

**Estudo das propriedades térmicas de concretos leves: Revisão na base
SCOPUS e SCIELO (2009-2019)**

Claudio Nelson Mateus Lucas

Mestrando, UNESP, Brasil
mateus.lucas@unesp.br

Maximiliano dos Anjos Azambuja

Professor Doutor, UNESP, Brasil
m.azambuja@unesp.br

RESUMO

Este trabalho apresenta parte do referencial teórico acerca das propriedades térmicas de concretos leves. O recorte da produção científica, no período de 2009 a 2019, representada pelos artigos científicos nas bases de dados Scopus e Capes serão apresentados. Trata-se de uma revisão acerca das principais ferramentas metodológicas usadas pelos diversos autores para determinar a condutividade térmica de concretos leves. As pesquisas apresentam, de maneira geral, agregados leves diferentes para produção dos concretos, tais como: argila expandida, aerogel, perlita, vidro, fibra de polipropileno, óleo da casca de palma, poliestireno expandido e goma de tragacanto. Os principais métodos e técnicas para a avaliação da condutividade térmica foram: método da placa quente e método do fio quente paralelo, entre outros. Os resultados de condutividade térmica dos concretos leves variaram de 0,04 W/(m.k) a 2,6 W/(m.k), sendo que em todos os estudos foram satisfatórios demonstrando a viabilidade técnica da produção de concretos leves.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto leve. Condutividade térmica. Desempenho térmico.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de materiais que possuem baixa condutividade térmica, por exemplo, em paredes e tetos, pode reduzir o consumo de energia em edifícios. Por este motivo, concretos leves são objeto de estudo de muitos pesquisadores por apresentarem baixa densidade, baixa condutividade térmica e flexibilidade arquitetônica (DEMIRBOGA; GÜL, 2003); (UYSAL *et al.*, 2004); (TOMMY *et al.*, 2007); (SENGÜL *et al.*, 2011); (CHEN; LIU, 2013); (DEVECIOĞLU; BIÇER, 2015).

Estudos recentes realizados por Jhatial *et al.* (2018) afirmaram que o valor de condutividade térmica do concreto produzido com agregado leve é inferior ao do concreto convencional, variando de 0,1 w/(m.k) a 0,7 w/(m.k). A menor condutividade térmica é devido à quantidade de vazios na matriz cimentícia, determinada pelo agregado leve, que retarda o fluxo de calor impedindo a passagem do ar.

A condutividade térmica é uma medida caracterizada pela capacidade que um material pode conduzir certa quantidade de calor através de uma espessura unitária, em virtude de um gradiente de temperatura sob determinadas condições. Estudos anteriores indicam que massa específica (ou porosidade), a forma dos agregados e o teor de umidade determinam as propriedades do concreto e produzem influência sobre sua condutividade térmica (MYDIN; WANG, 2011); (SERRI *et al.*, 2014).

De acordo com ACI 213R-87 os concretos leves podem ser elaborados através da substituição parcial ou total dos agregados convencionais e devem apresentar massa específica no estado endurecido entre 1400 a 2000 kg/m³. A principal característica do concreto leve é sua massa específica reduzida em comparação ao concreto convencional. O desempenho térmico e acústico de concretos leves é influenciado pelos agregados leves utilizados em sua produção (DÍAZ *et al.*, 2010); (ANGELIN *et al.*, 2017).

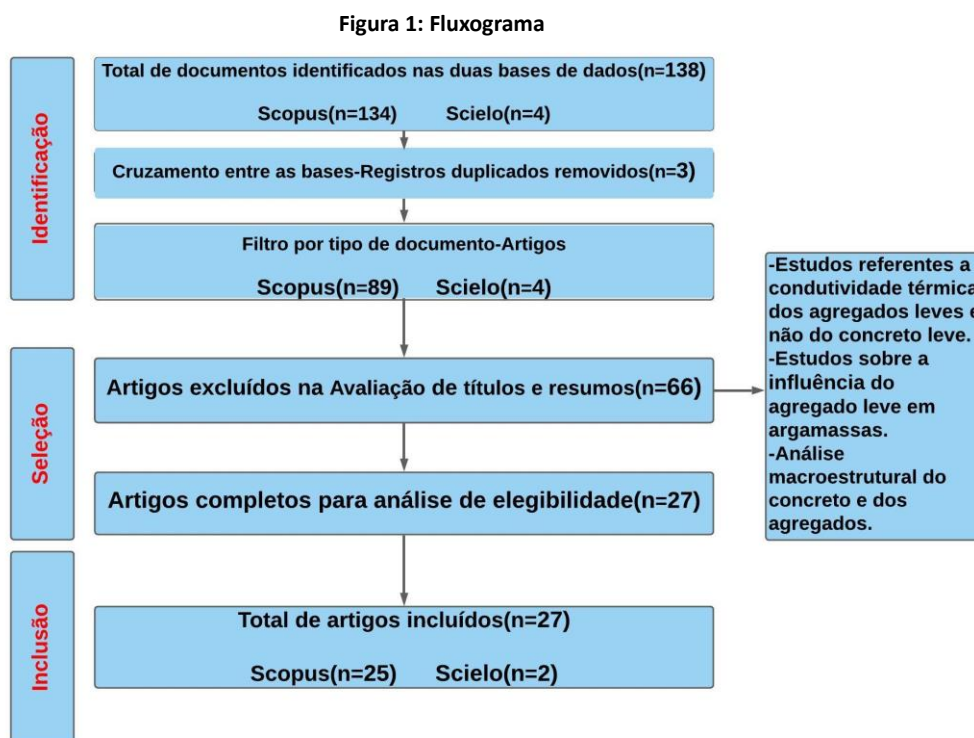
Diante deste cenário, o presente artigo realizou uma revisão nas bases de dados Scopus e Scielo, com a finalidade de analisar a condutividade térmica de concretos leves e discutir os principais resultados alcançados nas pesquisas dos diferentes autores, assim como analisar os materiais e métodos usados na avaliação da condutividade térmica de concretos leves.

