

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Área de Construções Rurais e Ambiente

COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS LEVES COM REFORÇOS DE RESÍDUOS
INDUSTRIAIS

Carolina Pereira Dantas

Carolina Pereira Dantas

**COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS LEVES COM REFORÇOS DE RESÍDUOS
INDUSTRIAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obter o grau de Doutor.

Área de Concentração: Construções Rurais e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Antônio Farias Leal

Co-orientador: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

DEDICATÓRIA

*A todos que farão uso dos resultados alcançados.
A meus filhos, Maria, Pedro e Clívia ... , principais razões de meus esforços.*

AGRADECIMENTOS

Por estar inserido numa fase delicada da minha vida, o Doutorado possuiu um significado maior do que representava, em sua essência. Os quatro anos dedicados a esta pesquisa foram uma jornada de desafios, amadurecimento e construções, recheada de esforços, alegrias e descobertas, especialmente vividos. Dentro desse contexto, afirmo com convicção, que todas as pessoas que tive a sorte de encontrar e de conviver tiveram uma importância muito maior do que imaginam e/ou do que consegui demonstrar.

Existe uma expressão que diz que “a gratidão é a lembrança do coração”. Portanto, de coração, sou extremamente grata a cada um que cruzou meu caminho durante esta jornada, contribuindo diretamente e/ou me trazendo paz de espírito, beneficiando o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço principalmente a meu orientador, Prof. Dr. Antônio Leal (DEMAT-UFPB), pela oportunidade, pelos ensinamentos, orientação, atenção, encorajamento e amizade, essenciais durante todo esse tempo.

Ao co-orientador, Prof. Dr. Normando Perazzo (DEC-UFPB), um agradecimento especial por ter me incluído em um projeto que coordenava, me favorecendo com uma bolsa, pelos ensinamentos, pelas experiências, atenção, contribuição na orientação, amizade e incentivo.

Sou bastante grata ao Prof. Dr. Itamar Ferreira Silva (UADI-UFCG) pela amizade; pelas informações e experiências compartilhadas; além da imensa ajuda e atenção, desde o início do trabalho, sem as quais não teria conseguido alcançar o resultado que desejava. Obrigada também, pela construção dos desenhos das aplicações dos resultados.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (COPEAG-UFCG), pelos ensinamentos e amizade sempre renovada.

Agradeço ao Prof. Dr. Sandro Marden Torres (DEMAT-UFPB) pelas informações, orientações e ajudas prestadas.

Também agradeço aos funcionários do Laboratório de Reciclagem, em especial a Sr. Baiano, pela prontidão em ajudar nas tarefas mais pesadas, e a Sr. José Ferreira, da oficina da

UADI-UFCG, por cortar os corpos-de-prova com maior boa vontade, nas diversas vezes que precisei.

Agradeço aos que fazem o LABEME – UFPB, principalmente a Dra. Elisângela, pela amizade e apoio na realização dos ensaios de condutividade térmica.

Sou grata aos amigos Josileido, Suelen, Isabelle e Juliana pela contribuição nas realizações de ensaios de ATG, ATD, DRX e Granulometrias a lazer; e de também por, junto com Maria Luíza, Vilma, Andréa, Alessandra, Lourenço, Fernando, Itamar, outra Isabelle, outra Suelen, Flavinha, Iliana, Cibelle, Bruna, ... me proporcionarem maravilhosa companhia no dia-a-dia de trabalho. Amigos inesquecíveis

Para realização desse trabalho, por várias vezes, foi necessário deixar em segundo plano a atenção que dedicava aos filhos e à família. Mesmo assim, sempre contei com a compreensão, com o amor, encorajamento e apoio de todos. Obrigada Maria, Pedro e Vivi; meu pai (Manelito); tia Deda; Dantas e família; Inês e família; Joaquim e família; e; Daniel e família, por estarem sempre, verdadeiramente, ao meu lado. Também agradeço a meus tios, tias, primos e primas, pelo apoio, incentivo e bem-querer.

A D. Susy, Aninha, Susie, Guido, Duda e famílias; pessoas que tenho consideração e quero bem; agradeço pelo estímulo e torcida. A compreensão que tiveram me confortou, sendo muito importante durante todo tempo.

Obrigada Bilu, pelos cuidados com meus filhos.

Obrigada também, colegas da UEPB: Roberta, Raíza, Sandra, Léo, Ivana, Mozart, Érica, Luciene, Luciana, Mylene, Ricardo, Eunice, Yasmine, Camila, Andreza ... , pela torcida e amizade. Também, amigos inesquecíveis

Agradeço, intensamente, o acolhimento, apoio e incentivo que me foram dedicados, já na etapa final do trabalho, pela Prof.^a Dra. Márcia Izabel Cirne (DEQ-UEPB) e Prof. Dr. Kepler Borges França (UAEQ-UFCG), que, juntamente com todos que fazem o LABDES\UFCG, proporcionaram a segurança que eu precisava nesse momento, me ajudando a concluir o trabalho de forma mais tranquila. Obrigada pela confiança depositada em mim!

Agradeço a CAPES, em especial ao Programa Pró-Engenharias, pela concessão da bolsa.

Antoine de Saint-Exupéry diz: “Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós!”

Enfim, Muito Obrigada a todos que contribuíram para que eu conseguisse cumprir essa missão ... guardo comigo um bocado de vocês!

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xv
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 Objetivo geral.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 CENÁRIO DA CONSTRUÇÃO NO BRASIL.....	6
2.2 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NÃO CONVENCIONAIS.....	10
2.2.1 Materiais compósitos... ..	11
I Materiais compósitos com matriz cimentícia.....	11
I.1 Matrizes cimentícias reforçadas com fibras vegetais.....	12
II Materiais compósitos produzidos com resíduos industriais.....	15
II.1 Resíduos sólidos industriais.....	15
II.2 Resíduos da indústria calçadista.....	16
i) <i>Resíduo à base de SBR</i>	18
II.3 Compósitos leves fabricados com resíduos de EVA e SBR.....	20
2.3 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS ELABORADOS COM ESTRUTURA SANDUÍCHE.....	32
2.4 ISOLAMENTOS TÉRMICOS PARA CONSTRUÇÕES.....	36
2.4.1 Conforto térmico.....	36
2.4.2 Formas de transferência de calor.....	37
2.4.3 Propriedades térmicas dos materiais.....	38
2.4.4 Tipos de isolantes térmicos.....	39
2.4.5 Formas de isolantes térmicos.....	40
2.4.6 Características de um bom isolante térmico.....	43

2.4.7	Condutividade térmica de isolantes térmicos.....	44
2.4.8	Resistência térmica de isolantes térmicos.....	47
2.4.9	Alguns tipos de elementos construtivos para isolamentos térmicos...	49
2.4.10	Técnicas de caracterização térmica dos materiais.....	54
	I Métodos em regime permanente.....	54
	I.1 Método da placa quente protegida.....	54
	I.2 Método fluximétrico.....	56
	II Métodos em regime transiente.....	56
	II.1 Método do fio quente.....	56
	II.2 Sondas térmicas.....	57
	II.3 Método flash.....	57
	II.4 Método calorimétrico.....	57
2.5	ISOLAMENTOS TÉRMICOS E ACÚSTICOS ENCONTRADOS NO COMÉRCIO LOCAL.....	59
CAPÍTULO 3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	63
3.1	MATERIAIS.....	63
3.1.1	Aglomerantes.....	63
	I Cimento.....	63
	II Gesso.....	63
3.1.2	Materiais pozolânicos.....	64
	I Resíduo Cerâmico.....	64
	II Metacaulinita.....	65
3.1.3	Fibras de sisal.....	65
3.1.4	Agregado leve.....	66
	I Composto Estireno Butadieno – SBR	66
3.1.5	Água.....	67
3.1.6	Superplastificante.....	67
3.2	MÉTODOS.....	68
3.2.1	Preparação e caracterização dos materiais a serem usados.....	69
3.2.2	Avaliação de compósitos cimentícios reforçados com fibras de sisal.....	70
	I Otimização da composição adequada de uma matriz composta de	

cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, reforçada com fibras de sisal.....	70
i) <i>Determinação do teor adequado de superplastificante em misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.....</i>	71
ii) <i>Avaliação do consumo de hidróxido do cimento, pelas pozolanas utilizadas.....</i>	72
iii) <i>Determinação da resistência à compressão das misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.....</i>	74
iv) <i>Definição do teor adequado de incorporação de fibras de sisal na matriz de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.....</i>	74
II Comparação da matriz com cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, com uma matriz de gesso.	74
3.2.3 Estudo de compósitos formados por resíduos de SBR, em matrizes de cimento ou de gesso.....	74
I Definição da composição da granulometria do agregado leve e da relação água/material cimentício apropriadas.....	74
II Avaliação da influência do teor de incorporação do agregado leve e da pressão de moldagem, a serem utilizados na confecção dos compósitos.....	75
III Determinação da condutividade térmica nos traços otimizados dos compósitos de cimento:resíduos de SBR e de gesso:resíduos de SBR.....	75
3.2.4 Elaboração de estruturas, formadas pelos compósitos estudados: sugestões de técnicas de moldagem e análise de propriedades físico-mecânicas e condutividades térmicas.....	76
I Sugestões de técnicas de moldagem.....	76
II Propriedades físico-mecânicas das estruturas revestidas em uma face.....	77
III Propriedades físico-mecânicas das estruturas sanduíche.....	77
IV Determinação das condutividades térmicas das estruturas elaboradas.....	77
3.2.5 Proposta de elementos construtivos, baseada na análise das	

	características das estruturas elaboradas.....	77
3.3	NORMAS UTILIZADAS.....	77
CAPÍTULO 4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	80
4.1	PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	80
4.1.1	Aglomerantes e Materiais Pozolânicos.....	80
4.1.2	Agregado leve.....	84
4.1.3	Água.....	89
4.2	AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE SISAL.....	89
4.2.1	Otimização da composição adequada de uma matriz composta de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, reforçada com fibras de sisal.....	89
	I Determinação do teor adequado de superplastificante em misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.....	90
	II Avaliação do consumo de hidróxido de cálcio do cimento, pelas pozolanas utilizadas.....	93
	III Determinação da resistência à compressão das misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita: definição da mistura adequada.....	97
	IV Definição do teor adequado de incorporação de fibras de sisal, na matriz de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.....	99
4.2.2	Comparação da matriz com cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, com uma matriz de gesso.....	103
4.3	AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS FORMADOS POR RESÍDUOS DE SBR EM MATRIZES DE CIMENTO OU DE GESSO.....	106
4.3.1	Definição da composição da granulometria do agregado leve e da relação água/material cimentício apropriadas.....	107
4.3.2	Avaliação da influência do teor de incorporação do agregado leve e do nível da pressão de moldagem utilizados na confecção dos compósitos.....	112
	I Compósito de cimento e resíduos de SBR.....	112
	i) <i>Propriedades físico-mecânicas</i>	114
	ii) <i>Incrementos observados, devido à variação do teor de resíduos e</i>	

	<i>do nível de pressão de moldagem.....</i>	120
iii)	<i>Fatores de eficiência (Fef) segundo ROSSIGNOLO (2003).....</i>	122
iv)	<i>Análise visual.....</i>	124
II	<i>Compósito de gesso e resíduos de SBR.</i>	129
i)	<i>Propriedades físico-mecânicas.....</i>	129
ii)	<i>Incrementos observados, devido à variação do teor de resíduos e do nível de pressão de moldagem.....</i>	136
iii)	<i>Fatores de eficiência (Fef) segundo ROSSIGNOLO (2003).....</i>	139
iv)	<i>Análise visual.....</i>	140
III	<i>Otimização dos resultados.....</i>	145
i)	<i>Compósitos cimento:resíduos de SBR x compósitos gesso:resíduos de SBR.....</i>	145
i.1)	<i>Resistência à Flexão.....</i>	148
i.2)	<i>Densidade Aparente.....</i>	148
i.3)	<i>Capacidade de Absorção.....</i>	148
ii)	<i>Compósitos com resíduos de SBR x respectivas matrizes.....</i>	151
iii)	<i>Modelos matemáticos obtidos através de análises estatísticas.....</i>	153
IV	<i>Determinação da condutividade térmica nos traços otimizados dos compósitos de cimento:resíduos de SBR e de gesso:resíduos de SBR.....</i>	158
4.4	<i>ELABORAÇÃO DE ESTRUTURAS, FORMADAS PELOS COMPÓSITOS ESTUDADOS: SUGESTÕES DE TÉCNICAS DE MOLDAGEM E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E CONDUTIVIDADES TÉRMICAS.</i>	162
4.4.1	<i>Sugestões de técnicas de moldagem.....</i>	162
I	<i>Estruturas revestidas em uma face.....</i>	162
II	<i>Estruturas sanduíche.....</i>	164
II.1	<i>Técnica de moldagem A.....</i>	164
II.2	<i>Técnica de moldagem B.....</i>	166
4.4.2	<i>Propriedades físico-mecânicas.....</i>	168
I	<i>Estruturas revestidas em uma face.....</i>	168
i)	<i>Incrementos observados nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos com resíduos de SBR, provocados pelo revestimento</i>	

