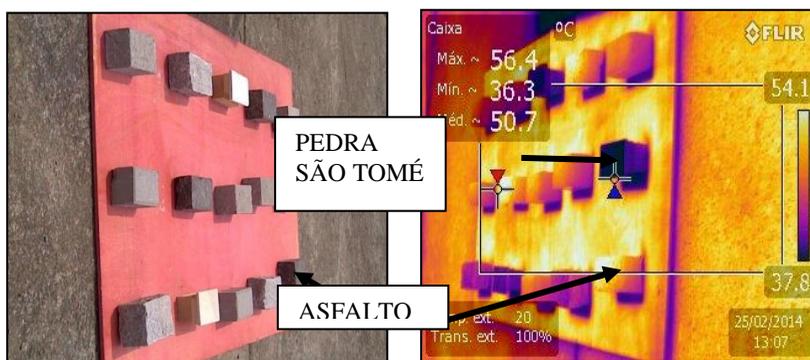
Fonte: Autor(2015)

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 DESEMPENHO TÉRMICO

Na Figura 26, se observa o desenvolvimento do teste para verificação do desempenho térmico das amostras após seis horas de exposição à radiação solar direta. No experimento, os materiais foram colocados de forma aleatória e dispostos de forma que cada peça recebesse radiação solar de forma igualitaria independente de sua disposição no dispositivo montado para medição. Suas superfícies foram regularizadas de forma padronizada para que todas as amostras ficassem com suas características originais de texturas, não havendo o polimento por exemplo. Na Figura 27 a imagem termográfica na qual se fez as devidas medidas que determinou as temperaturas de cada material em teste, onde as amostras de asfalto atingiram as maiores temperaturas e a pedra São tomé apresentou a menor temperatura, como se observa no gradiente de cores da imagem da câmera termográfica.

Figura 26 e 27- Dispositivo de exposição e medição das amostras sob ação da luz natural.



Fonte: Autor(2015)

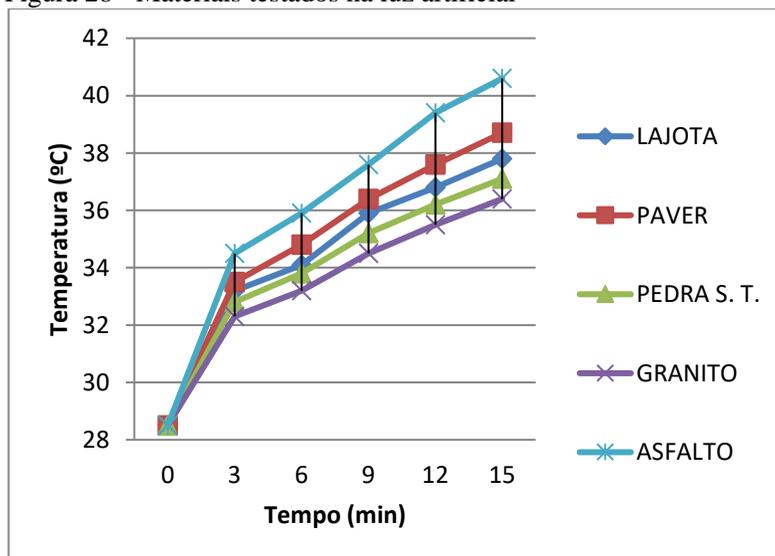
Nas Figuras 28 e 29 apresentam-se os resultados das temperaturas obtidas com a câmera termográfica quando da exposição dos corpos de prova na luz artificial e na luz solar, respectivamente. Como pode ser observado na figura 28, os materiais que obtiveram o melhor desempenho sob exposição à luz artificial no período de 15 minutos

foram o granito (paralelepípedo) e a pedra São tomé chegando a 36,4 °C e a 36,9°C respectivamente. O material com pior desempenho durante os testes com a luz artificial foi o asfalto chegando a 40,6 °C. Assim, a diferença apresentada entre o granito e o asfalto (menor e maior temperatura), obteve-se uma diferença de 4,2°C. Se consideramos essa diferença no espaço urbano, essa diferença de temperatura entre os materiais é muito significativa, no que se refere ao impacto ambiental nas escala do micro e mesoclima das cidades.