2. OBJETIVOS

O presente estudo apresenta parte do referencial teórico acerca das propriedades térmicas de concretos leves, com objetivo de identificar os materiais utilizados nas dosagens de concretos leves; analisar os métodos e técnicas utilizadas para avaliação da condutividade térmica dos concretos produzidos e comparar os resultados alcançados pelos autores, por meio de uma revisão nas bases de dados Scopus e Scielo (2009-2019).

3. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo quali-quantitativa através de uma revisão em duas bases de dados digitais (Scopus e Scielo), no período de 2009 a 2019. Para a busca dos documentos foram inseridas as palavras chaves em inglês: Lightweight concrete, thermal conductivity e thermal performance com a aplicação da lógica Booleana “and” para ambas as bases. O fluxograma a seguir apresenta o recorte dos artigos com aderência ao assunto da pesquisa:



Fonte: OS AUTORES, 2020. Baseado no modelo PRISMA, Silva *et al.* (2015).

Na base de dados SCOPUS foram encontradas 134 pesquisas, enquanto na SCIELO foram encontradas 4 pesquisas, no total de 138 pesquisas ilustrado no fluxograma, nos idiomas português, espanhol e inglês. Após uma leitura mais detalhada dos 93 artigos (títulos e resumos), foram selecionados 27 artigos que apresentaram resultados referentes às propriedades térmicas de concretos leves objetivo central do estudo. Os outros 66 artigos foram excluídos por não apresentarem aderência aos objetivos desta pesquisa conforme ilustrado no fluxograma anterior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na base de dados SCOPUS foram encontradas 25 pesquisas entre 2012 a 2019. Geralmente, as pesquisas apresentaram resultados referentes às propriedades térmicas de concretos leves, características dos agregados leves, dosagem, resultados de porosidade e de absorção da água. Além disso, na base de dados SCIELO foram encontradas duas pesquisas, respectivamente, de 2010 e de 2017 a respeito das propriedades térmicas de concretos leves.

4.1. RESULTADOS DAS BASES DE DADOS

Os resultados obtidos pelos pesquisadores a respeito de propriedades térmicas de concretos leves e métodos e técnicas para avaliação da condutividade térmica são apresentados a seguir. Ressalta-se que os procedimentos padronizados em normas técnicas, nacionais e internacionais, não serão apresentados no texto, apenas, citação da norma específica.

Os resultados mais relevantes são apresentados no texto, de forma concisa, referentes às propriedades térmicas de concretos leves (Tabela 1).

Tabela 1: Resultado da Condutividade térmica

Base de Dados	Autores/ano	País de investigação	Título do Artigo	Materiais e Métodos	Principais resultados
SCIELO	SACHIT <i>et al</i> (2010)	Brasil	Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida	Agregado leve: argila expandida Normas: ABNT NBR 15220-Parte 2, DIN 51046-Parte 2 Avaliação da condutividade térmica: Fio Quente paralelo.	Os traços 4 e 5 alcançaram melhores resultados em relação aos demais traços, respectivamente, com valores de 0,94 e 0,54 w/ (m.k). O maior valor alcançado foi 1,18 w/ (m.k), traço de referência, valor próximo ao recomendado pela NBR 15220.
SCOPUS	AWANG <i>et al</i> (2012)	Malásia	Effect of additives on mechanical and thermal properties of lightweight foamed concrete	Agregados leves: fibra de polipropileno, cal e cinza volante. Normas: ISO 22007-2. Avaliação/condutividade térmica: Hot Disk	Os valores estiveram entre 0,19 a 0,61 w/ (m.k), valores menores que o estabelecido pela norma. Portanto, todos os traços obtiveram resultados satisfatórios. Ressalta-se que a adição de cal influenciou na redução da condutividade térmica.
SCOPUS	BAJARE e KORJAKINS (2013)	Letônia	Lightweight Concrete with Aggregates Made by Using Industrial Waste	Agregado: argila expandida. Normas: DIN EN 12667, ISO 8301. Avaliação da condutividade térmica: medidor de fluxo de calor LaserComp-Fox 600	Os traços apresentaram valores de condutividade entre 0,31 a 0,33 W/ (m.k), resultados considerados satisfatórios. Deste modo, é possível produzir concretos leves com baixa condutividade térmica com argila expandida.
SCOPUS	BUMANIS <i>et al</i> (2013)	Letônia	Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Concrete Made	Agregado leve: vidro expandido Normas: DIN EN 12667, ISO 8301. Avaliação da	Os resultados indicam a viabilidade da produção de concretos leves com vidro expandido. O acréscimo de vidro expandido melhorou a