<i>em uma face</i>	177
ii) <i>Fatores de eficiência (Fef) segundo ROSSIGNOLO (2003)</i>	178
iii) <i>Condutividade térmica</i>	179
II Estruturas sanduíche.....	182
II.1 Técnica de moldagem A.....	182
i) <i>Incrementos observados, devido ao revestimento através da técnica A</i>	184
II.2 Moldadas com a técnica B.....	186
i) <i>Incrementos observados, devido ao revestimento através da técnica B</i>	187
II.3 Comparação entre as propriedades físico-mecânicas, das estruturas sanduíche elaboradas através das duas técnicas de moldagem sugeridas.....	189
i) <i>Fatores de eficiência (Fef) segundo ROSSIGNOLO (2003) das estruturas sanduíche, elaboradas através das duas técnicas de moldagem</i>	192
III Determinação das condutividades térmicas das estruturas sanduíche elaboradas.....	193
4.5 Comparação entre as propriedades físico-mecânicas dos compósitos e das estruturas elaboradas.....	196
4.6 Sugestão de elementos construtivos.....	202
4.6.1 Estruturas revestidas em uma face.....	202
I Placas com bordas que se encaixam.....	203
II Placas quadradas.....	203
4.6.2 Estruturas sanduíche.....	207
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES	210
CAPÍTULO 6 TRABALHOS JÁ PUBLICADOS \ SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	216
CAPÍTULO 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	218

COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS LEVES COM REFORÇOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

RESUMO

A prática do desenvolvimento sustentável é uma realidade presente em vários segmentos da sociedade. Nesse sentido, as construções devem ser ecologicamente corretas, socialmente justas, culturalmente aceitas e economicamente viáveis. Buscando a sustentabilidade, o uso de materiais de construção não convencionais é cada vez maior, principalmente para obras de interesse social. O presente trabalho teve como objetivo, desenvolver compósitos leves a partir de resíduos industriais do setor calçadista local, de resíduo cerâmico e de fibras de sisal, visando à elaboração de elementos construtivos para proteção térmica de alvenarias. Em uma primeira etapa, estudou-se a viabilização de uma matriz com baixa quantidade de hidróxido de cálcio formada por cimento e pozolanas disponíveis na região, visando seu reforço com fibras curtas de sisal, para uso como revestimentos. Comparou-se essa matriz com outra a base de gesso, reforçada com o mesmo teor dessas fibras. Posteriormente foram avaliados teores de incorporação de resíduos da indústria calçadista em matrizes de cimento e gesso, através da observação de propriedades físico-mecânicas. Foram testados três quantidades em cada matriz. Analisou-se também a pressão de moldagem adequada para esses compósitos. Nos traços otimizados foi verificada a condutividade térmica. Na terceira etapa do trabalho, elaborou-se estruturas em forma de placas, revestindo-se os compósitos com SBR em uma e em duas faces. Sugeriu-se uma técnica de moldagem para estruturas revestidas em uma face e duas técnicas para moldagem de estruturas sanduíche (revestidas nas duas faces). As propriedades físico-mecânicas e os valores de condutividade térmica foram avaliados. Uma vez caracterizadas as estruturas elaboradas, propôs-se o desenvolvimento de elementos construtivos como placas para revestimento térmico, para construção de paredes divisórias ou de forros. Notou-se que, todos os compósitos estudados e estruturas elaboradas puderam ser considerados leves, possuindo capacidade de isolar termicamente, com propriedades físico-mecânicas e condutividade térmica semelhantes à de elementos construtivos validados, existentes no mercado. Além do enfoque econômico e social, este estudo teve uma importância eco sustentável significativa, uma vez que procurou viabilizar a utilização de resíduos industriais e ainda propor o desenvolvimento de elementos construtivos que primam pela eficiência energética das construções rurais e urbanas.

Palavras-chave: compósitos cimentícios, fibras de sisal, resíduos industriais, SBR, resíduo cerâmico, estruturas sanduíche, isolamento térmico, elementos construtivos, sustentabilidade, construções rurais.

LIGHTWEIGHT CEMENTITIOUS COMPOSITES WITH INDUSTRIAL WASTE REINFORCEMENTS

ABSTRACT

The practice of sustainable development is a reality present in various segments of the society. In this sense, the constructions should be ecologically correct, socially fair, culturally acceptable and economically viable. Seeking sustainability, the use of non-conventional construction materials is increasing, especially for social interest constructions. The present study aimed to develop lightweight composites from industrial wastes from the local footwear sector, ceramic waste and sisal fibers, aiming at developing constructive elements for thermal protection of walls. In a first stage, the feasibility of a matrix with a low amount of calcium hydroxide formed by cement and pozzolan available in the region it was studied, aiming its reinforcement with short fibers of sisal, for use as coatings. It was compared with other matrix-based plaster, reinforced with the same content of these fibers. Later levels of waste incorporation of the footwear industry in matrices of cement and plaster were evaluated, through the observation of physical and mechanical properties. Three levels were tested in each array. The pressure suitable for forming such composites was also analyzed. In the optimized traces the thermal conductivity was verified. In the third stage of the study, were elaborated structures in the form of plates, coating the composites with SBR on one and on both sides. A technique for molding structures coated on one side was suggested and two techniques for molding sandwich structures (coated on both sides). The physical and mechanical properties and the thermal conductivity values were evaluated. Once the elaborated structures were characterized, the development of constructive elements such as plates for thermal coating, for construction of partition walls or ceilings, was proposed. It was noted that all composite structures prepared and studied could be considered lightweight, having the ability to thermally insulate, with physical and mechanical properties and thermal conductivity similar to the validated construction elements, existing in the market. Besides the social and economic approach, this study had a significant sustainable eco importance, since it sought to enable the utilization of industrial waste and propose the development of construction elements that excel in energy efficiency of urban and rural buildings.

Key-words: cementitious composites, sisal fibers, industrial waste, SBR, ceramic waste, sandwich structures, thermal insulation, construction elements, sustainability, rural buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Variação do PIB nacional e da construção civil (%) de 2004 até 2012.....	7
Figura 2.2	Detalhe do resíduo gerado durante o processo de fabricação de calçado (a), em forma de aparas e em pó (b).....	17
Figura 2.3	Termograma característico do SBR-r.....	19
Figura 2.4	Protótipo com uso dos blocos EVA na área externa do LABEME/CT/UFPB.....	25
Figura 2.5	Representação esquemática de uma placa sanduíche.....	32
Figura 2.6	Painéis sanduíche com recheio: (a) polimérico, (b) colmeia, (c) corrugado.....	33
Figura 2.7	Isolantes térmicos em forma de calhas.....	40
Figura 2.8	Isolantes térmicos em forma de mantas.....	40
Figura 2.9	Isolantes térmicos em forma de placas.....	41
Figura 2.10	Isolantes térmicos em forma de segmentos.....	41
Figura 2.11	Isolantes térmicos em forma de cordas.....	42
Figura 2.12	Isolantes térmicos em forma de papel.....	42
Figura 2.13	Isolantes térmicos em forma de granulados.....	42
Figura 2.14	Isolantes térmicos pré-formados.....	43
Figura 2.15	Comparação entre espessuras necessárias, de alguns materiais de construção, para uma mesma capacidade de isolamento térmico.....	43
Figura 2.16	Painel em estrutura sanduíche com núcleo de espuma rígida de (a) Poliuretano (PUR) ou de Poliisocianurato (PIR) ou (b) EPS e revestimento de aço pré-pintado ou inox.....	49
Figura 2.17	Painel isotérmico com núcleo de EPS, revestido por chapas finas de zinco, pré-pintadas.....	50
Figura 2.18	Painéis sanduíche (a) para fachadas e (b) para coberturas.....	50
Figura 2.19	Tijolos isolantes aluminosos ou sílico-aluminosos.....	51
Figura 2.20	Placa cimentícia reforçada com fios sintéticos.....	51
Figura 2.21	Painel EPS – Isolante e aplicações.....	52
Figura 2.22	Esquema do método da placa quente protegida.....	55
Figura 3.1	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) do resíduo cerâmico utilizado	64
Figura 3.2	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da fibra de sisal utilizada.....	65
Figura 3.3	Ensaio do cone de Marsh.....	72

Figura 3.4	Misturas submetidas à análise termogravimétrica, para avaliação do consumo do hidróxido de cálcio do cimento.....	73
Figura 3.5	Condutivímetro K 30.....	76
Figura 3.6	Fluxograma da execução do trabalho.....	79
Figura 4.1	Gráfico do ensaio de DRX dos aglomerantes utilizados: cimento e gesso.....	81
Figura 4.2	Gráfico do ensaio de DRX dos materiais pozolânicos utilizados.....	82
Figura 4.3	Análise Termogravimétrica e Térmica Diferencial dos aglomerantes e materiais pozolânicos utilizados.....	83
Figura 4.4	Granulometria por difração a laser do cimento CPIIF – 32 (a), do resíduo cerâmico (b) e da metacaulinita (c), utilizados.....	84
Figura 4.5	Granulometria do resíduo à base de SBR, proveniente de indústria calçadista de Campina Grande.....	85
Figura 4.6	Granulometria do resíduo à base de SBR, processado em um moinho de facas.	86
Figura 4.7	Densidade aparente das partículas de resíduo moído de SBR.....	87
Figura 4.8	Análise termogravimétrica de partículas de cinco granulometrias de resíduo moído de SBR.....	88
Figura 4.9	Etapas da mistura de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, (a) com fator α_{mc} de 0,4 (b) com superplastificante.....	90
Figura 4.10	Gráfico do Log dos tempos de escoamento x teores de superplastificante (Método AFREM), do Ensaio do Cone de Marsh para M 100, para M 80 10 10 e para M 50 20 30.....	91
Figura 4.11	Tempos de escoamento do ensaio do cone de Marsh para M 100, para M 80 10 10 e para M 50 20 30.....	92
Figura 4.12	Análises Termogravimétrica (ATG) e Térmica Diferencial (ATD) da mistura M100 (contendo apenas água e cimento).....	93
Figura 4.13	Análises Termogravimétrica (ATG) e Térmica Diferencial (ATD) das misturas M 90 10 0, M 80 20 0, M 70 30 0, M 60 40 0 (contendo cimento e resíduo cerâmico moído).....	94
Figura 4.14	Análises Termogravimétrica (ATG) e Térmica Diferencial (ATD) das misturas M 90 0 10, M 80 0 20, M 70 0 30, M 60 0 40 (contendo cimento e metacaulinita).....	95
Figura 4.15	Análises Termogravimétrica (ATG) e Térmica Diferencial (ATD) das misturas M	

	80 10 10, M 60 10 30, M 60 30 10, M 60 20 20, M 50 20 30 e M 40 30 30 (contendo cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita).....	96
Figura 4.16	Resistência à compressão das misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.....	98
Figura 4.17	Mistura de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, com superplastificante, incorporadas fibras de sisal.....	99
Figura 4.18	Corpo de prova com matriz de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, contendo (a) 2% e (b) 3% de fibras de sisal.....	101
Figura 4.19	Resistência à flexão, Tenacidade e Absorção da matriz M 50 20 30, reforçada com 1%, 2% e 3% de fibras de sisal.....	102
Figura 4.20	Fator eficiência da resistência à flexão, da tenacidade e fator de absorção da matriz M 50 20 30, reforçada com 1%, 2% e 3% de fibras de sisal.....	103
Figura 4.21	Corpos de prova da matriz de gesso, reforçada com 2% de fibras de sisal, que foram submetidos ao ensaio de flexão.....	104
Figura 4.22	Absorção, índice de vazios, densidade aparente, resistência à flexão e tenacidade das matrizes M 50 20 30 e de Gesso, reforçadas com 2% de fibras de sisal.....	105
Figura 4.23	Fator de Absorção e Fator Eficiência da Resistência à Flexão e da Tenacidade das matrizes M 50 20 30 e de Gesso, reforçadas com 2% de fibras de sisal.....	106
Figura 4.24	Propriedades físico-mecânicas de compósitos de cimento e resíduos de SBR, moldados com teor α_{mc} de 0,4.....	109
Figura 4.25	Corpos de prova cilíndricos com traço 1:1:0,4 de cimento e resíduo de SBR com granulometria 345, submetidos ao ensaio de compressão simples.....	110
Figura 4.26	Corpos de prova prismáticos com traço 1:1:0,4 (a) granulometria resíduo SBR 345 (b) granulometria resíduo SBR 3456 (c) granulometria resíduo SBR 34567..	110
Figura 4.27	Etapas da mistura para moldagens dos corpos de prova com matriz de cimento e resíduos de SBR de granulometria 345.....	112
Figura 4.28	Ensaio de flexão em corpo de prova de matriz de cimento com resíduo de SBR, de granulometria 345.....	113
Figura 4.29	Corpos de prova de matriz de cimento com resíduos de SBR de granulometria 345, de traço 1:1:0,4 (a) submetido à pressão de moldagem N3 e (b) sem pressão de moldagem (N0).....	113
Figura 4.30	Corpos de prova submetidos ao ensaio de absorção.....	114