No gráfico da Figura 29 observa-se que o material com melhor desempenho na luz solar foi a pedra São Tomé chegando a 47,4°C, e novamente com o pior desempenho está o asfalto chegando a 59,8°C. Assim, a diferença apresentada entre os materiais na condição luz solar fica ainda mais evidente com 12,4°C.

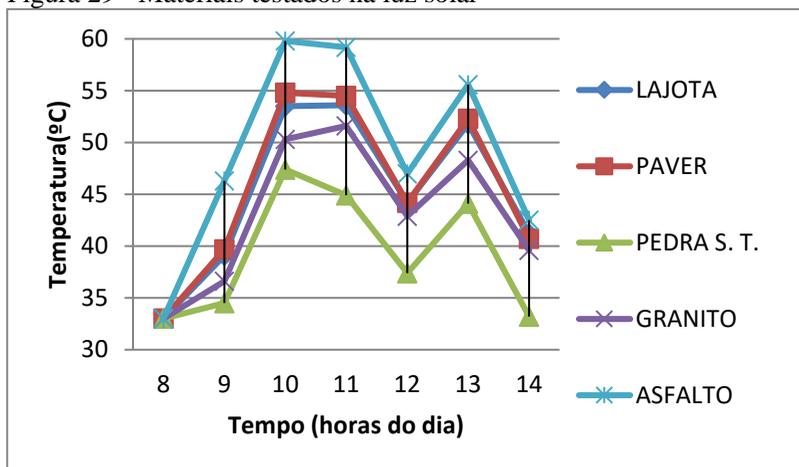
É importante ressaltar que, a queda de temperatura num intervalo de tempo entre 11 e 12h, foi devido ao encobrimento da luz solar por nuvens durante as medições no experimento. No experimento não se mediu o ponto de equilíbrio térmico e a existencia do ponto de saturação das amostras em estudo. No experimento apenas foram mediadas as temperaturas das amostras, sem a observância da temperatura ambiente e da intensidade luminosa das fontes de radiação luminosa, natural ou a artificial.

Figura 28 - Materiais testados na luz artificial



Fonte: Autor(2015)

Figura 29 - Materiais testados na luz solar

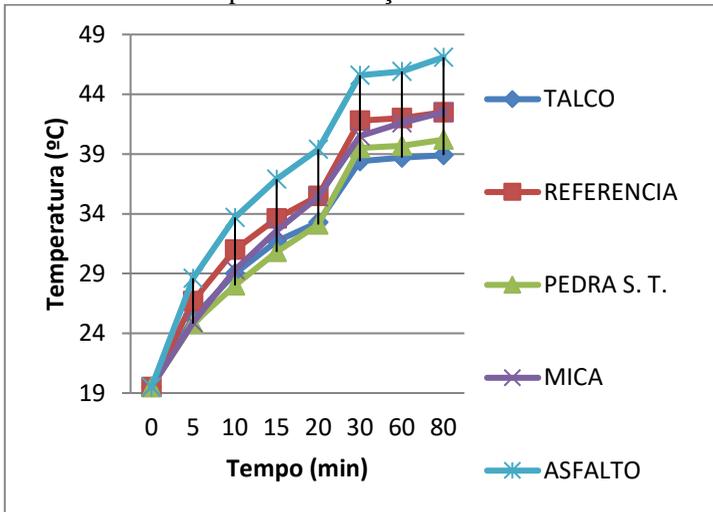


Fonte: Autor

Na segunda etapa do trabalho comparou-se o desempenho apresentado pelos materiais desenvolvidos com alguns materiais testados anteriormente. Nas Figuras 30 e 31 apresentam-se os resultados obtidos com a câmera termográfica para o aquecimento dos materiais utilizando luz artificial e luz solar respectivamente. Nessa etapa do experimento foi usado um data-logger onde a diferença dos resultados entre os métodos utilizados são apresentados na tabela 05, para luz artificial e luz solar respectivamente.