			from Expanded Glass	condutividade térmica: medidor de fluxo de calor LaserComp-Fox 600.	condutividade térmica do concreto. Os valores de condutividade térmica foram entre 0,138 a 0,177 W/(m.k), resultados considerados adequados.
SCOPUS	LIU <i>et al</i> (2013)	Malásia	Evaluation of Thermal Conductivity, Mechanical and Transport Properties of Lightweight Aggregate Geopolymer concrete	Agregados leves: óleo da casca de palma e cinza volante. Normas: BS EN 12664. Avaliação da condutividade térmica: Placa quente	Os valores para os 4 traços permaneceram entre 0,47 a 0,58 W/ (m.k), valores menores em comparação aos materiais.
SCOPUS	SERRI <i>et al</i> (2014)	Malásia	Thermal Properties of Oil Palm Shell Lightweight Concrete with Different Mix Designs	Agregado leve: casca de dendê-Oil Palm Shell (OPS) Normas: ISO 22007-2. Avaliação da condutividade térmica: Hot disk TPS2500	Os resultados de condutividade térmica variam entre 0,54 a 1,1 w/ (m.k) e são considerados adequados para elaboração de paredes de concreto com propriedades térmicas aceitáveis.
SCOPUS	BORHAN, Tumadhir Merawi (2015)	Iraque	Effect of Using Recycled Lightweight Aggregates on the Properties of Concrete	Agregados leves: resíduos de concreto leve triturado. Normas: ASTM C 177-04. Avaliação da condutividade térmica: Placa quente.	Os resultados de condutividade térmica diminuíram gradualmente com o acréscimo do agregado leve reciclado, até atingir 1,18 w/ (m.k) para 100% de substituição do natural agregado.
SCOPUS	DAVRAZ <i>et al</i> (2015)	Turquia	The effects of Physical properties on the Thermal Conductivity of Lightweight Aggregates	Agregados leves: pedra pome, perlita, argila expandida, terra de diatomita Normas: TS EN 12664. Avaliação da condutividade térmica: medidor de fluxo de calor fox 314.	Os resultados obtidos apresentam condutividade térmica entre 1,26 a 1,33 W/(m.k), valores estes satisfatórios de acordo com EN 12664. Ressalta-se que a adição de perlita ao concreto melhorou a condutividade térmica em comparação aos outros agregados.
SCOPUS	DEVECIOĞ LU e BIÇER (2015)	Turquia	The Effects of Tragacanth Addition on the Thermal and Mechanical Properties of Lightweight Concretes Mixed with Expanded Clay	Agregado leve: goma de tragacanto Norma: DIN 51046 Avaliação da condutividade térmica: Fio Quente paralelo	O utilização da goma de tragacanto é incomum e novo na construção, entretanto, obteve-se resultados entre 0,215 a 0,418 w/(m.k) adequados para produção de concretos leves com baixa condutividade térmica.
SCOPUS	JEDIDI <i>et al</i> (2015)	Tunísia	Effect of Expanded Perlite Aggregate Dosage on Properties of	Agregado leve: perlita expandida Normas: NF EN ISO 8990, 1996	Os valores alcançados foram satisfatórios e variaram entre 0,13 a 0,62 W/(m.k). A porcentagem de

			Lightweight Concrete	Avaliação da condutividade térmica: Placa quente.	substituição da perlita expandida teve influência na resposta de condutividade térmica do concreto leve.
SCOPUS	XU <i>et al</i> (2015)	China	Experimental study and modeling on effective thermal conductivity of EPS lightweight concrete	Agregado leve: poliestireno expandido (EPS) Norma: GB10294-2008. Avaliação da condutividade térmica: Hot disk CD-DR3030A e 6 modelos matemáticos (modelo Parallel, Series, Campbell, Maxwell, Hamilton e modelo EMT)	Os resultados demonstram que a adição de EPS proporcionou uma redução da condutividade térmica do concreto. Foram utilizados vários métodos para comparar os resultados. Não houve diferenças significativas entre os métodos. Os valores foram entre 0,10 a 0,90 w/(m.k). Os valores alcançados em todos os métodos estão de acordo com o estabelecido.
SCOPUS	REAL <i>et al</i> 2016	Portugal	Thermal conductivity of structural lightweight aggregate concrete	Agregado leve: argila expandida Normas: ASTM D5930, 2009, ASTM D5334, 2014. Avaliação da condutividade térmica: Isomet 2114	Com a diminuição da densidade do concreto houve uma diminuição significativa da condutividade térmica. Os resultados foram satisfatórios em todos os traços com adição de argila expandida, entre 0,8 a 2 W/(m.k).
SCOPUS	ŠEPUTYTĖ -JUC e SINICA (2016)	Lituânia	The Effect Of Expanded Glass And Polystyrene Waste On The Properties Of Lightweight Aggregate Concrete	Agregados leves: vidro expandido e poliestireno Normas: EN 826, EN ISO 8302 e LST EN 12664. Avaliação da condutividade térmica: placa quente	A quantidade de vazios no concreto proporcionou a redução da condutividade térmica e os resultados variaram entre 0,07 a 0,1 W/(m.k). Estes valores alcançados são aceitáveis e estão de acordo com o estabelecido pela norma vigente nesta pesquisa.
SCOPUS	STRZAŁKO WSKI e HALINA (2016)	Polônia	THERMAL AND STRENGTH PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETES WITH ADDITION OF AEROGEL PARTICLES	Agregado leve: Aerogel Normas: ASTM D5930, 2009, ASTM D5334, 2014. Avaliação da condutividade térmica: Isomet 2114	Os resultados obtidos foram aceitáveis entre 0,75 a 1,25 w/(m.k). O uso deste agregado no setor da construção civil é incomum, mas mostrou-se adequado para elaboração de concretos leves com baixa condutividade térmica.
SCIELO	ANGELIN <i>et al</i> (2017)	Brasil	Uso da argila expandida e sílica ativa no melhoramento dos desempenhos mecânicos, físicos e térmicos de concretos leves estruturais.	Agregado leve: argila expandida Normas: EM 12667. Avaliação da condutividade térmica: placa quente.	De acordo com os resultados o concreto leve estudado mostrou-se adequado alcançando valores de condutividade térmica entre 0,61 a 1 w/(m.k). Os resultados indicam que é possível utilizá-lo na produção de concretos leves.
SCOPUS	CHUNG <i>et al</i>	Alemanha	Evaluation of the Effects of Crushed	Agregado leve: Vidro expandido	Os resultados de condutividade térmica