Figura 4.31	Resistência à Compressão Simples da matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345.....	116
Figura 4.32	Curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR estudados, variando-se o nível de pressão de moldagem aplicados (N0, N1, N2, N3): (a) 1:1:0,4 (b) 1:0,5:0,4 (c) 1:0,25:0,4.....	117
Figura 4.33	Absorção e Índice de Vazios da matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345.....	118
Figura 4.34	Resistência à flexão, Absorção, Tenacidade e Densidade Aparente dos compósitos cimento:resíduos de SBR.....	119
Figura 4.35	Fator de Eficiência da Resistência à flexão, Fator de Absorção e da Densidade Aparente dos compósitos cimento:resíduos de SBR.....	123
Figura 4.36	Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:1:0,4 (a) Pressão de moldagem N1, (b) Pressão de moldagem N2, (c) Pressão de moldagem N3.....	125
Figura 4.37	Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,5:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.....	125
Figura 4.38	Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,25:0,4 (a) Pressão de moldagem N3, (b) Pressão de moldagem N2, (c) Pressão de moldagem N1, (d) Pressão de moldagem N0.....	125
Figura 4.39	Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:1:0,4 (a) Pressão de moldagem N1, (b) Pressão de moldagem N2, (c) Pressão de moldagem N3.....	126
Figura 4.40	Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,5:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.....	127
Figura 4.41	Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,25:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.....	128
Figura 4.42	Corpos de prova moldados com matriz de gesso e resíduos de SBR com granulometria 345: (a) durante a cura (b) após ensaio de resistência à flexão.....	129
Figura 4.43	Resistência à Compressão simples da matriz de gesso com incorporação de	

	resíduo de SBR, na granulometria 345.....	131
Figura 4.44	Curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos gesso:SBR estudados, variando-se o nível de pressão de moldagem aplicados (N0, N1, N2, N3): (a) 1:1:0,4 (b) 1:0,5:0,4 (c) 1:0,25:0,4.....	133
Figura 4.45	Absorção e Índice de Vazios da matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR.....	135
Figura 4.46	Resistência à Flexão, Tenacidade, Absorção e Densidade aparente da matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR.....	136
Figura 4.47	Resultados dos fatores, segundo ROSSINOLLO, das propriedades do compósito de gesso e resíduo de SBR para utilização na elaboração de elementos construtivos leves.....	140
Figura 4.48	Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:1:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.....	141
Figura 4.49	Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,5:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.....	141
Figura 4.50	Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,25:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.....	141
Figura 4.51	Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:1:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.....	142
Figura 4.52	Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,5:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.....	143
Figura 4.53	Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,25:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.....	144
Figura 4.54	Comparação das propriedades dos compósitos cimento:resíduos de SBR e gesso:resíduos de SBR.....	146
Figura 4.55	Comparação dos fatores de eficiência das propriedades dos compósitos	

	cimento:resíduos de SBR e gesso:resíduos de SBR.....	147
Figura 4.56	Microscopia eletrônica de varredura nos compósitos de traço 1:0,5 e pressão de moldagem de nível N1; utilizando-se cimento (a) ou gesso (b) como aglomerante.	150
Figura 4.57	Propriedades físico-mecânicas das pastas de cimento e gesso, moldadas com fator a/agl de 0,4 e pressão de 0,16 MPa. Comparação com compósitos com SBR.....	152
Figura 4.58	Condutividade térmica x densidade aparente de compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, moldados sem pressão e com pressão N1.....	160
Figura 4.59	Etapas da moldagem de estruturas, em forma de placas, de compósitos de cimento:resíduos de SBR, revestidos em uma face.....	162
Figura 4.60	Etapas da moldagem de estruturas, em forma de placas, de compósitos de gesso:resíduos de SBR, revestidos em uma face.....	162
Figura 4.61	Estruturas revestidas em uma face: (a) compósito cimento:resíduos de SBR, revestido com M 50 20 30, fator a/mc 0,4; teor de 2,8% de superplastificante e 2% de fibras de sisal curtas; (b) compósito gesso:resíduos de SBR revestido com outro compósito formado por gesso, fator a/mc 0,7 e 2% de fibras de sisal curtas..	163
Figura 4.62	Técnica A de moldagem de estruturas sanduíche - etapas.....	164
Figura 4.63	Revestimentos do compósito cimento:resíduos de SBR revestido com M 50 20 30 reforçado com 2% de fibras de sisal, moldado com a técnica A: (a) face 1 e (b) face 2.....	164
Figura 4.64	Estruturas sanduíche elaboradas com a técnica de moldagem A: (a) compósito cimento:resíduos de SBR; revestido com M 50 20 30; fator água/material cimentício de 0,4; teor de 2,8% de superplastificante e 2% de fibras de sisal; (b) compósito gesso:resíduos de SBR revestido com gesso; fator água/gesso de 0,7; e 2% de fibras de sisal.....	165
Figura 4.65	Técnica B de moldagem de estruturas sanduíche – etapas.....	166
Figura 4.66	Estruturas sanduíche elaboradas com a técnica de moldagem B: (a) compósito cimento:resíduos de SBR; revestido com M 50 20 30; fator água/material cimentício de 0,4; com 2,8% de superplastificante e 2% de fibras de sisal; (b) compósito gesso:resíduos de SBR revestido com gesso; fator água/gesso de 0,7 e 2% de fibras de sisal.....	167
Figura 4.67	Estrutura em forma de placa de cimento:resíduos de SBR de granulometria 345, revestida em uma face com a mistura M 50 20 30, fator a/mc 0,4; 2,8% de	

	superplastificante e 2% de fibras de sisal curtas (a) face revestida e (b) vista lateral (c) face sem revestimento.....	168
Figura 4.68	Estrutura em forma de placa de matriz de gesso com resíduos de SBR de granulometria 345, revestida em uma face com o compósito de gesso, fator a/mc 0,7 e 2% de fibras de sisal curtas (a) face revestida e (b) vista lateral (c) face sem revestimento.....	168
Figura 4.69	Corpos de prova para ensaio de flexão: (a) compósito cimento:resíduos de SBR, revestidos em uma face, com a mistura M 50 20 30, fator a/mc 0,4; 2,8 % de superplastificante e 2% de fibras de sisal curtas (b) compósito gesso:resíduos de SBR, revestidos em uma face com compósito formado por gesso, fator a/mc 0,7 e 2% de fibras de sisal curtas.....	169
Figura 4.70	Ensaio de Flexão de compósitos gesso:resíduos de SBR revestidos em uma face por outro compósito formado por gesso, fator água\gesso de 0,7 e 2% de fibras de sisal.....	170
Figura 4.71	Estrutura revestida em uma face. Interface entre o revestimento e o compósito com resíduo de SBR: (a) com cimento (b) com gesso.....	171
Figura 4.72	Curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, revestidos em uma face, estudados.....	173
Figura 4.73	Tenacidade (J), Resistência à flexão (MPa), Absorção (%) e Densidade/100 (Kgm^3) das estruturas revestidas em uma face, formadas pelos compósitos estudados.....	174
Figura 4.74	Absorção e Índice de vazios das estruturas elaboradas com compósitos de cimento:SBR e gesso:SBR, revestidos em uma face.....	175
Figura 4.75	Comportamento da Tenacidade (J), da Resistência à flexão (MPa), da Absorção(%) e da Densidade (Kgm^3) dos compósitos com resíduos de SBR, após o revestimento em uma face.....	176
Figura 4.76	Condutividade térmica x densidade aparente dos compósitos sem revestimentos otimizados e das estruturas revestidas em uma face estudadas.....	180
Figura 4.77	Curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, revestidos em duas faces através da técnica A de moldagem, estudados.....	184
Figura 4.78	Curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR e	

	gesso:SBR, revestidos em duas faces através da técnica B de moldagem, estudados.....	187
Figura 4.79	Resistência à Flexão, Tenacidade e Densidade Aparente das estruturas sanduíche moldadas através das técnicas A e B, utilizando os compósitos estudados.....	190
Figura 4.80	Absorção e Índice de vazios das estruturas sanduíche moldadas através das técnicas A e B, utilizando os compósitos estudados.....	191
Figura 4.81	Condutividade térmica das estruturas sanduíche, elaboradas.....	195
Figura 4.82	Propriedades físico-mecânicas das estruturas elaboradas.....	199
Figura 4.83	Fatores de Eficiência das propriedades físico-mecânicas das estruturas elaboradas	200
Figura 4.84	Comparação entre os valores das condutividades térmicas das estruturas estudadas.....	201
Figura 4.85	Elementos construtivos em forma de pequenas placas com bordas encaixáveis.....	203
Figura 4.86	Elementos construtivos, em forma de placas, elaborados com compósitos de cimento e SBR, revestidos em uma face.....	204
Figura 4.87	Elementos construtivos, em forma de placas, elaborados com compósitos de gesso e SBR, revestidos em uma face.....	204
Figura 4.88	Elementos construtivos coloridos, em forma de placas, desenvolvidos com estruturas revestidas em uma face.....	205
Figura 4.89	Parede com isolamento térmico formado pelas estruturas revestidas em uma face.	206
Figura 4.90	Forro formado pelas estruturas revestidas em uma face.....	206
Figura 4.91	Vista lateral dos elementos construtivos, em forma de placas, desenvolvidos com estruturas sanduíche.....	207
Figura 4.92	Elementos construtivos coloridos, desenvolvidos com estruturas sanduíche.....	208
Figura 4.93	Parede divisória formada pelas estruturas sanduíche.....	208

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Características de concretos leves segundo algumas normas ou recomendações...	22
Tabela 2.2	Materiais utilizados em estudos de compósitos à base de matrizes de gesso.....	28
Tabela 2.3	Valores de fluxos de calor, através de uma alvenaria.....	29
Tabela 2.4	Alguns compósitos estudados, citados.....	30
Tabela 2.5	Propriedades termomecânicas típicas de espumas e plásticos expandidos e madeira do tipo balsa que comumente utilizados como núcleos em estruturas sanduíche.....	34
Tabela 2.6	Propriedades de materiais tipicamente utilizados em faces de elementos do tipo sanduíche.....	35
Tabela 2.7	Condutividade térmica, densidade e calor específico de alguns materiais.	46
Tabela 2.8	Resistências térmicas para espessuras comuns de alguns materiais de construção homogêneos, considerados como isolantes térmicos.....	48
Tabela 2.9	Dimensões dos Painéis EPS – Isolante.....	53
Tabela 2.10	Características de chapas padrão de gesso acartonado.....	53
Tabela 2.11	Isolamentos térmicos, validados, encontrados no comércio local.....	59
Tabela 3.1	Características físicas do cimento Portland CP II F – 32.....	63
Tabela 3.2	Características físicas da metacaulinita utilizada.....	65
Tabela 3.3	Propriedades físicas e mecânicas de fibras de sisal (TOLÊDO FILHO, 1997).....	66
Tabela 3.4	Propriedades físicas e mecânicas de fibras de sisal (MOTA et al, 2007).....	66
Tabela 3.5	Misturas submetidas à análise termogravimétrica, para avaliação do consumo do hidróxido de cálcio do cimento.....	73
Tabela 3.6	Normas utilizadas durante o trabalho.....	78
Tabela 4.1	Características químicas dos aglomerantes e materiais pozolânicos utilizados, determinadas através da análise química por fluorescência de raios X (EDX).....	80
Tabela 4.2	Composição granulométrica do resíduo à base de SBR.....	85
Tabela 4.3	Composição granulométrica do resíduo à base de SBR, processado em moinho de facas.....	86
Tabela 4.4	Densidade aparente das partículas de resíduo moído de SBR.....	87
Tabela 4.5	Análise físico-química da água utilizada.....	89
Tabela 4.6	Tempos de escoamento do ensaio do cone de Marsh para M 100, para M 80 10 10 e para M 50 20 30.....	91

Tabela 4.7	Valores de perda de massa, através de análise termogravimétrica, referentes à presença de hidróxido de cálcio nas misturas de cimento e pozolanas.....	97
Tabela 4.8	Resistência à compressão das misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.....	98
Tabela 4.9	Resultados da avaliação da matriz M 50 20 30 com diferentes teores de incorporação de fibras de sisal.....	100
Tabela 4.10	Fator eficiência da resistência à flexão e da tenacidade, e, fator de absorção da matriz M 50 20 30 com incorporação de diferentes teores de fibras de sisal.....	101
Tabela 4.11	Resultados dos ensaios de resistência à flexão e de absorção, da matriz de gesso e da matriz de cimento e pozolanas, com incorporação de 2% de fibras de sisal.....	104
Tabela 4.12	Fator eficiência da resistência à flexão e da tenacidade e fator de absorção, da matriz de gesso e da matriz M 50 20 30, com incorporação de 2% de fibras de sisal.....	105
Tabela 4.13	Resultados do estudo para composição da granulometria do resíduo de SBR e do fator a/mc, para utilização na elaboração dos compósitos.....	108
Tabela 4.14	Fator eficiência (Fef) das resistências à compressão simples e flexão, para definição da composição da granulometria do resíduo de SBR.....	109
Tabela 4.15	Resistência à compressão simples dos compósitos de cimento e SBR, no traço 1:1:0,3 e 0,6% de superplastificante.....	111
Tabela 4.16	Resultados do estudo do compósito de cimento e resíduo de SBR para utilização na elaboração de elementos construtivos leves.....	115
Tabela 4.17	Incrementos observados, para cada nível de pressão de moldagem, na resistência à flexão, na densidade aparente e na absorção dos compósitos de cimento e SBR, em decorrência da variação do teor de resíduos.....	120
Tabela 4.18	Incrementos observados, para cada teor de resíduos incorporado, na resistência à flexão, na densidade aparente e na absorção dos compósitos de cimento e SBR, em decorrência da variação da pressão de moldagem utilizada.....	121
Tabela 4.19	Resultados dos fatores, segundo ROSSINOLLO, de propriedades do compósito de cimento e resíduo de SBR para utilização na elaboração de elementos construtivos leves.....	122
Tabela 4.20	Resultados do estudo do compósito de gesso e resíduo de SBR, para utilização na elaboração de elementos construtivos leves.....	130

Tabela 4.21	Incrementos observados, para cada nível de pressão de moldagem, na resistência à flexão, na densidade aparente e na absorção dos compósitos de gesso e SBR, em decorrência da variação do teor de resíduos.....	137
Tabela 4.22	Incrementos observados, para cada teor de resíduos incorporado, na resistência à flexão, na densidade aparente e na absorção dos compósitos de gesso e SBR, devido à variação da pressão de moldagem utilizada.....	138
Tabela 4.23	Resultados dos fatores, segundo ROSSINOLLO, das propriedades do compósito de gesso e resíduo de SBR para utilização na elaboração de elementos construtivos leves.....	139
Tabela 4.24	Propriedades físico-mecânicas das pastas de cimento e gesso, moldadas com fator λ_{agl} de 0,4 e pressão de 0,16 MPa. Comparação com os compósitos com SBR, otimizados.....	151
Tabela 4.25	Incrementos observados, pela incorporação de resíduos de SBR nas matrizes de cimento e de gesso.....	152
Tabela 4.26	Fatores de eficiência da resistência à flexão e da tenacidade, e, fatores de absorção e de densidade aparente, segundo ROSSIGNOLO (2003), das matrizes de gesso e cimento utilizadas.....	153
Tabela 4.27	Condutividade térmica de compósitos cimento:SBR e gesso:SBR.....	158
Tabela 4.28	Valores dos incrementos na condutividade térmica dos compósitos com SBR, provocados pela aplicação de pressão de moldagem de nível N1.....	160
Tabela 4.29	Fatores de condutividade térmica dos compósitos com SBR, provocados pela aplicação de pressão de moldagem de nível N1.....	161
Tabela 4.30	Propriedades físico-mecânicas de compósitos cimento:resíduos de SBR e gesso:resíduos de SBR revestidos em uma face.....	172
Tabela 4.31	Incrementos provocados pelos revestimentos em uma face, nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR.....	177
Tabela 4.32	Fatores eficiência da resistência à flexão e da tenacidade e fatores de absorção, índice de vazios e densidade, das estruturas elaboradas com compósitos revestidos em uma face.....	178
Tabela 4.33	Condutividade térmica das estruturas revestidas em uma face.....	179
Tabela 4.34	Valores dos incrementos na condutividade térmica dos compósitos com SBR, provocados pelo revestimento em uma face.....	181