Na Figura 30 se observa as curvas típicas dos materiais sob aquecimento, percebe-se que a partir dos trinta minutos os materiais testados passam por um processo de estabilidade térmica, onde as temperaturas e as diferenças apresentadas se mantêm. Observa-se ainda que os materiais com melhor desempenho foram das composições concreto+ talco (material A) e a pedra São Tomé atingindo as temperaturas de 39°C e 40,5°C respectivamente. O material com pior desempenho foi o asfalto, que atingiu a temperatura de 47,1°C. Assim, a diferença apresentada entre os materiais com melhor e pior desempenho na luz artificial foi de 8,1°C. As datas de medições das amostras sob luz natural e artificial foram os dias 22 e 22 de maio de 2014 respectivamente, onde também não se mediu a temperatura ambiente nem a intensidade luminosa das fontes natural e artificial.

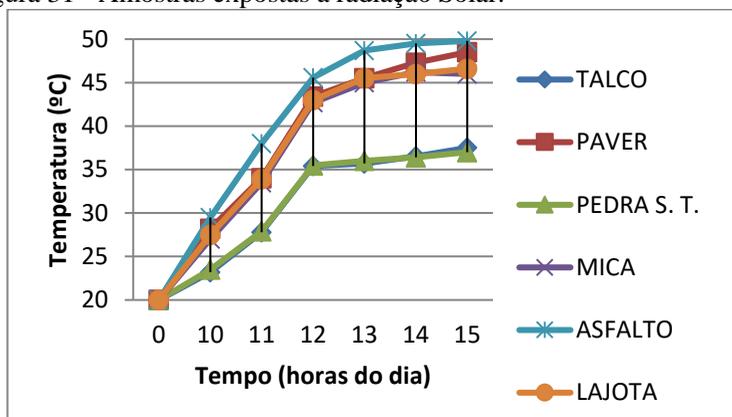
Figura 30 - Amostras expostas a radiação artificial.



Fonte: Autor(2015)

Na Figura 31 observa-se que os materiais que tiveram o melhor desempenho foram a pedra São Tomé e o Material A(concreto+talco), atingindo as temperaturas de 37° C e 37,5° C respectivamente, e novamente o material com pior desempenho foi o asfalto atingindo uma temperatura de 49,8° C. Assim a diferença entre o material com melhor e pior desempenho é de 12,8° C.

Figura 31 - Amostras expostas a radiação Solar.



Fonte: Autor(2015)

Deve-se, contudo observar que existe uma diferença na medida da temperatura, considerando-se os métodos utilizados de luz artificial e solar, respectivamente obteve-se para a Pedra São Tomé 39°C e 37 °C uma diferença de 22°C, para o Material A(concreto+Talco) obteve-se 40,5°C e 37,5 °C uma diferença de 3°C, e como pior resultado o Asfalto com 47,1°C e 49,8°C. Tais diferenças justificam-se pela diferença dos métodos utilizados, como, por exemplo o tempo de exposição das amostras às radiações solar e artificial.

Os métodos de medida apresentam muitas variáveis e diversos autores apontam dificuldade para a reprodutibilidade dos valores medidos, como estabelece Simpson e Mc Pherson (apud Akbari, 2005). Testou-se dois métodos disponíveis na instituição e verificou-se que em alguns casos essas diferenças entre as medidas podem chegar a 10°C. Essa diferença é significativa, pois se tomarmos o valor médio das duas temperaturas medidas essa diferença em termos de percentual estará próxima de 30%. Esse valor é bastante expressivo o que implica fazer um bom estudo estatístico, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Diferença de temperatura entre os métodos utilizados, dos materiais com melhor e pior desempenho.

Fonte	Câmara termográfica		Termopar		Diferença entre os métodos	
	Luz Artificial	Luz solar	Luz artificial	Luz solar	Luz artificial	Luz solar
Material A (concreto+talco)	39,0°C	37,5°C	29,0°C	36,0°C	10,0°C	1,5°C
PEDRA SÃO TOMÉ	40,5°C	37,0°C	34,0°C	39,2°C	6,5°C	2,2°C
ASFALTO	47,1°C	49,8°C	39,0°C	46,0°C	8,1°C	3,8°C

Fonte: Autor(2015)

5.2 EMISSIVIDADES

As emissividades dos corpos de prova foram mensuradas utilizando os recursos da câmara termográfica. Os resultados são apresentados na Tabela 6 de forma comparativa com dados da literatura.

Tabela 6 - Dados da emissividade, comparação entre os mensurados e a literatura.