	(2017)		and Expanded Waste Glass Aggregates on the Material Properties of Lightweight Concrete Using Image-Based Approaches	Normas: DIN EN 12390-7, ISO 22007-2. Avaliação da condutividade térmica: Hot Disk e Isomet	variaram entre 0,15 a 1,85 w/(m.k). O vidro expandido proporcionou uma redução significativa da condutividade térmica, razão pela qual os valores alcançados estão dentro do estabelecido.
SCOPUS	CHUNG <i>et al</i> (2017)	Alemanha	Effect of Different Gradings of Lightweight Aggregates on the Properties of Concrete	Agregado leve: vidro expandido Normas: ISO 22007-2 e EN 12390-4 Avaliação da condutividade térmica: Hot Disk.	Os resultados demonstram que os valores de condutividade térmica reduzem com o acréscimo de vidro no concreto. Os valores entre 0,07 a 0,31 w/(m.k) foram os alcançados nos traços estudados.
SCOPUS	JEONG <i>et al</i> (2017)	Coreia do Sul	Experimental Evaluation of Thermal Performance and Durability of Thermally-Enhanced Concretes	Agregado leve: diatomita triturada. Normas: ASTM C1363 e ISO 8990 Avaliação da condutividade térmica: placa quente	Os resultados indicam que o agregado leve pode ser utilizado na produção de concretos leves com baixa condutividade térmica. Os valores alcançados variaram entre 0,7 a 1,5 W/(m.k).
SCOPUS	JHATIAL <i>et al</i> (2017)	Malásia	Effect of Polypropylene Fibres on the Thermal Conductivity of Lightweight Foamed Concrete	Agregado leve: fibras de polipropileno (PP) Normas: BS EN 12644:2001 Avaliação da condutividade térmica: placa quente	Os valores de condutividade térmica foram de acordo com a norma vigente nesta pesquisa, valores entre 0,66 a 0,71 w/(m.k).
SCOPUS	ABDULAM EER (2018)	Iraque	Assessment the thermal properties lightweight concrete produced by using local industrial waste materials	Agregados leves: borrachas de pneu triturado e de resíduos de madeira. Normas: não apresentou na pesquisa. Avaliação da condutividade térmica: Hot Disk (Lees Disc)	Os traços com borracha triturada variam entre 0,42 a 0,70 W/(m.k) e os traços com resíduo de madeira foram entre 0,21 a 0,70. O resíduo de madeira apresentou melhor resultado.
SCOPUS	ASADI <i>et al</i> (2018)	Malásia	Thermal conductivity of concrete – A review	Agregado: poliestireno expandido (EPS) Normas: BS EM 12664, ISO8301. Avaliação da condutividade térmica: fio quente paralelo, placa quente, hot boxes.	Foram utilizados vários métodos de avaliação da condutividade térmica. Os resultados de condutividade térmica, para 30 traços distintos, foram de 0,43 a 0,97 w/(m.k).
SCOPUS	CHIN <i>et al</i> (2018)	Malásia	Thermal Properties of Concrete	Agregado leve: vermiculita Normas: ASTM	Os resultados demonstram que este agregado leve é adequado para a produção

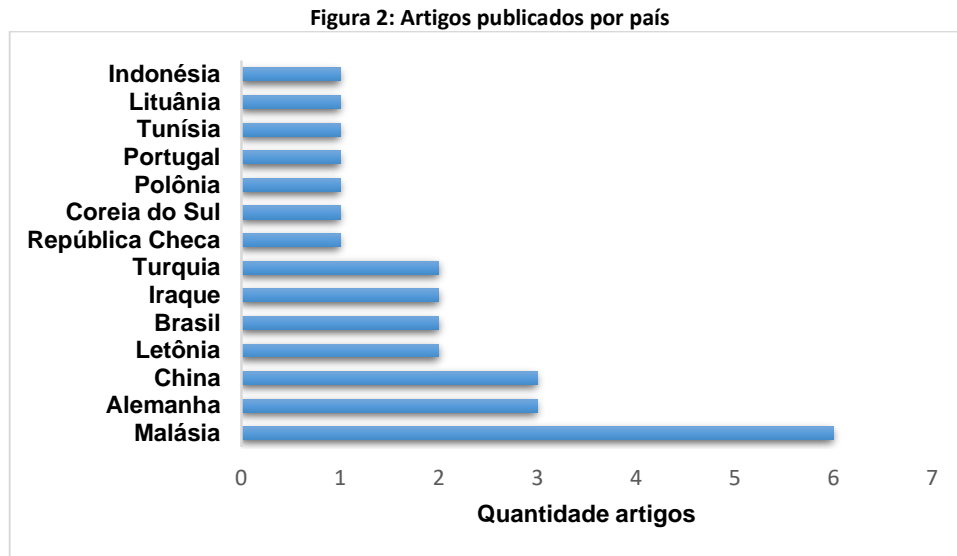
			Incorporated with Shape-stable Phase Change Material	D533414 Avaliação da condutividade térmica: Placa quente e KD2Pro	de concretos leves com baixa condutividade térmica, alcançando valores entre 0,8 a 2,6 W/(m.k).
SCOPUS	HABSYA <i>et al</i> (2018)	Indonésia	Physical, mechanical and thermal properties of lightweight foamed concrete with fly ash	Agregado leve: cinza volante Norma: Não revelada pelos autores. Avaliação da condutividade térmica: aparelho HVS-40-200SE-TokyoMeter Co.	Os valores obtidos para condutividade térmica entre 0,083 a 0,090 w/(m.k) foram relevantes ao se comparar com as demais pesquisas.
SCOPUS	HUANG <i>et al</i> (2018)	China	A Novel, Multifunctional, Floatable, Lightweight Cement Composite: Development and Propertie	Agregado leve: fibras de polietileno Normas: ASTM C518 e ASTM C177. Avaliação da condutividade térmica: placa quente.	Os valores de condutividade térmica alcançados foram excelentes em todos os traços e os valores foram entre 0,15 a 0,9 W/(m.k). O concreto elaborado é uma boa alternativa construtiva com baixa condutividade térmica.
SCOPUS	ZÁLESKÁ <i>et al</i> (2018)	República Checa	Lightweight Concrete Made With Waste Expanded Polypropylene-Based Aggregate And Synthetic Coagulated Amorphous Silica	Agregado leve: polipropileno expandido. Normas: EN 196-1 (2016) e EN ISO 12572 (2001). Avaliação da condutividade térmica: Isomet 2114	Os resultados demonstram que a adição do agregado ao concreto melhorou consideravelmente a condutividade térmica. Os resultados foram satisfatórios e os valores variaram entre 0,71 a 1,8 W/(m.k).
SCOPUS	ELRAHMAN <i>et al</i> 2019	Alemanha	Preparation and Characterization of Ultra-Lightweight Foamed Concrete Incorporating Lightweight Aggregates	Agregado leve: Perlita Norma: EN 206-1, EN 12390-3 e ISO 122007-2. Avaliação da condutividade térmica: Hot Disk	A Perlita proporcionou uma redução das propriedades térmicas do concreto. Os valores de condutividade térmica foram entre 0,11 a 0,14 w/(m.k).
SCOPUS	SHI <i>et al</i> (2019)	China	Temperature Effect on the Thermal Conductivity of Expanded Polystyrene Foamed Concrete: Experimental Investigation and Model Correction	Agregado leve: poliestireno expandido (EPS) Normas: GB/T11969-2008 Avaliação da condutividade térmica: Isomet 2114	Foi possível verificar resultados satisfatórios de condutividade térmica com valor máximo de 0,1 w/(m.k).