Tabela 4.35	Fator da condutividade térmica das estruturas revestidas em uma face.....	181
Tabela 4.36	Propriedades analisadas nas estruturas sanduíche, elaboradas com os compósitos estudados, moldadas através da técnica A.....	183
Tabela 4.37	Incrementos observados nas propriedades das estruturas sanduíche, elaboradas com compósito de cimento:SBR e gesso:SBR, moldadas com a técnica A; em relação aos mesmos compósitos, sem revestimentos e revestidos em uma face.....	185
Tabela 4.38	Propriedades analisadas nas estruturas sanduíche elaboradas com os compósitos cimentícios estudados, moldadas com a técnica B.....	186
Tabela 4.39	Incrementos observados nas propriedades das estruturas sanduíche, elaboradas com compósito de cimento:SBR através da técnica B de moldagem; em relação aos mesmos compósitos sem revestimentos, revestidos em uma face e revestidos em duas faces através da técnica de moldagem B.....	188
Tabela 4.40	Fatores eficiência de propriedades físico-mecânicas das estruturas sanduíche elaboradas.....	192
Tabela 4.41	Condutividade térmica das estruturas sanduíche, elaboradas.....	193
Tabela 4.42	Incrementos provocados na condutividade térmica dos compósitos, devido ao revestimento nas duas faces.....	195
Tabela 4.43	Propriedades físico-mecânicas dos compósitos e estruturas estudados.....	197
Tabela 4.44	Eficiência das propriedades físico-mecânicas dos compósitos e estruturas estudados.....	198

LISTA DE SÍMBOLOS

M – Mistura \ Matriz

CIM – Cimento

RC – Resíduo Cerâmico

MC – Metacaulinita

SBR – Resíduo da indústria calçadista à base de SBR

agl – Aglomerante

sp – Superplastificante

a\agl – Teor de água em relação ao de aglomerante

PUR – Poliuretano

PIR – Poliisocianurato

EPS – Poliestireno Expandido

RF – Resistência à Flexão

RCS – Resistência à Compressão Simples

Fef – Fator de Eficiência

TA – Técnica A de moldagem de estruturas sanduíche

TB – Técnica B de moldagem de estruturas sanduíche

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – Generalidades

Os recursos naturais do planeta, vistos como ilimitados, estão sendo, cada vez mais, explorados pelo homem de forma indisciplinada, provocando escassez e consequente degradação do meio ambiente. Devido a isso, a questão ambiental tornou-se uma preocupação de governos, organizações, empresas e instituições de pesquisas.

A prática do desenvolvimento sustentável é uma realidade presente em vários segmentos da sociedade. Nesse novo milênio, para uma empresa sobreviver, deverá possuir o diferencial de preservar o meio ambiente, além de fornecer serviços ou apresentar produtos com qualidade e respeito ao consumidor, atendendo as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de satisfazer as necessidades das futuras gerações, evitando-se assim, abusos na exploração e no consumo dos recursos naturais.

Além do consumo de recursos naturais, outro fator importante, para questão ambiental, é a geração de resíduos sólidos nas cidades, devido ao processo de urbanização e ao crescimento das atividades industriais.

O setor da construção, apesar de não gerar resíduos sólidos nocivos para a vida humana, é responsável pelo consumo de 75% dos recursos naturais do planeta. Aproximadamente 40% da energia gasta no mundo são destinados à construção, e ao funcionamento, de casas e apartamentos (INDICADORES SRV)

Como nas mais diversas áreas da ciência, em busca do desenvolvimento de tecnologias eco sustentáveis, pesquisas no setor de construções tem sido intensificadas ultimamente, visando à obtenção de materiais de alta eficiência energética, fabricados com resíduos sólidos industriais ou oriundos de fontes renováveis, que tenham bom desempenho e atendam às expectativas atuais de durabilidade e resistência.

A reciclagem e/ou a reutilização de resíduos industriais, têm sido objeto de pesquisas em diversas instituições que buscam soluções que conciliem vários aspectos, como custo de deposição, tratamentos, tipo e quantidade de resíduos, tecnologia e processos de utilização e, finalmente, o impacto econômico e ambiental da reciclagem.

O uso de materiais não convencionais, para construção civil, produzidos com resíduos industriais, é cada vez maior, principalmente para obras de interesse social. Isso se deve, tanto ao alto déficit habitacional e à carência de uma melhor infraestrutura rural e urbana, quanto ao aumento da produção em segmentos produtivos como os calçadistas, químicos e metalúrgicos.

Outros fatores básicos importantes, segundo a ABRAMAT, são:

- à possibilidade de desenvolvimento de materiais de baixo custo a partir de subprodutos industriais, disponíveis localmente, através da investigação de suas potencialidades; e
- à interface direta do setor da construção com a cadeia produtiva fornecedora de insumos, bem minerais, e, indiretamente, através do potencial uso de materiais e processos que causem mínimo impacto na cadeia produtiva.

O segmento calçadista do setor industrial da Paraíba apresentou um alto crescimento na última década. O grande volume de resíduos gerados nas suas atividades constitui um sério problema ambiental, demandando alternativas para um tratamento mais adequado, que não seja simplesmente encaminhá-los para aterros clandestinos (FGV, 2012). Devido à baixa densidade do material, para armazenagem do grande volume desses resíduos gerados, se faz necessário a disponibilidade de uma área com grandes dimensões. Em apenas uma das indústrias na Paraíba, que tem grande produção (cerca de 132 milhões de sandálias/ano), são gerados em torno de 200 t/mês de resíduos (POLARI FILHO, 2005). Normalmente, o destino desses resíduos tem sido alimentar fornos de indústrias de cimento.

Os resíduos do setor industrial calçadista são possíveis de serem reciclados e transformados em material que pode ser usado no processo produtivo da indústria da construção civil, sendo, portanto, uma solução inovadora, tecnologicamente eficiente e ecologicamente correta. Esse material poderá ser utilizado como agregado sintético leve, para fabricação de compósitos cimentícios (BEZERRA, 2002)

Visando o desenvolvimento sustentável, outro tipo de material, também indicado para adequação e uso em construções de interesse social, rurais e urbanas, são os compósitos cimentícios não convencionais, como fibrocimentos, com reforço de fibras vegetais. Há mais de vinte anos vêm sendo estudados por muitos grupos de pesquisas, em todo o mundo.

A utilização da fibra de sisal, como reforço de fibrocimentos, é estratégica para o desenvolvimento nacional, uma vez que o Brasil é considerado o maior produtor e exportador

de fibras e manufaturados de sisal, com 58% da produção e 70% da exportação. A cultura dessa planta é de fundamental importância na economia nordestina, porque pode tornar produtivas regiões semiáridas, sem alternativas econômicas e baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Sendo fator de sobrevivência, possibilita empregar grande volume de mão-de-obra, contribuindo para fixar o homem no campo. Estima-se que a cadeia produtiva já empregou cerca de 600 mil pessoas (SANTIAGO, 2002). A exportação de sisal chegou a representar para o país, receitas superiores a 100 milhões de dólares. Apesar do declínio na produção nos últimos anos, ainda era em 2001 o maior produto de exportação do estado da Paraíba e o 12º na pauta de exportações do estado da Bahia, ficando atrás apenas dos produtos petroquímicos e dos derivados do cacau (SUDENE, 2001).

Sendo a fibra natural vegetal de maior resistência à tração, apresentando um potencial estrutural importante, o sisal precisa ser mais estudado e explorado (TOLEDO FILHO, 1997).

Portanto, considerando-se a hipótese de que o resíduo da indústria calçadista possui baixa massa específica, tem boas características térmicas, é estável, inerte, não suscetível a fungos e pode ser aproveitado como agregado sintético para elaboração de compósitos leves, e, ainda que, a produção de fibra de sisal deve ser novamente estimulada em nossa região através de um maior aproveitamento de seus produtos e subprodutos, de forma inovadora, na tentativa de agregar valor a tais produtos; pretende-se então, dar continuidade a estudos que vêm sendo realizadas por grupos de pesquisas em universidades da Paraíba e de outros estados.

No entendimento de que o setor da construção tem grande potencial para aproveitamento de vários tipos de resíduos e subprodutos, utilizando-se das propriedades desses materiais, este trabalho visa o desenvolvimento de compósitos para a produção de elementos construtivos leves, principalmente para uso como isolamento térmico em construções rurais e urbanas.

Além do enfoque econômico e social, este estudo tem uma importância eco sustentável significativa, uma vez que procura viabilizar a utilização de resíduos industriais e ainda propor o desenvolvimento de elementos construtivos que primam pela eficiência energética das construções.

1.2 – Objetivos

1.2.1 - Objetivo Geral

Desenvolver compósitos leves, a partir de resíduos industriais do setor calçadista local (compostos de SBR), de resíduo cerâmico e de fibras de sisal, visando à elaboração de elementos construtivos para proteção térmica de alvenarias, buscando eficiência energética em edificações rurais e urbanas.

1.2.2 - Objetivos Específicos

1) Otimizar a composição adequada de uma matriz de cimento e pozolanas disponíveis na região, visando maior durabilidade da fibra de sisal que será utilizada como reforço. Analisar a influência de teores de incorporação das fibras, nessa matriz, para o desenvolvimento de compósitos que serão utilizados como revestimentos. Comparar com uma matriz de gesso.

2) Observar a influência da incorporação de diferentes teores de resíduos de SBR em matrizes de cimento e gesso, na formação de compósitos. Avaliar níveis de pressão de moldagem para esses compósitos.

3) Elaborar estruturas formadas pelos compósitos estudados, visando à produção de elementos construtivos. Avaliar técnicas de moldagem e realizar ensaios para caracterização dessas estruturas, através da análise de suas propriedades físico-mecânicas e condutividades térmicas.

4) Propor elementos construtivos, baseados na análise das características das estruturas estudadas.

1.3 - Apresentação do Trabalho

O presente trabalho se divide em 6 capítulos:

Fazem parte deste Capítulo 1: uma introdução sobre o tema abordado, a descrição dos objetivos e a apresentação do trabalho.

No Capítulo 2 encontra-se uma revisão da literatura, contendo: observações sobre o cenário atual da construção no Brasil, trechos de estudos relacionados ao uso de fibras

vegetais como reforço de compósitos, além de citações de trabalhos que avaliaram a utilização da incorporação de resíduos sólidos industriais na elaboração de materiais de construção não convencionais. Neste capítulo também foi feito um levantamento sobre alguns produtos validados, existentes no mercado, que servem como isolantes térmicos.

No Capítulo 3 encontra-se uma descrição dos materiais usados durante o trabalho, além da metodologia utilizada.

Estão apresentados no Capítulo 4, os resultados obtidos, com discussões, de acordo com os objetivos propostos.

No Capítulo 5 estão conclusões obtidas.

No Capítulo 6 foram listados os trabalhos já publicados e feitas sugestões para trabalhos futuros.

Referências bibliográficas e encontram-se no final do trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - CENÁRIO DA CONSTRUÇÃO NO BRASIL

A expansão do mercado imobiliário brasileiro, nos últimos anos, tem sido acompanhada por uma contínua busca por novas tecnologias, que vêm possibilitando uma maior produtividade, economia e redução dos impactos ao meio ambiente. Esta preocupação não atinge apenas às construtoras, mas sim a todos os setores que compõem a cadeia produtiva da construção.

No período de 2004 a 2008 a taxa média de crescimento do PIB do país foi de 4,8%. No mesmo espaço de tempo, a construção civil cresceu em uma taxa média de 5,1%, sendo assim, um resultado expressivo para um setor que passou por décadas de estagnação. Simultaneamente, em 2008, o déficit habitacional era de aproximadamente 5,6 milhões de moradias, concentrado nas faixas de menores rendas, fazendo com que, como única forma de combater esta mazela social, fossem criados sistemas de financiamento sólidos, capazes de atender as necessidades desta camada da população.

Em 2009, o setor da construção civil sofreu com os impactos da crise econômica, porém, mesmo assim, desempenhou um papel anticíclico na economia nacional, devido a incentivos por parte do governo, como políticas fiscais (redução no IPI de alguns materiais de construção) e introdução de programas como o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) e Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) que, além do caráter social, tinham o objetivo de aquecer a economia. A Lei 11.977/2009 (PMCMV) representou marco legal para habitação de interesse social e consolidou o financiamento da construção de novas unidades habitacionais como principal instrumento de combate ao déficit habitacional. A continuidade desses programas de incentivo e o aquecimento das atividades ajudaram o setor a alcançar o desempenho recente (INDICADORES SRV; MTE).

O ano de 2010 também se caracterizou como um marco importante na história da cadeia produtiva da construção, gerando R\$ 297.634 milhões de reais e empregando cerca de 11.317.050 pessoas (FGV).