MATERIAL	CORPOS DE PROVA	TABELADO
Fundo Negro	0,95	0,95
Asfalto	0,94	0,93
Concreto	0,90	0,94
Concreto+ Talco	0,49	-
Concreto+ Mica	0,79	-
Pedra São Tomé	0,62	-
Granito	0,71	0,45

Fonte: www.omega.com

Observando a tabela 6 pode ser constatado que os corpos com menor emissividade (talco, pedra São Tomé e granito) também apresentam o melhor desempenho térmico (menores temperaturas) conforme observado nas representações gráficas de temperatura, Figuras 28 a 31. Portanto considerando apenas o parâmetro emissividade, os

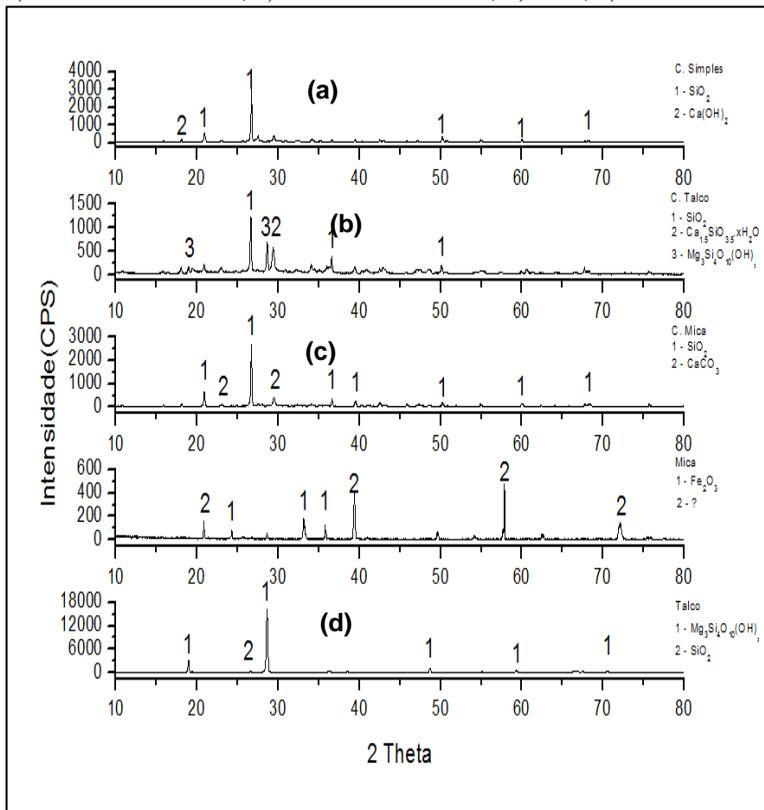
materiais acima citados possuem boas propriedades térmicas para serem utilizados como pavimento urbano. O uso de materiais de menor emissividade, contribuem para fabricação de novos materiais com propriedades térmicas para se alcançar um albedo maior para as cidades.

Para Çegel (2012) a emissividade é a medida de quanto a superfície se aproxima de um corpo negro, para o qual a emissividade é igual a um, se percebe que dos materiais listados na tabela o Material A(concreto+talco) é apontado por ter o melhor desempenho.

5.3 ANÁLISES DAS ESTRUTURAS CRISTALINAS

Na Figura 32 se observam os difratogramas dos materiais utilizados no desenvolvimento dos materiais frios. Se observa para o concreto **(a)** a presença de duas fases cristalinas, o quartzo (SiO_2) cartão JCPDS 46-1045 e o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) cartão JCPDS 04-0733. No concreto onde se aditivou talco**(b)**, constata-se a presença de três fases: o quartzo (SiO_2) cartão JCPDS 46-1045 o silicato de cálcio hidratado ($\text{Ca}_{1.5}\text{SiO}_{3.5}\text{xH}_2\text{O}$) cartão JCPDS 33-0306 e a fase hidróxido silicato de magnésio (talco) $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ cartão JCPDS 29-1493. No concreto aditivado com mica**(c)** constata-se a presença das fases quartzo (SiO_2) cartão JCPDS 46-1045 e da fase carbonato de cálcio CaCO_3 cartão JCPDS 5-0586. No talco**(d)** se constatou a presença das fases hidróxido silicato de magnésio (talco) $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ cartão JCPDS 29-1493 e o quartzo (SiO_2) cartão JCPDS 46-1045. Já a mica**(e)** apresentou duas fases, óxido de ferro (hematita) Fe_2O_3 cartão JCPDS 33-0664 e uma fase 2 ainda não identificado pelo banco de dados disponível no equipamento.