Fonte: OS AUTORES, 2020

É possível observar na Tabela 1 os principais valores de condutividade térmica que os diferentes autores alcançaram, assim como as normas técnicas, materiais e métodos usados nas pesquisas. Entretanto, alguns autores não apresentaram as normas técnicas ou

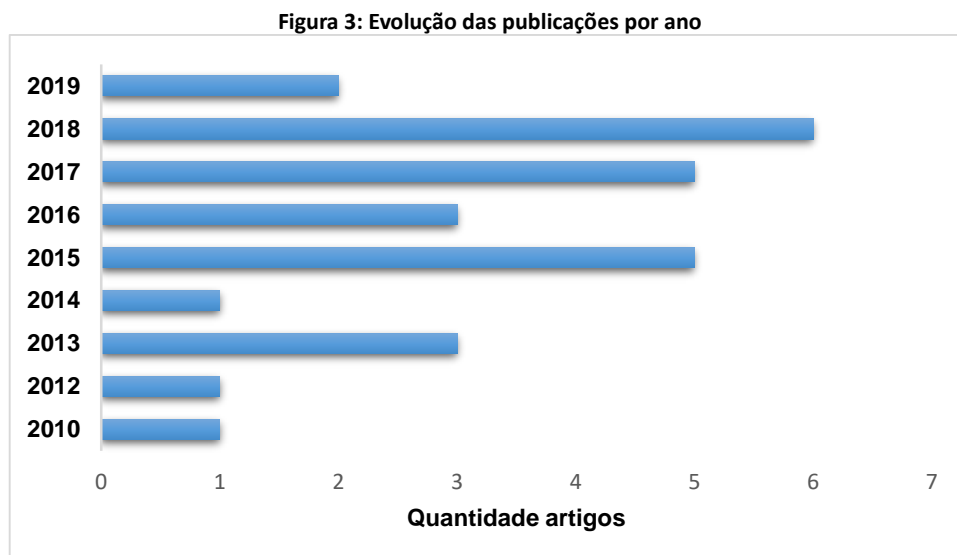
metodologias utilizadas na pesquisa. Destacam-se as inovações feitas pelos pesquisadores na utilização de novos agregados leves que são incomuns no ramo da construção civil.

A figura 2 mostra a coautoria entre os países com mais investigações, com destaque para Malásia com 6 artigos, em seguida a China e Alemanha com 3 artigos.



Fonte: OS AUTORES, 2020.

A figura 3 mostra a evolução das publicações dos artigos durante os últimos 10 anos (2009-2019). Observa-se em 2013, 2015, 2016, 2017 e 2018 um acréscimo significativo de pesquisas, com destaque para 2018 com um número mais expressivo de publicações.

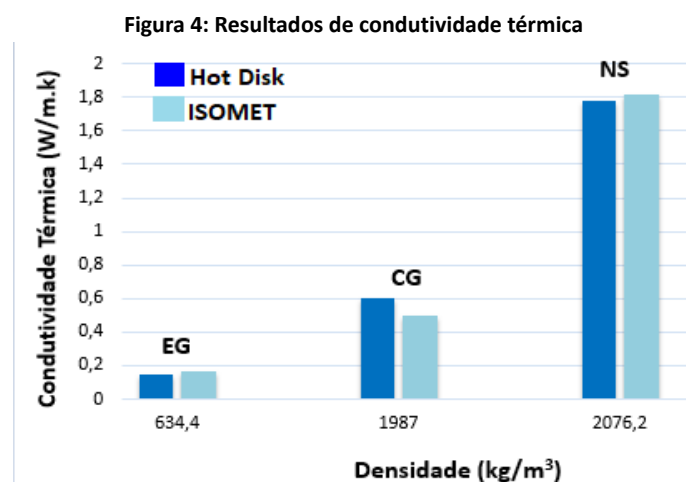


Fonte: OS AUTORES, 2020.

Apresentam-se alguns resultados relevantes de pesquisas para afirmar as metodologias de avaliação da condutividade térmica, a seguir.