Em 2011, os números, como esperado, entraram em um patamar de equilíbrio e sustentabilidade. A construção civil caracterizou-se por um processo natural de acomodação

das atividades, buscando o ponto de equilíbrio sustentável do crescimento setorial (MTE). De acordo com os dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no acumulado dos primeiros nove meses de 2011, o PIB da construção apresentou incremento de 3,8% em relação à igual período do ano anterior, caracterizando o setor como um dos motores do crescimento do País. Os dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED/MTE) também confirmam que a construção civil registrou números positivos em seu mercado de trabalho, em 2011.

Em 2012, o Produto Interno Bruto (PIB) do País cresceu 0,9% e o setor da construção civil atingiu crescimento de 1,4% em relação ao ano anterior.

A figura 2.1 ilustra o comportamento do PIB do Brasil e do setor da construção civil, brasileiro, no período compreendido entre 2004 e 2012.

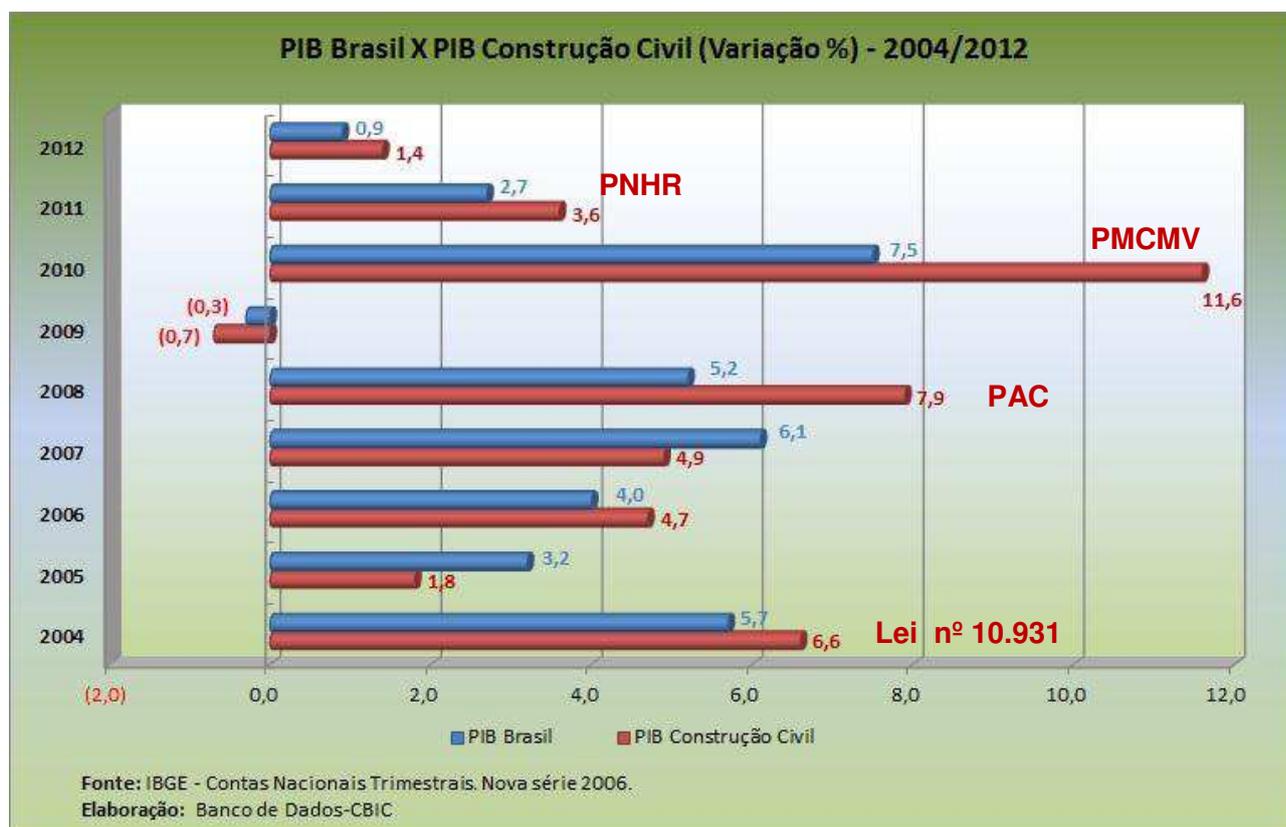


FIGURA 2.1 – Variação do PIB nacional e da construção civil (%) de 2004 até 2012 (IBGE \ CBIC).

Sem sombra de dúvida, a construção é uma grande protagonista do desenvolvimento do país (o crédito imobiliário tem um papel importante no avanço do setor). O incremento de

atividades da construção civil impulsiona o desenvolvimento do Brasil em função das suas características: extensa cadeia produtiva, imensa capacidade de absorção de mão de obra, além da extraordinária capacidade de gerar renda por toda a economia. Deve-se considerar que o setor também contribui muito para promover a qualidade de vida da população.

Por todos estes fatores apresentados, é de extrema importância a continuidade de programas de incentivo, por parte do governo, para que o setor possa continuar contribuindo para o crescimento do Brasil, onde, dentro desse contexto, se destaca a busca por tecnologias voltadas para o desenvolvimento sustentável.

A infraestrutura rural brasileira, em especial da região Nordeste, é insuficiente e inadequada para atender às necessidades das suas populações, no que se refere a obras de apoio à produção agrícola, habitação, saneamento, educação e lazer (TOLEDO FILHO *et al*, 1997).

Em 2011 surgiu o Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR), integrante do Programa Minha Casa, Minha Vida, que oferece subsídios para a construção ou reforma de imóveis aos agricultores familiares e aos trabalhadores e aposentados rurais. Enquadram-se também no PNHR, os pescadores artesanais, extrativistas, aquícultores, maricultores, piscicultores, ribeirinhos, comunidades quilombolas, povos indígenas e demais comunidades tradicionais. A meta estabelecida pelo Ministério das Cidades para o programa é oferecer mais 20 mil moradias até o final do ano, e até 2014, fechar esse ciclo com 60 mil unidades habitacionais (PORTAL BRASIL). Com moradia digna, homens e mulheres do campo ganham novo ânimo para produzir alimentos em equilíbrio com o meio ambiente, melhorando a renda, a qualidade de vida da família e a economia da região.

A inovação tecnológica exerce um papel muito importante no tema da sustentabilidade na construção, pois o mercado se apresenta cada vez mais exigente. Segundo JOHN (2000) o consumo de recursos naturais através da atividade da construção civil, atinge cerca de 15% a 50% do total.

Existem várias certificações e selos que visam à sustentabilidade, se espalhando pelo ambiente corporativo brasileiro. Um bom exemplo sobre o assunto é o crescente número de edifícios com o certificado *Green Building*, que qualifica edificações, nas quais os métodos construtivos aplicados buscam sempre o aumento na eficiência do uso de recursos, para que os impactos sócios ambientais sejam os menores possíveis. No Brasil, a maior demanda para os certificados *Green Building* está na construção de edifícios comerciais, pois este método construtivo ainda é novo no país. A tendência é de que ele ganhe muitos adeptos nos

próximos anos, fazendo-se necessário que novas tecnologias estejam disponíveis. Ainda que sejam mais demandadas em prédios comerciais e conjuntos habitacionais, é possível aplicar certificações e seus princípios a moradias e projetos de menor porte. (CBIC).

O método BREEAM de avaliação ambiental e sistema de classificação para edifícios, lançado pela primeira vez em 1990, é o mais famoso do mundo. Define o padrão para as melhores práticas de design, construção e operação na construção sustentável. Incentiva designers e outros a pensarem em maneiras de minimizar a demanda de energia de um edifício.

Segundo a GBC (Green Building Council), órgão que emite selos e certificações verdes no setor da construção, o Brasil é hoje o quinto no ranking mundial em empreendimentos verdes. As pessoas têm noção desse impacto da construção e muitas não se importam em pagar um pouco mais por um imóvel sustentável, desde que tenham a garantia de sua eficiência.

A certificação identificada como LEED (Leadership in Energy and Environment Design) avalia critérios como eficiência energética e uso racional de água. A nova versão da LEED traz também novos requisitos referentes à acústica. A partir de 2013, para obter a versão atualizada do selo deverá ser comprovada maior eficiência nessa área. É necessário o cumprimento de 69 critérios no Green Building Council Brasil, para se obter essa certificação (VALOR SETORIAL).

Já o selo AQUA (Alta Qualidade Ambiental), da Fundação Vanzolini, considera a qualidade de vida do usuário, a economia de água e o consumo de energia, a disposição de resíduos e a contribuição para o desenvolvimento sócio-econômico-ambiental da região. Para receber o selo AQUA, o empreendimento precisa obedecer a quinze critérios relacionados à redução do impacto ambiental da construção e a criação de um espaço sadio e confortável (VALOR SETORIAL).

Outra certificação, lançada em 2012, foi o Selo RGMat, dirigido a produtos e materiais de construção sustentáveis. Este Selo visa demonstrar o desempenho ambiental dos materiais de construção, por meio da declaração ambiental de produto, baseado no consumo de recursos naturais, energia, água, emissão de gases na atmosfera, de resíduos sólidos e líquidos ou substâncias tóxicas, podendo abranger desde a extração mineral, produção, transporte, montagem, utilização, manutenção e desconstrução até a reutilização ou a reciclagem (FUNDAÇÃO VANZOLINI).

Existe também o Selo Casa Azul Caixa que é o primeiro sistema de classificação da sustentabilidade de projetos habitacionais, desenvolvido para a realidade da construção habitacional brasileira. Este Selo pode ser obtido em três níveis – ouro, prata e bronze – dependendo da quantidade de critérios atendidos pelo empreendimento, dentro de seis categorias: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais.

No Brasil, as certificações ainda estão ligadas a edificações de alto padrão, sendo necessários modelos mais acessíveis. Uma maior conscientização das pessoas eleva a busca por esses selos, já atingindo construções habitacionais (VALOR SETORIAL).

A construção sustentável deve ser ecologicamente correta, consumindo menos recursos naturais e causando menor impacto ambiental. Além disso, deve ser socialmente justa, culturalmente aceita e economicamente viável. Em um planeta onde as pessoas estão se tornando, cada vez mais, preocupadas com o meio ambiente e com a sustentabilidade, o setor da construção brasileiro pode dar um passo grande nesta questão. O desenvolvimento de materiais de construção não convencionais, utilizando resíduos industriais ou oriundos de fontes renováveis, é uma das soluções que viabilizam esse processo.

2.2 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NÃO CONVENCIONAIS

Muitas pesquisas têm sido realizadas na área de novos materiais, chamados não convencionais, para o setor de construções, enfatizando a redução dos custos e o desenvolvimento sustentável. A maioria dessas pesquisas é voltada para a construção de casas populares de qualidade, acessíveis a uma camada maior da população. Portanto, é necessário que, instituições responsáveis pelos programas habitacionais se conscientizem das potencialidades desses materiais, vinculando-os a esses programas.

Na medida em que se estudam as propriedades dos materiais não convencionais, podem-se fazer escolhas que venham trazer menos prejuízos à natureza. Quando possível, a associação do material não convencional ao convencional é benéfica, justificando que o conhecimento de ambos, possibilitará uma exploração consciente de todas as suas potencialidades em favor de um futuro melhor para as próximas gerações (BEZERRA, 2002)

Alguns dos materiais de construção não convencionais pesquisados que se destacam são: a terra, o barro, palhas, bambu, resíduos sólidos industriais, compósitos, fibras naturais, entre outros.

2.2.1 - Materiais compósitos

Os compósitos são uma combinação de pelo menos dois materiais, que após a mistura ainda podem ser perfeitamente identificados. Possuem propriedades superiores a de seus constituintes tomados em separado. São combinações feitas entre metais, cimento, cerâmicas, polímeros, gesso, etc. Essas combinações dependem das condições de processamento, da aplicação do material e das prováveis compatibilidades entre os componentes (BAUER, 1995).

Na tentativa de se melhorar a ductilidade de materiais compósitos frágeis, o reforço com diferentes tipos de fibras vem sendo estudado por vários pesquisadores. Devido a esse reforço, melhores propriedades mecânicas também podem ser observadas nesses compósitos.

As propriedades do compósito estão diretamente associadas às características dos seus componentes, à interface entre eles, bem como ao método de produção.

I – Materiais compósitos com matriz cimentícia

As matrizes cimentícias, muito utilizadas na produção de compósitos, são materiais de construção simples, facilmente moldáveis, podendo ser produzidas com uso de equipamentos comuns, adequando-se a muitos usos.

Vários pesquisadores têm verificado os benefícios da substituição de parte do cimento das matrizes cimentícias por outros minerais (microsílica, cinza volante, metacaulinita, resíduo cerâmico, entre outros) que tenham atividade pozolânica, proporcionando uma estrutura de poros mais densa e, em consequência, aumento de resistência química, aumento de resistência à compressão e impermeabilidade. Outro benefício causado por esses aditivos minerais, é o fato das reações pozolânicas consumirem o hidróxido de cálcio do cimento, da matriz, formando o C-S-H (silicato de cálcio hidratado), diminuindo assim, a alcalinidade desta (MELO FILHO, 2005).

Na matriz de cimento, a substituição de 20% de resíduo cerâmico mantém as propriedades mecânicas e promove maior refinamento da estrutura de poros, reduzindo a absorvidade e a penetração acelerada de íons cloretos, aumentando a resistência ao ataque por sulfato de magnésio. No produto final acarreta uma economia, considerando-se que a pozolana foi produzida a partir de resíduos de tijolos (ANJOS, 2003; GONÇALVES, 2005)

LIMA & TOLEDO FILHO (2008) desenvolveram matrizes à base de cimento, com a incorporação de metacaulinita, com o objetivo de melhorar o desempenho de compósitos reforçados com fibras de sisal. Para avaliar o grau de hidratação e o teor de hidróxido de cálcio, realizaram ensaios termogravimétricos em pastas de cimento-metacaulinita, com teor de substituição de 30%, em massa. Observaram que, a utilização de metacaulinita resultou na redução do teor de hidróxido de cálcio, no aumento da resistência à compressão e na redução da porosidade. Ao reforçarem a matriz modificada com 1% de fibras de sisal, em volume, a resistência à flexão do compósito manteve-se 86% da resistência de primeira fissura, na flexão, para deslocamentos de até 6 mm, mesmo após 25 ciclos de envelhecimento acelerado.