Figura 32 – Difratogramas de raios-X das amostras a) concreto; b)concreto com talco; c)concreto com mica; d)mica; e)talco.



Fonte: Autor(2015)

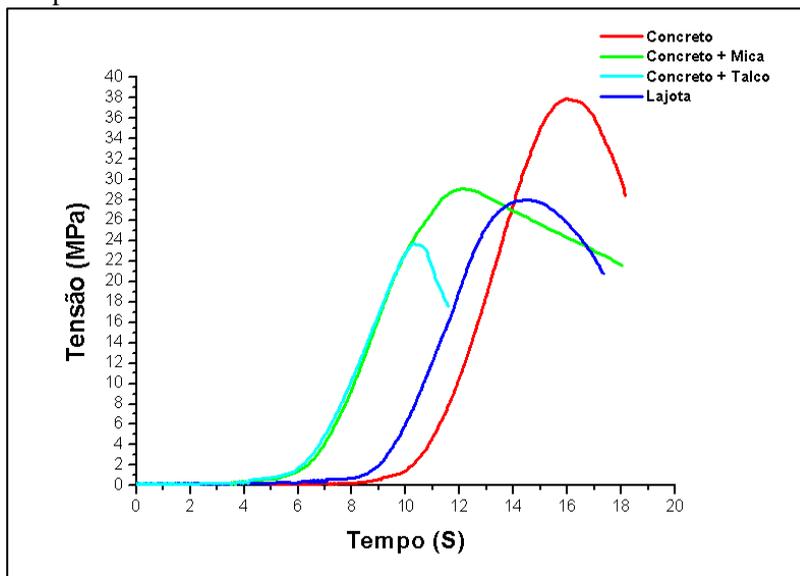
As fases presentes no concreto sem aditivo característicos desse material. As fases presentes no concreto **(e)** do com talco mostra a presença do mesmo o que resultou em uma modificação na cor, tornando-o mais esbranquiçado, alterando o índice de emissividade, de acordo com o observado na Tabela 06.

Essa característica induziu um comportamento térmico diferenciado, resultando em um melhor desempenho. Já com a mica, com a presença da hematita que possui cor avermelhada, não altera substancialmente o índice de emissividade e a presença da fase não identificada de cor escura corrobora para manter o índice de emissividade elevada.

5.4 ENSAIOS DOS ESFORÇOS DE COMPRESSÃO.

Os resultados do ensaio mecânico das amostras, conforme Figura 33, demonstram que a resistência mecânica foi: material A (concreto+talco) resistência média de 23,4Mpa (114,5kN) , e material B (concreto+mica) 28,7Mpa (140,8kN). Considerando a NBR 9781/87, que normatiza a resistencia mecânica para pavimentos de concreto, os valores medidos para resistência mecânica dos novos materias estão abaixo do recomendados pela norma, que estabelece resistência mínima de 35Mpa para solitações de veículos leves. E o melhor desempenho foi constatado na amostra de concreto (paver) com resistência mecânica de 37,5Mpa (183,6kN).

Figura 33: Grafico do ensaio de esforços mecânicos de resistência à compressão das amostras.



Fonte: Autor(2015)

5.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE ECONOMIA DE ENERGIA.

É importante salientar que o uso de materias reflexivos possuem bom desempenho nos períodos mais quentes do ano, e nos períodos próximos ao solstício de inverno, esse sistema pode refletir o calor desejado nos dias mais frios, e isso poderá incorrer no aumento do

consumo de energia para aquecer os ambientes. Porém existem estudos feitos por Synnefa (2007), que afirmam que a energia gasta para aquecimento dos ambientes é menor que a gasta para refrigeração dos mesmo, resultando num saldo positivo em economias líquidas para edifícios situados em regiões de clima quente e temperado. Isto é explicado pelo fato de que a trajetória solar no solstício de inverno possui um ângulo solar menor, e os raios solares atravessam uma camada maior da atmosfera, chegando a superfície da terra de forma menos intensa, conforme Frota(2004).