Chung *et al.* (2017) avaliaram as propriedades térmicas de concreto leve elaborado com material reciclado a partir de vidro com três traços diferentes, sendo eles: areia natural

(NS – Natural Sand), vidro triturado (CG- Crushed Glass) e vidro expandido (EG – Expanded Glass) utilizando os métodos e técnicas apresentados no seguinte texto normativo: ISO 22007-2. A proposta de dosagem foi à substituição de 100% areia natural por vidro triturado e vidro expandido, respectivamente, para os traços de CG e EG, os demais constituintes dos traços foram mantidos, por exemplo, 306 kg/m³ de cimento, 34 kg/m³ de sílica ativa, 0,6 da relação água/cimento, exceto para o superplastificante 6,12 kg/m³ (EG), 8,75 kg/m³ (CG) e 3,4 kg/m³ (NS). Os resultados das propriedades térmicas são apresentados na Figura 4.



Fonte: CHUNG *et al*, 2017.

A condutividade térmica foi determinada através do Hot Disk e Isomet para maior precisão dos resultados como é ilustrado na Figura 4, e não apresentou diferença significativa entre os dois métodos, aproximadamente 7%. O traço EG apresentou o resultado de condutividade térmica de 0,15 W/(m.k) inferior aos resultados de NS (Referência) e CG, ou seja, melhor resultado. De maneira geral, os resultados foram satisfatórios para todos os traços.

Abdulameer (2018) avaliou as propriedades térmicas do concreto leve a partir de borrachas de pneu triturado e de resíduos de madeira e adição de cinza volante. O estudo produziu cinco traços para o agregado de borracha de pneu e para o agregado de resíduos de madeira para comparar os dois resultados. A avaliação da condutividade térmica foi através do Hot Disk (Lees Disc). Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados

Traços	Misturas (%)	Condutividade Térmica com adição de borracha de pneu triturado w/ (m. k)	Condutividade Térmica com adição de resíduo de madeira w/ (m. k)
1	0	0,704	0,704
2	5	0,638	0,539
3	10	0,550	0,441
4	15	0,480	0,322
5	20	0,420	0,218

Fonte: OS AUTORES, 2020

A adição destes materiais reduziu consideravelmente a condutividade térmica em comparação ao concreto de referência. Os melhores resultados foram alcançados no traço 5 tanto com adição de borracha triturada como para os de resíduos de madeira. O traço com

adição de resíduo de madeira apresentou uma redução de aproximadamente 15%, da condutividade térmica, em relação ao traço de borracha.

Angelin *et al.* (2017) analisaram as propriedades térmicas de concretos leves a partir de argila expandida brasileira CINEXPAN com adição de sílica ativa. O teor de sílica ativa usada foi de 10% em relação ao peso do cimento e a relação água/cimento foi de 0,40. Foram desenvolvidos 5 traços diferentes com variação das porcentagens dos agregados e usadas dois tipos de argila expandida (C05 e C15). Ainda, utilizou-se o agregado graúdo natural (Brita1) para comparar os resultados com os concretos elaborados com argila expandida. A tabela 3 detalha as composições dos traços:

Tabela 3: Composição dos traços

Traços	Proporções (em massa)						
	Cimento	Sílica	Agregado miúdo	C ₀₅	Agregado graúdo	C ₁₅	Superplastificante
1	1	0,1	1,28	0,23	1,60	0	0,04
2					1,19	0,18	0,04
3					0,80	0,37	0,02
4					0,40	0,55	0,02
5					0	0,75	0,02

Fonte: adaptado de ANGELIN *et al.*, 2017

A avaliação da condutividade térmica foi através da placa quente (Hot Plate) de acordo com a EN 12667. Os valores alcançados para todos os traços foram de acordo a ABNT NBR 15220:2005. Os resultados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Resultado da Condutividade térmica

Traços	Massa específica (kg/m ³)	Índice de vazio (%)	Condutividade térmica w/ (m. k)
T1	2400	8,83	1
T2	2205	11,32	0,77
T3	2033	11,68	0,73
T4	1902	13,07	0,72
T5	1687	13,37	0,61

Fonte: OS AUTORES, 2020.

Os valores da condutividade térmica para os concretos com 100% de argila expandida foram menores do que o concreto de referência, obtendo valor máximo de 0,77 w/(m.k). O traço 5 apresentou o menor resultado de condutividade térmica em comparação com os demais traços, obtendo valor de 0,61 w/(m.k).

Sachit *et al.* (2010) estudaram as propriedades térmicas de concreto leve com adição de dois tipos de argila expandida, Cinexpan 0500 e Cinexpan 1506. Ainda, adicionou-se um aditivo mineral (Metacaulin) e um superplastificante (Glenium) ao concreto. Foram elaborados cinco traços diferentes descritos na tabela 5.