SILVA (2009), através de análises térmicas, considerando que o hidróxido de cálcio se decompõe quimicamente quando expostos a temperaturas entre 420°C e 550°C, verificou o consumo desse hidróxido em pastas cimento-metacaulinita e cimento-resíduo cerâmico, com teor de substituição de 10%, 30% e 40%. Constatou uma maior reatividade na metacaulinita, porém, ainda notou a presença do hidróxido, demonstrando a necessidade de uma maior substituição do teor de cimento para o consumo total do $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Continuando seu estudo, SILVA (2009) testou misturas de metacaulim e resíduo cerâmico, em substituição a 50% de cimento da matriz. Avaliou o consumo de hidróxido e a trabalhabilidade. Obteve melhores respostas para a matriz com 50% de cimento, 20% de resíduo cerâmico e 30% de metacaulim.

I.1 - Matrizes cimentícias reforçadas com fibras vegetais

A incorporação de fibras em argamassas frágeis, com o intuito de melhorar características específicas, apesar de ser usada em larga escala em construções de civilizações antigas, vem sendo estudada com mais afinco desde a década de 60. Esses estudos demonstram uma melhora da tenacidade, através de um processo de controle da propagação das fissuras. Contribuindo para um aumento da capacidade portante após a fissuração, a incorporação de fibras colabora para que o compósito seja capaz de absorver uma maior quantidade de energia, dissipando-a sob forma de deformação, arrancamento e ruptura das fibras. No caso do emprego de microfibras, as pesquisas constataram um retardo no aparecimento de fissuras, enquanto que, quando se empregam macrofibras ocorre uma melhoria do comportamento pós-fissuração.

As fibras de origem vegetal são produzidas abundantemente em muitos países do terceiro mundo, os ditos em desenvolvimento. Requerem na sua maioria um baixo grau de industrialização, tanto no seu processamento quanto no beneficiamento. Comparando-se, em relação ao equivalente em peso ou volume, com as fibras sintéticas usadas no reforço de compósitos – fibras de aço, de vidro, de polipropileno, etc. - a energia requerida para a sua produção é pequena; assim como os seus custos. Dentro desse contexto, seria conveniente a viabilização, novamente, do sisal, como alternativa econômica para a região semiárida do Brasil. O desenvolvimento de tecnologias adequadas que façam melhor aproveitamento da produção e dos seus subprodutos, resultando conseqüentemente num maior retorno econômico, poderá estimular o retorno de uma cultura de grande importância para nossa região.

Considerada como uma importante fibra nacional, a fibra do sisal pode ter seu valor agregado multiplicado, se utilizada como reforço de compósitos. É uma fibra que apresenta resistência específica, alta tenacidade e baixo custo. Entre outras vantagens do sisal, podemos apontar o fato de ser um material biodegradável, que provém de fonte renovável.

SILVA (2009) cita que, segundo vários pesquisadores, o uso de fibras naturais como reforço em matrizes de cimento apresenta um problema de durabilidade quando expostos a ambientes úmidos, acarretando uma redução na resistência pós-primeira fissura e na tenacidade. Comenta que, esse problema está associado com o aumento de fratura de fibras e diminuição de arrancamento devido à mineralização das fibras, como resultado da migração de produtos de hidratação do cimento (principalmente o CaOH_2) para a estrutura da fibra.

SILVA (2009) também citou que, a durabilidade das fibras naturais, como reforço em concreto, foi bastante estudada por GRAM desde 1983, que testou várias técnicas, dividindo-as em dois grupos: tratamento da fibra e modificação da matriz cimentícia. Afirmou que GRAM constatou que nenhum dos agentes bloqueadores testados por ele aumentou a durabilidade da fibra; que, para os agentes repelentes de água que utilizou, somente nitratos de bário, esteárico e formine levaram a um retardamento do processo de enrijecimento do compósito, e ainda que, o uso de glóbulos de cera e estearato de zinco como agentes para selar o sistema poroso mostraram resultados promissores. Citou que, o resultado mais promissor alcançado por Gram foi a substituição de 45% do cimento por fumo de sílica, conseguindo assim, diminuir a perda de tenacidade do compósito. O autor diz que, segundo GRAM, o uso de pozolanas naturais como substituto do cimento não foi tão efetivo quanto o uso de fumo de sílica, entretanto demonstrou um efeito positivo no aumento da durabilidade. SILVA (2009)

comentou que segundo GRAM, a modificação da matriz, através da substituição parcial do cimento, foi uma melhor alternativa em relação ao tratamento da fibra.

Estudos de matrizes cimentícias com baixa quantidade de hidróxido de cálcio comprovaram que essa é uma boa alternativa para o desenvolvimento de compósitos cimentícios reforçados por fibras vegetais. Substituindo-se o cimento por argila calcinada (metacaulim e resíduo calcinado de tijolo moído), consegue-se produzir essa matriz (SILVA *et al*, 2006a; SILVA *et al* 2006b; SILVA, 2009; TOLEDO *et al*, 2009; FARIAS FILHO *et al*, 2010).

Foram realizadas investigações da durabilidade da fibra de sisal na matriz com reduzida quantidade de hidróxido de cálcio desenvolvida, composta pela substituição de 50 % de cimento por 30% de metacaulinita e 20% de tijolo cerâmico moído calcinado, por determinação dos efeitos do envelhecimento acelerado. Constatou-se que o processo de fragilização da fibra foi evitado, mantendo-se a tenacidade e a resistência à flexão (SILVA *et al*, 2006a; SILVA *et al* 2006b; SILVA, 2009; TOLEDO *et al* 2009b). Testes de termogravimetria foram realizados em fibras retiradas de dentro do compósito, após envelhecimento, para avaliar a deterioração de celulose e hemicelulose, indicando que a matriz desenvolvida evita a mineralização das fibras, mantendo a tenacidade dos compósitos a níveis elevados. Através de investigação microscópica, nenhum sinal de mineralização foi observado (SILVA, 2009).

SILVA (2009) desenvolveu compósitos cimentícios duráveis reforçados por fibras longas de sisal, a partir da matriz com substituição parcial do cimento em 50%, por 30% de metacaulim e 20% de tijolo moído calcinado. Não notou perda de tenacidade ou resistência à flexão para compósitos submetidos a 100 ciclos de molhagem e secagem e imersão em água à 60°C por seis meses. O compósito desenvolvido por SILVA (2009) alcançou resistências máximas à flexão de 25 MPa. A adesão fibra-matriz atingiu sua capacidade máxima aos 14 dias de cura não verificando nenhum aumento para idades de 21 e 28 dias. O pesquisador realizou testes de impacto e tração em alta velocidade, nos compósitos, demonstrando a elevada capacidade de absorção de energia sob cargas dinâmicas.

O uso de fibras de sisal, com 25 mm de comprimento, como reforço em uma matriz com 50 % de substituição parcial do cimento por metacaulim foi estudado por MELO FILHO *et al* (2007). Os pesquisadores observaram um comportamento de múltipla fissuração na flexão para compósitos reforçados por 6 % de fibras em volume e valores médios de resistência à flexão de 7,20 MPa e de tenacidade de 3,86 kJ/m².

II - Materiais compósitos produzidos com resíduos industriais

II.1 - Resíduos sólidos industriais

O setor industrial vem encontrando grandes dificuldades no destino adequado dos resíduos gerados em seus processos produtivos. Sérios problemas ambientais são provocados, além de crescentes incrementos nos custos de produção, por falta de soluções tecnológicas apropriadas e/ou de instalações adequadas para eliminação desses resíduos.

Sendo os maiores responsáveis pelas agressões fatais ao ambiente; causando a poluição do ar, da água e do solo por conterem produtos químicos (cianureto, pesticidas, solventes,...), metais (mercúrio, cádmio, chumbo,...) e solventes químicos; os resíduos industriais ameaçam os ciclos naturais onde são despejados.

Muitos dos resíduos provenientes de processos industriais podem ser reaproveitados. Por conterem substâncias químicas, apresentarem certo grau de toxicidade e elevado custo para reaproveitamento, muitas vezes se faz necessário o uso de tecnologia adequada, que seja economicamente e ecologicamente viável. Quando esgotadas as possibilidades de tratamento e recuperação desses resíduos, não existe alternativa que não seja a disposição final no meio ambiente. As soluções para tal problema dependem de cada caso, sendo estudadas por profissionais de diversas áreas.

As formas de aproveitamento de resíduos ou de subprodutos industriais, como matéria-prima secundária, devem conhecer o processo das unidades de geração e a caracterização completa desses materiais, identificando as características limitantes do uso e da aplicação dos mesmos, na tentativa de se atingir o aproveitamento ambientalmente adequado, ao menor custo possível, respeitando-se as características socioeconômicas e culturais de cada região (ROCHA & CHERIAF, 2003).

A reciclagem produz bons resultados econômicos, desde que sejam considerados alguns fatores:

- existência de demanda de mercado para o resíduo;
- proximidade da fonte geradora com o local onde será reciclado o material;
- quantidade de material disponível e condições de limpeza;

- custo da separação, coleta, transporte, armazenamento e preparação do resíduo antes do processamento;
- custo de processamento e transformação do resíduo em novo produto;
- existência de demanda de mercado para o produto resultante da reciclagem;
- existência de tecnologia (processo) para efetuar a transformação do resíduo;
- características e aplicação do produto resultante;

O setor da construção apresenta-se, dentro deste contexto, com um grande potencial para contribuir com a solução do problema dos resíduos industriais, através da incorporação desses, nos materiais de construção, possibilitando, ainda, redução dos seus custos.

Para o desenvolvimento de materiais e processos construtivos, as formas mais usuais de aproveitamento de resíduos industriais, muitas vezes, foram realizadas baseando-se apenas em aspectos qualitativos como textura, forma, granulometria, cor, capacidade de aglutinar, etc. Para tal, se faz necessário uma investigação maior, que possa caracterizar de forma mais aprofundada, o material e o processo construtivo. Dessa forma, se fornecerá embasamento para avaliação do comportamento do material ao longo do tempo, evitando-se danos ao meio ambiente e comprometimento da estrutura, eliminando-se riscos para a população (ROCHA & CHERIAF, 2003).

Vários pesquisadores vêm estudando a viabilização da utilização de inúmeros tipos de resíduos industriais como materiais não convencionais, para construções rurais e urbanas.

II.2 - Resíduos da indústria calçadista

A atividade industrial calçadista desenvolveu-se e tem participação significativa na economia da cidade de Campina Grande (PB), caracterizando-a como um polo calçadista, onde tais indústrias estão entre as que mais geram emprego no município. A difusão de novas tecnologias e a utilização de novos materiais na produção tornam esse ramo industrial maior, tendo como consequência uma considerável quantidade de resíduos, gerados nas várias fases de produção (FRANÇA et al, 2007)

Durante a fabricação de sandálias e calçados, são gerados resíduos das placas expandidas, em forma de retalhos, oriundos do processo de obtenção dos formatos dos

calçados na fase de corte, e os resíduos em forma de pó, oriundos do lixamento do calçado na fase de acabamento (MELO & LIMA FILHO, 2009), conforme ilustrado na figura 2.2:

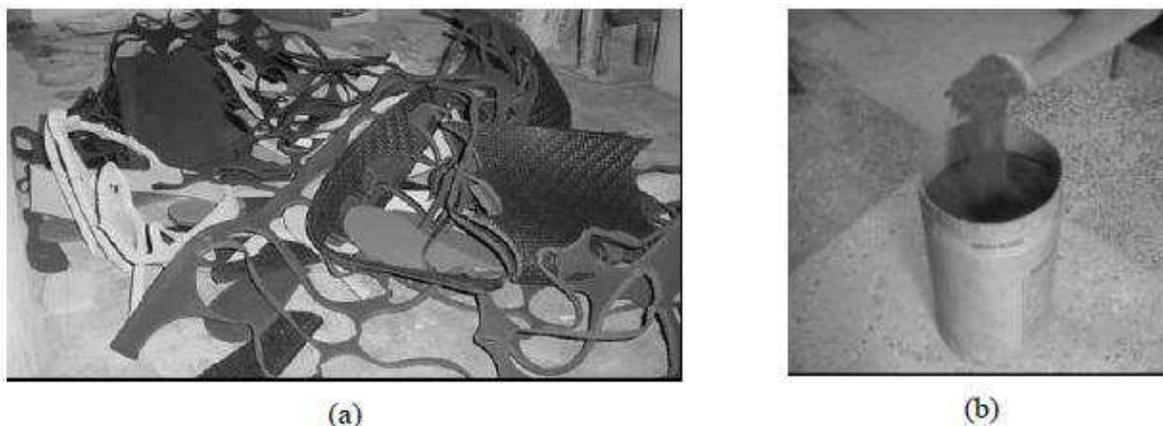


FIGURA 2.2 – Detalhe do resíduo gerado durante o processo de fabricação de calçado (a), em forma de aparas e em pó (b) (MELO & LIMA FILHO, 2009).

Alguns desses resíduos, gerados em grandes quantidades, são apenas parcialmente (cerca de 20%) reaproveitados no próprio processo de produção, devido às limitações de suas características físicas (GARLET, 1998). Apenas uma grande fábrica localizada no Estado da Paraíba é responsável pela produção anual de aproximadamente 175 milhões de pares de sandálias de borracha, gerando em torno de 3 a 4 toneladas diárias de resíduos que não são reintroduzidos no processo produtivo, sendo estes repassados as empresas produtoras de cimento para a queima nos fornos (SILVA, 2012).