Dentre as diversas formas de se abordar uma possível diminuição no consumo energético pode ser considerado um piso que irradia calor para um ambiente. Considerando uma fonte irradiadora a temperatura tem uma grande importância, pois está elevada na quarta potência, segundo a lei de Stefan-Boltzmann, mostrada na equação 02.

$$Q_{\text{radiação}} = \sigma AT^4 \quad (2)$$

Onde : $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$ Constante de Stefan-Boltzmann

A= Área (m^2)

T = Temperatura absoluta (K)

Assim, na Tabela 07, se apresenta os resultados da transferência de calor por radiação para os diversos materiais testados. Aqui se apresentam as medidas realizadas utilizando câmera termográfica com os materiais expostos a radiação solar. São reportadas as maiores temperaturas mensuradas em determinado dia. O tempo de exposição foi de 6 horas até se chegar nessa temperatura máxima.

Tabela 7 - Temperatura mensurada em cada material e o potencial de irradiação de calor.

Material	Temperatura Mensurada (K)	Temperatura do Ambiente (K)	Quantidade de Energia W/m²	Percentual de Economia de energia comparada ao asfalto
Concreto	319	295	587,15	4,63
Concreto + Mica	318	295	579,82	5,82
Concreto + Talco	309	295	516,91	16,03
Asfalto	322,8	295	615,63	0,00
Pedra São Tomé	308,5	295	513,57	16,58

Ao se analisar a economia de energia considerando a energia irradiada por materiais que apresentam temperaturas diferentes comparativamente ao asfalto conclui-se que o uso de pedra São Tomé e do concreto aditivado com talco economizam 16,03 % de energia.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho tem sua importância e relevância, na medida que busca o desenvolvimento e aperfeiçoamento de novos materiais, tecnologias e sistemas de pavimentação urbano com desempenho térmico favorável às reduções de temperatura no espaço urbano de forma passiva.

Considerando os resultados satisfatório de desempenho dos novos materiais em estudo, o presente trabalho atinge seu objetivo no seu papel de inovar e avançar na área da Engenharia de Materiais. Conclui-se também que a aplicação de materiais com propriedades reflexivas nas pavimentações apresentaram bom desempenho térmico, e esse conceito, princípio ou uso também poderá ser incorporado nas outras áreas da construção das edificações, em elementos construtivos como nas vedações opacas, muros e telhados.

Partindo da premissa que materiais com pigmentação clara, aditivados aos materiais convencionais refletem uma maior faixa de frequências de luz, e que por consequência deixam de absorver-las, principalmente na faixa do infravermelho. O trabalho teve essa como diretriz principal e como ponto de partida para a linha de pesquisa adotada, no desenvolvimento do novo material de pavimentação urbana com boas propriedades térmicas.

E após estudos em laboratório, os novos materiais demonstraram ter desempenho melhor que os de uso convencional. Também o uso de matérias primas como o talco e a mica, justifica-se por serem minerais comercialmente viáveis, disponíveis em abundância no Brasil e por constituírem como excelentes agregados cimentícios na indústria da construção civil. Os novos materiais apresentaram desempenho abaixo do recomendado pela NBR 9781/87, porém poderá ser utilizado na pavimentação de calçadas de pedestres, por não exigirem grandes esforços de cargas.

Diante do apresentado acima conclui-se que, os novos materiais estudados A (concreto+talco) e B (concreto+mica), após etapas de conceituação, definição, confecção, testes e avaliação são considerados materiais que possuem possibilidades e características de serem produzidos em escala comercial, sendo necessários aperfeiçoamento. Os novos materiais desenvolvidos demonstraram que podem economizar energia e o valor é significativo, chegando a 16,03% quando comparados à material convencional como o asfalto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM G173 – 03 **Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface.**

ASTM E 903-12 **Método de Teste Padrão para Absorção Solar, refletância e transmitância de materiais Usando Integração esferas.**

ASTM E1918 - 06 **Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field**

ASTM E1980 – 11 **Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces**

ASTM C 1549-09 **Método de Teste Padrão para Determinação da refletância solar em temperatura ambiente usando um Reflectômetro solar portátil.**

NBR 15220 - 1 **Desempenho térmico das edificações - Parte I**

NBR 15220 - 2 **Desempenho térmico das edificações - Parte II**

ALCHAPAR, Noelia L. , CORREA, Erica N., CANTÓN, M. Alicia. **Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones.** Energy and Buildings 2014.