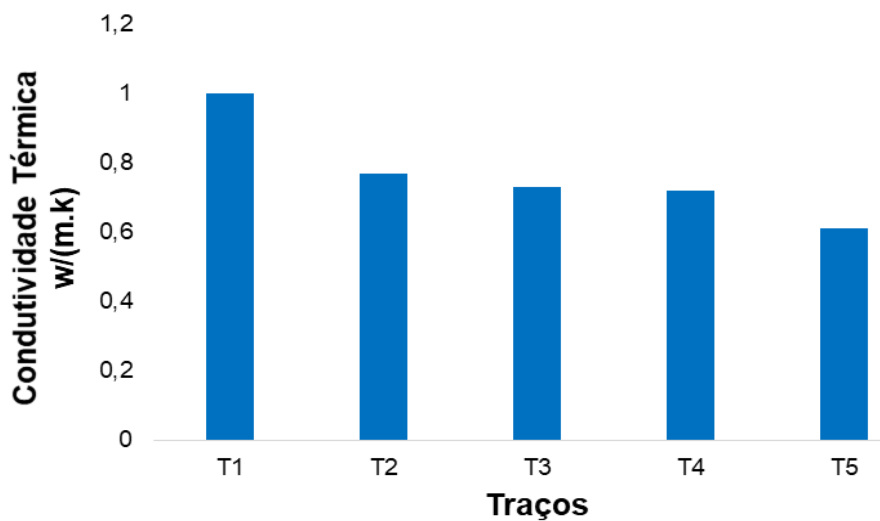
Tabela 5: Composição dos traços

Traços	Cimento (Kg/m ³)	Metacaulin (Kg/m ³)	Areia (Kg/m ³)	Brita 01 (Kg/m ³)	Cinexpan 0500 (Kg/m ³)	Cinexpan 1506 (Kg/m ³)	Glenium (%)	Água (kg/m ³)
T1	310,68	31,07	894,77	1093,6	0	0	2,33	178
T2	312,06	31,21	858,15	686,52	0	171,63	2,34	172
T3	313,38	31,34	902,53	300,84	0	300,84	2,35	192
T4	307,77	30,78	899,91	0	0	423,49	2,31	212
T5	307,88	30,79	95,44	0	362,68	496,30	2,31	200

Fonte: SACHIT *et al*, 2010

A condutividade térmica foi determinada através do fio quente paralelo de acordo com a ABNT NBR ISO8894-2, cujos resultados são representados em seguida na figura 5:

Figura 5: Resultados da condutividade térmica



Fonte: OS AUTORES, 2020

Os resultados mostram claramente que os valores baixos de condutividade térmica são alcançados com a redução da massa específica devido à substituição do agregado graúdo pela argila expandida. Os valores alcançados de condutividade térmica são próximos aos valores recomendados (0,46 a 1,05 w/(m.k)) pela NBR 15220-2 no seu item B.2. Todos os traços apresentaram resultados satisfatórios com destaque para o traço 5 com condutividade térmica de 0,61 w/(m.k).

4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Os estudos do referencial teórico das propriedades térmicas de concretos leves apresentam, de maneira geral, agregados leves diferentes para produção dos concretos, tais como: argila expandida, aerogel, perlita, vidro, fibra de polipropileno, borracha de pneu triturado, resíduo de madeira, casca de dendê e goma de tragacanto. As metodologias usadas nos estudos feitos pelos pesquisadores para avaliação as propriedades térmicas de concretos leves são embasados em normas nacionais e internacionais. A condutividade térmica foi avaliada através: do Hot disk, da placa quente, do fio quente paralelo, aparelho Isomet 2114,

KD2Pro, hot boxes, fonte de plano transitório, aparelho HVS-40-200SE e modelos matemáticos.

Os resultados alcançados de condutividade térmica em todos os estudos foram satisfatórios demonstrando que todos os agregados leves adicionados ao concreto oferecem um bom desempenho térmico ao concreto, entre 0,08 a 2,61 w/(m.k).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A argila expandida é o material mais usado como agregado leve para o concreto nos trabalhos estudados. Entretanto, alguns autores buscam novos materiais para produção de concretos leves como é o caso da goma de tragacanto, perlita e o aerogel. O surgimento de novos agregados leves é importante e é objeto de estudos nos últimos anos por vários pesquisadores. Predominaram-se as avaliações da condutividade térmica por meio do fio quente paralelo e do Hot Disk. Apesar dos valores alcançados pelos autores serem diferentes cabe realçar que todos os valores foram satisfatórios e cumpriram com os requisitos estabelecidos nas normas vigentes. Destacam-se, Habsya *et al.*, (2018) que obtiveram valores de condutividade térmica variando entre 0,083 a 0,09 W/(m.k).

As propriedades térmicas foram avaliadas segundo as normas vigentes do país onde a pesquisa foi desenvolvida. As normas citadas para esta finalidade foram: ISO 122007-2, BS EN 12644:2001, (DIN) 51046, GB10294-2008, ASTM C332, ISO/DIS 22007-2.2, ASTM (C192-07), NBR 15220, EN 12667, ACI 213R-03 (2003), ABNT NBR 9778:2009, NBR 9778, ASTM C495-99a, BS EN 12350-6:2009, EN 12390-3:2009, EN 12350-5, EN 12390-7 e EN 206-1.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABDULAMEER, O. Assessment the thermal properties lightweight concrete produced by using local industrial waste materials. **MATEC Web of Conferences**, [S. l.], v. 162, 2018.
- ANGELIN, A. F.; LINTZ, R. C. C.; BARBOSA, L. A. G. Uso da Argila Expandida e Sílica Ativa no Melhoramento dos Desempenhos Mecânicos, Físicos e Térmicos de Concretos Leves Estruturais. **Revista Matéria**, [S. l.], v. 22, 2017.
- ASADI, I. *et al.* Thermal Conductivity of Concrete – A review. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 20, p. 81–93, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 9778**, Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15220**, Desempenho térmico de edificações, Rio de Janeiro, 2005.
- AWANG, H.; OTHUMAN MYDIN, M. A.; ROSLAN, A. F. Effect of Additives on Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Foamed Concrete. **Advances in Applied Science Research**, [S. l.], v. 3, 2012.
- BAJARE, D.; KAZJONOV, J.; KORJAKINS, A. Lightweight Concrete with Aggregates Made by Using Industrial Waste. **Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering**, [S. l.], v.4, n. 5, 2013.
- BORHAN, T. M. Effect of Using Recycled Lightweight Aggregate on the Properties of Concrete. **Journal of Babylon University. Engineering Sciences**, [S. l.], v. 23, n. 2, 2015.
- BUMANIS, G.; BAJARE, D.; KORJAKINS, A. Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Concrete Made from Expanded Glass. **Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering**, [S. l.], v. 2, n. 3, 2013.
- CHEN, B.; LIU, N. A Novel Lightweight Concrete-fabrication and its Thermal and Mechanical Properties. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 44, p. 691–698, 2013.
- CHIN, C. O.; SIH, Y. K. Thermal Properties of Concrete Incorporated with Shape-stable Phase Change Material. **MATEC Web of Conferences**, [S. l.], v. 203, 2018.