O processo de reutilização desses resíduos na própria indústria é lento e possui limitações técnicas quanto à quantidade de resíduos que se pode incorporar ao processo, sem comprometer a qualidade do produto. O volume de resíduo reaproveitado na própria indústria não é mais que 40% do volume por ela gerado, onde o restante é negociado com as fábricas de cimento, na tentativa de livrar-se desses resíduos. As indústrias cimenteiras aproveitam o potencial combustível deste resíduo para alimentar os fornos rotativos na fabricação do clínquer (BEZERRA, 2002)

Materiais sintéticos como o copolímero Estireno Butadieno Rubber, conhecido como borracha de base SBR, é amplamente utilizado nos processos de fabricação de calçados. As sobras desse material, após passagem por autoclaves retornam ao processo produtivo na forma de matéria-prima, porém boa parte não utilizável serve de combustível em fornos industriais (BRASILIAN FOOTWARE, 2010).

Ao ser feita a queima da borracha, enormes quantidades de material particulado e de gases tóxicos são geradas, prejudicando o meio ambiente (MELO & LIMA FILHO, 2009). Tendo em vista que, aproveitar o resíduo proveniente da indústria calçadista (como o EVA, PU, PVC, SBR) para queima em fornos de fábricas de cimento não é um recurso ecologicamente correto, alternativas já são estudadas, por vários pesquisadores, na Paraíba e em outros estados, na tentativa de se encontrar outras soluções que, ao mesmo tempo em que agreguem valor a esses resíduos, contribuam para resolver a problemática ambiental gerada por eles. Dentre essas soluções estudadas, se encontra a elaboração de compósitos, considerando esses resíduos como agregados sintéticos leves, para aplicação na forma de painéis, telhas, blocos e divisórias, como isolante térmico e acústico, entre outras.

Um estudo de caso mostrou que uma empresa desenvolve um produto a partir de resíduos de indústrias calçadistas, a base de EVA, chamado BRITALEVE®, que é um agregado sintético para a construção civil, empregado na fabricação de blocos para a alvenaria, painéis moduláveis, enchimento de lajes e contrapisos para isolamento térmico e acústico, diminuição da carga estrutural, devido à baixa densidade, entre outras funções (ROLIM, 1999)

i - Resíduo a base de SBR

A borracha de estireno butadieno foi elaborada na Alemanha, na década de 1930, com o nome de Buna S.. Foi estudada nos Estados Unidos durante a 2ª Guerra Mundial com a denominação de GRS (Government Rubber-Styrene) sendo, esta denominação, posteriormente substituída por SBR. Sendo uma borracha sintética, facilmente vulcanizável e com custo de fabricação menor em relação à obtenção da borracha natural, rapidamente foi incorporada no desenvolvimento de produto dos diversos setores produtivos (ANJOS, 2007).

A análise termogravimétrica em amostras de resíduos de SBR (SBR-r) permitiu identificar a perda de massa da amostra em função da temperatura em atmosfera controlada. A perda de massa abaixo de 300°C refere-se à presença de agentes voláteis como plastificantes e antioxidantes; entre 300 a 600°C corresponde ao conteúdo polimérico; e, entre 600 a 950°C corresponde a aditivos inorgânicos, pigmentos ou óxidos metálicos. Na análise termogravimétrica do SBR-r verificou-se dois estágios de perda de massa, conforme indica a Figura 2.3. A primeira perda foi de aproximadamente 22 % na faixa de 390 a 445 °C, correspondente ao elastômero. A segunda perda de massa de 30,6 % a 726°C, correspondente

a perda de CO₂ devido a decomposição térmica de CaCO₃. A massa residual, a 800 °C, foi de 47,4%. Sendo assim o resíduo possui 22% de SBR e 78% de carga (MASSAROTO et al, 2006).

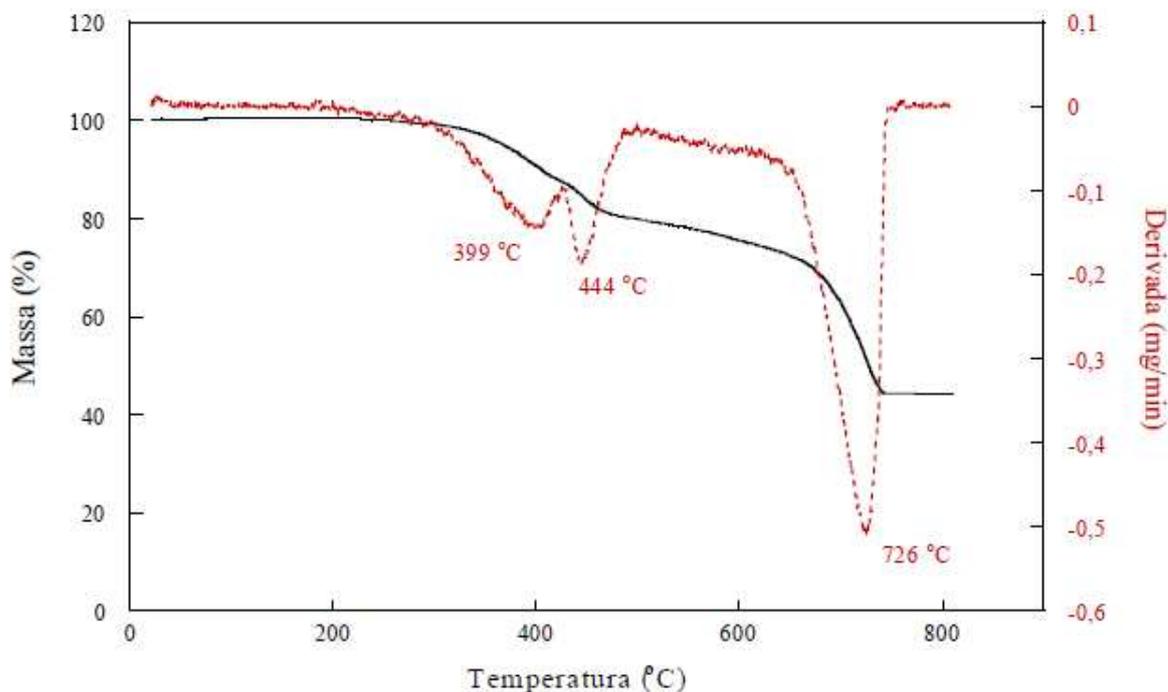


FIGURA 2.3 – Termograma característico do SBR-r (MASSAROTO et al, 2006).

O SBR, atualmente, é muito usado na fabricação de solados para calçados e de uma infinidade de peças na indústria. Não é fusível e apresenta alta elasticidade. Devido às suas características é explorado por vários setores produtivos, passíveis de geração de resíduos (MELO & LIMA FILHO, 2009).

SILVA (2012) caracterizou o resíduo a base de SBR, proveniente de uma indústria calçadista de Campina Grande, chegando à conclusão que esse resíduo pertence à CLASSE I – PERIGOSO, por apresentar, em seu extrato lixiviado, metais pesados com valores acima do estabelecido em norma. Considerou que, sendo revestido com uma camada de pasta de cimento, tem o potencial de se manter isolado, viabilizando seu uso em aplicações que por ventura tenham contato temporário com água. Afirmou que esse material é hidrofóbico e mantém suas características físicas mesmo passando pelo processo de moagem. Constatou que a degradação do compósito, fabricado com resíduo a base de SBR e cimento, se inicia após 200°C. Complementou, dizendo que, sendo muito poroso, com índice absorção de 57,06% e diâmetro médio dos poros 3,6413µm, o resíduo não é permeável. Segundo SILVA

(2012), pelos dados apresentados na análise de espectroscopia de infravermelho – FTIR foi possível afirmar que todas as amostras, independente da cor, seja ela branca, amarela, azul ou preta, possuem a mesma composição química em relação aos grupos funcionais.

A reciclagem do resíduo de SBR na construção civil deve começar através de um processo simples para triturar as aparas resultantes da fabricação de calçados, de modo a obter-se um agregado leve. O material sob ação da temperatura, até 100° C, sofre uma pequena retração devido à expulsão da água, dos gases presentes e do ar incorporado; porém, apresenta-se com pouca perda de massa, sem calcinação e preservação da coloração (SILVA, 2012).

II.3 - Compósitos leves fabricados com resíduos de EVA e SBR.

Sendo o concreto um tipo de compósito, a redução de sua densidade pode ser obtida através da utilização de agregados leves ou ainda de produtos formadores de gases ou espumas estáveis, aprisionados no interior da matriz cimentícia. Consegue-se ainda, tal redução, através da não utilização de agregados miúdos (areia).

Os concretos leves proporcionam alívio de carga na estrutura e fundação das edificações, maiores isolamento térmico e acústico, além de um aumento da produtividade e redução no consumo de forma e de ferragem. Apresentam menor massa unitária e resistência à compressão simples, variando proporcionalmente a sua densidade.

Entre as aplicações e vantagens possíveis de compósitos leves na construção civil podem ser citadas: enchimento para lajes rebaixadas; isolamento acústico entre pavimentos; blocos, painéis para vedação e elementos decorativos; redução da carga da estrutura; isolamento térmico nas lajes de forro; proteção mecânica em impermeabilização de lajes; etc. (BEZERRA, 2002)

A massa específica dos concretos convencionais, conforme cita a norma NBR 6118 varia entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³. Portanto, pode-se classificar os concretos leves como aqueles que apresentam uma massa específica com valor abaixo de 2000 kg/m³.

A norma NBR 7213 fixa as condições exigíveis para agregados leves que serão empregados em concretos, cuja qualificação principal é a de isolante térmico. Classifica-os em dois grupos: grupo I, que são os preparados por expansão de produtos como, por exemplo, a vermiculita, cujo concreto produzido deverá geralmente possuir massa específica aparente entre 240 Kg/m³ e 800 kg/m³ e condutibilidade térmica entre 0,064 J/s·m°C e 0,22 J/s·m°C; e

grupo 2, que são os preparados por expansão, calcinação ou sinterização de produtos como escória de alto forno, argila, diatomita, cinzas volantes (“fly-ash”), ardósia ou folhelho; ou ainda os constituídos por materiais naturais como pomes, escória vulcânica ou tufo; cujo concreto produzido deverá ter geralmente massa específica aparente entre 720 Kg/m^3 e 1440 Kg/m^3 , além de condutibilidade térmica entre $0,15 \text{ J/s}\cdot\text{m}^\circ\text{C}$ e $0,43 \text{ J/s}\cdot\text{m}^\circ\text{C}$.

CAÑAS ET AL (2001) apud PIMENTEL (2005) sugere o uso de concretos leves para enchimento e isolamento térmico e acústico, onde esses devem possuir uma densidade compreendida entre 1000 Kg/m^3 e 1400 kg/m^3 .

O ACI 213R-87 usa a massa específica para caracterizar concretos leves, de acordo com a aplicação. Dessa forma, seriam três categorias:

- concretos leves isolantes ou de baixa massa específica: apresentam uma massa específica entre 300 kg/m^3 e 800 kg/m^3 e coeficientes de condutividade térmica bastante baixos, sendo usados para fins não estruturais, principalmente para isolamento térmico. Os valores da resistência à compressão ficam em torno de $0,69 \text{ MPa}$ a $6,89 \text{ MPa}$.
- concretos leves com resistência moderada: com uma massa específica intermediária, variando entre 800 kg/m^3 a 1350 kg/m^3 e resistências mecânicas entre $6,89 \text{ MPa}$ e $17,24 \text{ MPa}$. Possuem características de isolamento térmico intermediários e geralmente são usados para enchimentos.
- concretos leves estruturais (CLE): obtidos com o uso de agregados leves, estes concretos apresentam uma massa específica entre 800 kg/m^3 e 2000 kg/m^3 e, como o próprio nome indica, é usado para fins estruturais, com resistência mínima à compressão de $17,24 \text{ MPa}$. A NBR 6118 estabelece a resistência mecânica mínima de 20 MPa para concretos estruturais convencionais.

Essas referências estão apresentadas na tabela 2.1

TABELA 2.1 – Características de concretos leves segundo algumas normas ou recomendações

Norma / Recomendação	Subdivisão	Massa específica (Kg/m³)	Condutibilidade térmica (J/s m°C)	Resistência à compressão (MPa)	Finalidade
NBR 6118 (2004)	-	< 2000	-	-	
NBR 7213 (1984)	Grupo I	240 a 800	0,064 a 0,22	-	Isolamento térmico
	Grupo II	720 a 1440	0,15 a 0,43	-	
Cañas et al (2001) apud Pimentel (2005)	-	1000 a 1400	-	-	Enchimento e isolamento térmico e acústico
ACI 213R-87	Categoria I	300 a 800	-	0,69 a 6,89	Isolamento térmico
	Categoria II	800 a 1350	-	6,89 a 17,24	Isolamento térmico e enchimentos
	Categoria III	800 a 2000	-	>17,24	Estrutural

Várias pesquisas têm sido realizadas, na tentativa de viabilizar o uso como agregados leves para compósitos, de resíduos a base de SBR provenientes da indústria calçadista local, na elaboração de elementos construtivos, não estruturais.

BEZERRA (2002) desenvolveu um estudo experimental usando o traço de 1:3 substituindo diferentes teores do agregado natural pelo agregado sintético de EVA. Encontrou boas condições para a fabricação de blocos, obtendo resultados variáveis, aos 28 dias de idade: para resistências à compressão, valores de 0,2 MPa até 2,5 MPa, para absorção de água de 6,2% até 23,7% e para massa unitária de 666 kg/m³ até 1.407 kg/m³. Nesse estudo, destacou como ideal, a possibilidade na qual, para a obtenção do agregado EVA, seriam evitados maior tempo de trituração e tratamento térmico. Com uso do traço 1:3 com 60% de EVA (D_{máx}=9,5 mm) e 40% de areia obteve como resultado para resistência à compressão aos 28 dias, 1,6 MPa e capacidade de absorção de 9%.