AKBARI, Hashem, MATHEWS, Damon. **Global cooling updates: Reflective roofs and pavements.** Energy and Buildings. . Energy and Buildings, 2012.

AKBARI, Hashem, MENON, S., ROSENFELD, A. **.Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO2.** Climatic Change., 2009.

AKBARI, Hashem, MENON, Surabi, and ROSENFELD , Arthur H. "Global cooling: effect of urban albedo on global temperature." 28th AIVC Conference, . Crete, 2007.

AKBARI, Hashem; KONOPACKI, Steven J. "**Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies.**" Energy Policy, 2005.

AKBARI, Hashem; BRETZ, Sarah E.; ROSENFELD, Arthur H. . "**Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands**". Atmospheric Environment , 1998.

AKBARI, Hashem; BRETZ, Sarah E.; KURN, Dan M.; HANFORD, James W. "**Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs.**" Energy and Buildings , 1997.

BOSCHETTI, Cesar. Detectores de Infravermelho: Princípios e caracterizações. LAS-INPE:- Pós-graduação. Disponível em: <http://www.las.inpe.br/~cesar/Infrared>

CASTRO, A. P. A. S. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica.** Dissertação de mestrado pela Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Civil, 2005.

CEBALLOS, J. C. **Estimativa de radiação solar à superfície com céu claro: um modelo simplificado.** Revista Brasileira de Meteorologia. V. 15, 113-122, 2000.

CHYZANOWSKI, K. **Evaluation of thermal cameras for non-destructive thermal testing applications.** www.sciencedirect.com, 2001.

ÇENGEL, Yunus A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática.** Porto Alegre: AMGH, 2012.

DIMOUDI A., S. Zoras, A. Kantzioura, X. Stogiannou, P. Kosmopoulos, C. Pallas. **Use of cool materials and other bioclimatic interventions in outdoor places in order to mitigate the urban heat island in a medium size city in Greece.** Sustainable Cities and Society, 2014

DORNELES, Kelen Almeida ; RORIZ, Maurício. **Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de**

edificações. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UNICAMP, Campinas-SP, 2007.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. “**Solar engineering of thermal processes**”, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1991.

FERREIRA, F. L. S.; PRADO, R. T. A. **Medição da refletância ou refletância dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil.** Anais Encac – Cotedi. Curitiba 2003.

FERREIRA, F. L. S. **Medição da refletância e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios.** Dissertação de mestrado pela Universidade de São Paulo – Departamento de Construção Civil, São Paulo, 2003.

FROTA, Anésia Barros. **Manual de conforto térmico: Arquitetura e urbanismo.** São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FROTA, Anésia Barros. **Geometria da insolação.** São Paulo: Geros, 2004.

GAGO, E.J.; J. Roldan, R. Pacheco-Torres, J. Ordóñez. **The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013.

HERNANDEZ-PÉRES, I., ÀLVEZ, G., XAMÁN, J., ZAVALA-GUILLÉN, I., ARCE, J. , SIMÁ, E. **Thermal performance of reflective materials applied to exterior building components—A review.** Energy andBuildings, 2014

IKEMATSU, Paula. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico das tintas reflexivas e convencionais de cores correspondentes.** Dissertação de mestrado pela Escola Politécnica de São Paulo - Departamento de Engenharia, São Paulo, 2007.

LARSEN, Silvana Flores; HONGN, Marcos. **Determining the infrared reflectance of specular surfaces by using thermographic analysis.** Renewable Energy, 2014.

LEITE, Diego de Oliveira; PRADO, Rogério Junqueira. **Espectroscopia no infra-vermelho: uma apresentação para o Ensino Médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2012.

LEVINSON, Ronnen; AKBARI, Hashem; BERDAHL, Paul. **Measuring solar reflectance—Part I: Defining a metric that accurately predicts solar heat gain**. Available online, 2010

LOBATO, Emilio. **Relatório Técnico 51**. Ministério das Minas e Energia - MME, 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P28>

LUTGENS, F.K.; E.J. TARBUCK, **The Atmosphere: an introduction to Meteorology**. Prentice Hall, 1989.