CHUNG, S.-Y. *et al.* Evaluation of the Effects of Crushed and Expanded Waste Glass Aggregates on the Material Properties of Lightweight Concrete Using Image-based Approaches. **Materials**, [S. l.], v. 10, 2017.

DAVRAZ, M.; KORU, M.; AKDAG, A. E. The Effect of Physical Properties on Thermal Conductivity of Lightweight Aggregate. **Procedia Earth and Planetary Science**, [S. l.], v. 15, p. 85 – 92, 2015.

DEMIRBOGA, R.; GUL, R. The Effects of Expanded Perlite Aggregate, Silica Fume and Fly Ash on the Thermal Conductivity of Lightweight Concrete. **Cement and Concrete Research**, [S. l.], v. 33, p. 723 – 727, 2003.

DEVICIOĞLU, A. G.; BIÇER, Y. The Effects of Tragacanth Addition on the Thermal and Mechanical Properties of Lightweight Concretes Mixed with Expanded Clay. **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, [S. l.], v. 60, n. 1, p. 85-92, 2016.

DÍAZ, J. J. C. *et al.* A FEM Comparative Analysis of the Thermal Efficiency Among Floors Made Up of Clay, Concrete and Lightweight Concrete Hollow Blocks. **Applied Thermal Engineering**, [S. l.], v. 30, p. 2822– 2826, 2010.

ELRAHMAN, M. A. *et al.* Preparation and Characterization of Ultra-Lightweight Foamed Concrete Incorporating Lightweight Aggregates. **Applied Sciences (Switzerland)**, [S. l.], v. 9, 2019.

HABSYA, C. *et al.* Physical, Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Foamed Concrete with Fly Ash. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S. l.], v. 420, 2018.

HUANG, Z. *et al.* A Novel, Multifunctional, Floatable, Lightweight Cement Composite: Development and Properties. **Materials**, [S. l.], v. 11, 2018.

JEDIDI, M.; BENJEDDOU, O.; SOUSSI, C. Effect of Expanded Perlite Aggregate Dosage on Properties of Lightweight Concrete. **Jordan Journal of Civil Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 3, 2015.

JEONG, Y-W. *et al.* Experimental Evaluation of Thermal Performance and Durability of Thermally-Enhanced Concretes. **Applied Sciences**, v. 7, 2017.

JHATIAL, A.A. *et al.* Effect of Polypropylene Fibres on the Thermal Conductivity of Lightweight Foamed Concrete. **MATEC Web of Conferences**, v. 150, 2018.

LIU, M. Y. J. *et al.* Evaluation of Thermal Conductivity, Mechanical and Transport Properties of Lightweight Aggregate Foamed Geopolymer Concrete. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 72, p. 238–245, 2014.

LO, T. Y.; TANG, W.C.; CUI, H. Z. The Effects of Aggregate Properties on Lightweight Concrete. **Building and Environment**, [S. l.], v. 42, p. 3025–3029, 2007.

MYDIN, M. A. O.; WANG, Y. C. Structural Performance of Lightweight Steel-foamed Concrete-Steel Composite Walling System under Compression. **Journal of Thin-walled Structures**, [S. l.], v. 49, p. 66–76, 2011.

REAL, S. *et al.* Thermal Conductivity of Structural Lightweight Aggregate Concrete. **Magazine of Concrete Research**, [S. l.], v. 68, 2016.

SACHT, H.M.I.; ROSSIGNOLO, J.A.; SANTOS, W.N. Avaliação da Condutividade Térmica de Concretos Leves com Argila Expandida. **Revista Matéria**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 31-39, 2010.

SARTORI, A. L. *et al.* Aderência entre Barras de Aço e Concreto Leve com Pérolas de EPS. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S. l.], v. 10, n. 1, 2017.

SENGÜL, Ö. *et al.* Effect of Expanded Perlite on the Mechanical Properties and Thermal Conductivity of Lightweight Concrete. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 43, p. 671–676, 2011.

ŠEPUTYTĖ-JUCIKĖ, J.; SINICA, M. The Effect of Expanded Glass and Polystyrene Waste on the Properties of Lightweight Aggregate Concrete. **Engineering Structures and Technologies**, [S. l.], v. 8, p. 31–40, 2016.

SERRI, E.; MYDIN, M. A. O.; SULEIMAN, M. Z. Thermal Properties of Oil Palm Shell Lightweight Concrete with Different Mix Designs. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, [S. l.], v. 70:1, p. 155–159, 2014.

SHI, J. *et al.* Temperature Effect on the Thermal Conductivity of Expanded Polystyrene Foamed Concrete: Experimental Investigation and Model Correction. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2019, 2019.

STRZAŁKOWSKI, J.; HALINA, G. Thermal and Strength Properties of Lightweight Concretes with the Addition of Aerogel Particles. **Advances in Cement Research**, [S. l.], v. 28, p. 567-575, 2016

Uysal, H. *et al.* The Effects of Different Cement Dosages, Slumps, and Pumice Aggregate Ratios on the Thermal Conductivity and Density of Concrete. **Cement and Concrete Research**, [S. l.], v. 34, p. 845–848, 2004.

XU, Y. *et al.* Experimental Study and Modeling on Effective Thermal Conductivity of EPS Lightweight Concrete. **Journal of Thermal Science and Technology**, [S. l.], v. 11, n. 2, 2016.

ZÁLESKÁ, M. *et al.* Lightweight Concrete Made with Waste Expanded Polypropylene-based Aggregate and Synthetic Coagulated Amorphous Silica. **Ceramics-Silikáty**, [S. l.], v. 62, p. 221-232, 2018.