MALDAGUE, X. **Advances in pulsed phase thermography**. Infrared Physics & Technology, 2002

MARTINAZZO, Claodomir Antonio. **Modelos de estimativa de radiação solar para elaboração de mapas soliméricos**. Dissertação de mestrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica. Porto Alegre, 2004.

MASCARÓ, Juan Luis. **Infra-estrutura da paisagem**. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2008.

MIHALAKAKOU, P., Flocas, H.A., Santamouris, M., Helmis, C.G. **Application of neural networks to the simulation of the heat island over Athens. Greece, using synoptic types as a predictor**. Journal of Applied Meteorology. Grécia, 2002

MIHALAKAKOU, P., SANTAMOURIS, M., PAPANIKOLAOU, N., CARTALIS, C., TSANGRASSOULIS, A. **Simulation of the urban heat island phenomenon in Mediterranean climates**. Journal of Pure and Applied Geophysics 161, 429–451. Grécia, 2004.

MIRZAEI, P.A., Haghightat, F. **Approaches to study urban heat island – abilities and limitations**. Building and Environment, 2010

NOELIA L. Alchapar. A classificação de materiais de construção utilizados nos envelopes urbanos de acordo com a sua capacidade para a

mitigaçãoda ilha de calorurbana emzonassemi-áridas. *Jornal Elsevier* - 2013

OKE, T.R., Johnson, D.G., STEYN, D.G., WATSON, I.D. **Simulation of surface urban heat island under ‘ideal’ conditions at night – part 2: diagnosis and causation.** *Boundary-Layer Meteorology* , 1991.

OLIVEIRA, Sandra;Andrade, Henrique; VAZ, Teresa. **The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon.** *BuildingandEnvironment* , 2011.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Departamento de Astronomia do Instituto da UFRGS. Disponivelem : <http://www.if.ufrgs.br/cref/camiladebom/Aulas/Pages/3.html>

OUCHI, J. T. **Fundamentos de colorimetria. in: fazenda, j. m. r. tintas e vernizes – ciência & tecnologia**, 2005.

PONTES, Ivan Falcão; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos. **Comunicação Técnica elaborada para Edição do Livro Rochas & Minerais Industriais: Usos eEspecificações Pág. 607 a 628.**Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2005.

ROMERO,Marta Adriana Bustos: **Princípios Bioclimáticos para o desenho urbano.** São Paulo, Proeditores, 2000.

ROSENFELD, A. H.; et al. **Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates.** *Energy and Buildings*, 1995.

ROSSI, Federico,; PISELLO, Anna Laura; NICOLINI, Andrea; FILIPPONI, Mirko; PALOMBO, Massimo. **Analysis of retro-reflective surfaces for urban heat island mitigation: A new analytical model.***Applied Energy*, 2014.

SANTAMOURIS, M., A. Synnefa, T. Karlessi.**Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions.** Available online at, 2011.

SANTAMOURIS, M.; GAITANI, N; SPANOU, A.; SALIARI, M.; GIANNOPOULOU, K.; VASILAKOPOULOU, K.; KARDOMATEAS, T. **Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas e Design realization and results of the flisvos Project.** Building and Environment, 2012.

SANTAMOURIS, M. **Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island : A review of the actual developments.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013.

SANTAMOURIS, M. **Cooling the cities –A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments.** Energy Reviews, 2014.

SIMPSON, J.R. and Mc PHERSON,E.G. **“The Effect of Roof Albedo Modification on Cooling Loads of Scale Residences in Tucson, Arizona”.** Energy and Buildings,1997

SMALL, Christopher .**Comparative analysis of urban reflectance and surface temperature.** Remote Sensing of Environment, 2006.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M. LIVADA, I. **A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment.** Solar Energy, 2006

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M. ; APOSTOLAKIS,K. **On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment.** Solar Energy, 2007.

VOLPE-FILIK, Andreia, DA SILVA,Luzia Ferreira, LIMA, Ana Maria Liner Pereira. **Avaliação da arborização de ruas do bairro São Dimas na cidade de Piracicaba-SP através de parâmetros qualitativos.** Revista Sociedade Brasileira de Arborização, Volume 2, Número 1, 2007.