SILVA (2003) estudou tijolos prensados de terra crua, com incorporação de resíduos de EVA (Etileno Acetato de Vinil), nos teores de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% em volume, utilizando a granulometria de 2,4 mm e o pó. Definiu teores de cimento de 6%, 8% e 10%. Mostrou que, á medida que se aumenta o teor do resíduo e o tamanho da partícula, a resistência à compressão dos tijolos, em idade de 28 dias, reduz sensivelmente.

LIMA FILHO (2008a) analisou as avaliações de cargas de ocupação e impactos em paredes construídas com blocos com EVA. Comprovou que a resistência à compressão dos blocos estudados, foi inversamente proporcional ao teor de incorporação do agregado de EVA.

LYRA (2007) testou compósitos com cimento, agregados de EVA e agregados naturais, para utilização, em larga escala, em calçadas e áreas de passeio de pedestres. Constatou que é viável a possibilidade de substituir em até 50% o volume de areia, na composição de blocos intertravados de concreto, por resíduos de EVA moídos, diminuindo assim, o consumo de areia, na produção desses blocos.

É possível se utilizar até 80% do resíduo de EVA como agregado leve substituindo o agregado natural (areia e pedrisco), atingindo resistência à compressão superior a 2,0 MPa, que é o valor mínimo estabelecido na Norma (NBR 6136), para blocos vazados de concreto simples, para alvenaria sem função estrutural (GARLET, 1998; BEZERRA, 2002; POLARI FILHO, 2005; PIMENTEL, 2005).

Na tentativa de consolidar o aproveitamento dos resíduos de EVA, provenientes das indústrias calçadistas, ROCHA (2008) avaliou tais resíduos na confecção de blocos de vedação para construção civil, contemplando mecanismos para construção seca. Preparou três compósitos utilizando, em todos eles, o traço 1:5 (cimento: agregados, em volume), com o teor de 80%, 90% e 100% de agregado artificial de EVA sem tratamento térmico, em substituição ao volume total de agregados, e relação água/cimento de 0,56, 0,50 e 0,40, respectivamente. A massa específica aparente dos compósitos estudados ficou situada entre 747,39kg/m³ e 861,24kg/m³, podendo, então, serem classificados como concretos leves. O valor máximo de resistência à compressão foi de 1,19 MPa, atingido pelo bloco produzido a partir do compósito com 80% de substituição por EVA. No ensaio de resistência à compressão da parede, construída com esses blocos, verificou-se que a mesma suportou carga de até 7770 kg podendo-se observar que após o seu colapso vários blocos romperam-se no encaixe, mas se mantiveram inteiros. Através dos resultados dos ensaios de resistência à compressão em blocos, prismas e painéis utilizando esse resíduo, ROCHA (2008) ainda afirmou que, considerando-o como parâmetro de um material não convencional, 1,0 MPa é suficiente para a resistência à compressão do bloco e da parede com função de vedação.

PIMENTEL (2005) fez uma ampla investigação sobre o aproveitamento dos resíduos industriais a base de EVA, em blocos de vedação com novas geometrias (bloco EVANG), diferentes dos convencionais, para utilização como elemento de vedação leve, alternativo, na

construção civil. Considerou as peculiaridades do compósito utilizado e o processo manual de confecção dos mesmos em forma metálica. Demonstrou que o bloco projetado nas dimensões 59,0 cm x 26,5 cm x 11,5 cm, utilizando 80% de resíduo de EVA em substituição aos agregados naturais, possui uma boa característica de ductilidade com resistência à compressão média de 0,82 MPa,. Afirmou que teores de substituição maiores não foram possíveis, por não se conseguir moldar os blocos, e, menores, apresentavam boas resistências, porém apresentavam maior massa específica.

POLARI FILHO (2005) estudou o teor ideal de água em traços já avaliados, de compósitos com resíduos de EVA. Conseguiu uma maior resistência à compressão, dos blocos produzidos, adotando as mesmas condições de produção. Contribuiu na proposição de novo parâmetro de resistência à compressão mínima aceitável (1 MPa) para o pré-moldado, de 1,2 MPa.

Com base nos estudos de POLARI FILHO (2005), concluiu-se também que, foi possível atingir resistências à compressão de 1,3 MPa para o bloco EVA, utilizando dosagem 1:5, com 60% de EVA substituindo agregados naturais, e que, esse foi o mesmo valor obtido ao ser utilizado o traço 1:3, com 80% de EVA.

SOARES et al (2005) também estudaram o aproveitamento de resíduo de EVA em blocos leves de vedação para uso na construção civil. Utilizaram esse resíduo como agregado leve, variando teores entre 60% e 80% em relação ao volume total de agregados. Os resultados alcançados na resistência à compressão, aos 28 dias, variaram de 1,3 MPa a 3,3 MPa, conforme o teor de EVA.

SANTOS (2005) avaliou placas de 4 cm de espessura, confeccionadas com EVA granulado e cimento, no traço 1:5 em volume, com baixa energia de prensagem, encontrando possibilidades para utilização dessas, como revestimento acústico.

MELO & LIMA FILHO (2009) construíram um protótipo com pequenas dimensões (3,14m x 2,65m), cujas paredes foram executadas com uso de 500 blocos, fabricados com traço 1:5 em volume e 60% de substituição dos agregados naturais por resíduo de EVA (figura 2.4). Adotaram os controles de produção para os blocos EVA, conforme POLARI FILHO (2005). Nesse protótipo foram realizados ensaios para verificar o desempenho das paredes, diante de cargas de ocupação e impactos. O resultado do ensaio com peças suspensas nas duas paredes confirmou o bom desempenho do material, considerando que os valores das deformações registradas foram muito pequenos e inferiores às deformações-limite e residuais. Não ocorreu também arrancamento dos fixadores, nem quaisquer danos nas paredes

ensaiadas. Foi realizado também, no protótipo, um ensaio para verificação de solicitações em paredes por fechamento brusco de portas, e impactos de corpo duro e corpo mole. Todos os resultados foram considerados positivos.

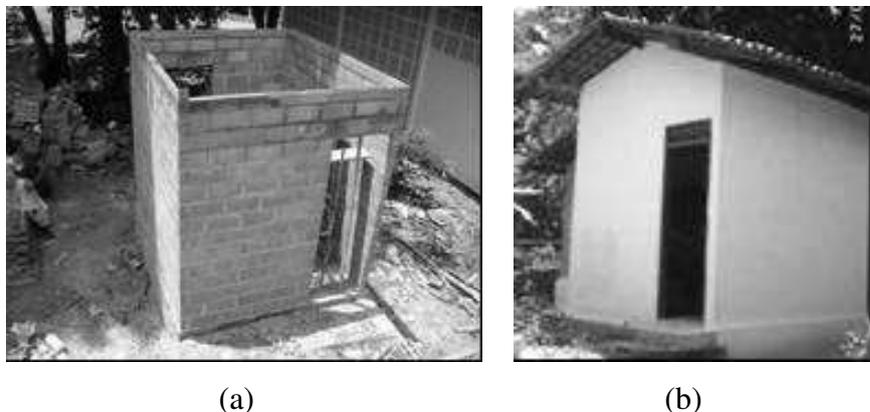


FIGURA 2.4: Protótipo com uso dos blocos EVA na área externa do LABEME/CT/UFPB (MELO & LIMA FILHO, 2009).

LEAL (2004) estudou o desenvolvimento e comportamento de compósitos à base de cimento, reforçados com fibras de sisal, com aproveitamento de resíduos da indústria de blocos cerâmicos e da indústria de calçados como agregados leves. Em uma primeira etapa, desenvolveu compósitos com fins estruturais, utilizando duas formas de compactação da matriz: vibração mecânica e prensagem na moldagem. Idealizou várias misturas com e sem reforço de fibras de sisal, substituindo parcialmente o cimento da matriz por um material pozolânico proveniente da fina moagem de resíduos de blocos cerâmicos, com intenção de reduzir a alcalinidade da matriz cimentícia, aumentando a durabilidade das fibras no interior dos compósitos. Para avaliação da durabilidade, realizou ensaios de caracterização física e mecânica, em amostras submetidas ao intemperismo natural e abrigadas em laboratório. Em etapa seguinte, desenvolveu um modelo de telha capa-canal que dispensa o uso de caibros e ripas, utilizando-se de algumas das misturas dos compósitos estruturais estudados. Realizou ensaios físicos e mecânicos para avaliação da durabilidade dessas telhas abrigadas em laboratório e expostas ao intemperismo natural. As telhas produzidas atenderam aos limites de permeabilidade e absorção; tiveram um melhor comportamento térmico que a telha de cimento-amianto; apresentaram boa capacidade de carga distribuída e uma média no módulo de ruptura na flexão acima de 6,0Mpa. Analisou também o comportamento térmico em modelos reduzidos expostos à radiação solar e monitorados eletronicamente. Constatou que, com a baixa massa específica apresentada (930kg/m^3) e as resistências mecânicas médias

alcançadas aos 90 dias (compressão = 1,2MPa, flexão = 0,7MPa) é viável a aplicação dos compósitos estudados, em vários elementos de construção como painéis para forro, enchimento de lajes, placas para revestimento de paredes, beirais, testeiras, etc. O desempenho térmico registrado também lhes garantem a utilização em aplicações de isolamento térmico sob baixas temperaturas. A mistura com 30% de resíduo moído de blocos cerâmicos, em substituição ao cimento, apresentou características físicas, mecânica e térmica similares à mistura só com cimento, tendo a vantagem do custo mais baixo, podendo ser recomendada para as já citadas aplicações na construção civil. A presença de 2% de fibras de sisal incrementou a capacidade de absorver energia após a fissura, da matriz dos compósitos leves, aumentando-a em 18,6%. A substituição parcial do cimento pelo resíduo moído de blocos cerâmicos reduziu os teores de hidróxido de cálcio livre nas matrizes, que, embora significativa (até 66%), não garantiu a manutenção da contribuição das fibras à tenacidade do compósito durante o período ensaiado.

PAGLIUSO E FERREIRA (2010) investigaram a utilização de partículas de borracha, obtidas pela trituração mecânica de pneus inservíveis em uma matriz de cimento, constituindo uma argamassa com as características de compósito, para a produção de painéis cimentícios. Com esta argamassa, associada a uma armadura não metálica constituída de telas de fibra de vidro tipo “E”, foram produzidas placas utilizáveis em revestimentos especiais para absorção acústica e painéis tipo drywall. Quando dispersas em uma matriz cimentícia as partículas de borracha possibilitaram resultados no ensaio de flexão, das placas tipo drywall, bem inferiores aos obtidos com placas moldadas em argila expandida e areia natural. Isto se deve a pequena resistência à compressão das partículas de borracha, comparativamente à areia natural e a argila expandida. O comportamento pós-ruptura da matriz cimentícia é interessante no caso da borracha, pois a placa sofreu um incremento no valor da carga de ruptura da matriz, de 300% a 400 %, com significativas deformações, denotando uma grande ductilidade desse material.

MELO e LIMA FILHO (2009) constataram que o material compósito cimento:SBR suporta temperaturas de até 200°C sem comprometer sua estrutura. Sendo susceptível a temperaturas maiores que 200°C, afirmaram que, acima de 800°C, ocorre o colapso do material.

MELO e LIMA FILHO (2009) também observaram as capacidades de absorção d'água, a combustibilidade e o comportamento perante uma corrente elétrica, nos compósitos cimento:SBR, com traços em volume de 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6. Constataram que as maiores

densidades foram obtidas nos traços com maiores quantidade de cimento (1:3, 1:4), devido à massa específica do cimento contribuir para o acréscimo da massa específica do compósito, levando-se em conta a baixa massa específica do resíduo. Submeteram os compósitos à chama durante tempos preestabelecidos, obtendo um comportamento de resistência a combustibilidade caracterizado pela ausência de chama ou incandescência. Notaram ainda que esse compósito não se mostrou ser isolante elétrico perfeito, pois, foi aferida uma leitura de corrente muito pequena, mas ainda presente, devido a sua estrutura interna conter elementos condutores de eletricidade.

SOARES et al (2008) utilizaram oito tipos de misturas para produzir argamassas leves, contendo resíduos da indústria de calçados e cerâmica: quatro contendo unicamente resíduo de calçados e cimento; outras quatro contendo resíduo de calçados, cimento e 30 % de resíduos da indústria de cerâmica em substituição ao cimento, nos traços em volume 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, com fator água cimento fixado em 0,5. A densidade dos compósitos variou de 739,5 a 1.067 Kg/m³. As resistências à compressão variaram de 0,18 a 1,27 MPa, enquanto a absorção oscilou entre 5 e 22 %, indicando que o compósito obtido pode ser utilizado como uma alternativa segura, ecológica e de baixo custo, para fabricação de painéis de alvenaria, de placas planas e corrugadas para uso nas edificações rurais, entre outras aplicações. SOARES et al (2005) afirmaram que a utilização do grão de resíduo de calçados, ao invés de areia ou outro agregado convencional, proporcionando a argamassa de cimento maior leveza, significa alívio de carga nas estruturas e uma menor quantidade de energia gasta para amassamento, transporte e possível aplicação, bem como maior índice de vazios, interferindo diretamente nas propriedades térmicas e acústicas do material, viabilizando sua utilização para vários fins. Observaram que a substituição do agregado miúdo ofereceu a argamassa produzida, maior elasticidade, proveniente da quantidade de borracha, podendo-lhe atribuir boa capacidade de absorção de impactos, além de aplicação para absorção de vibrações mecânicas de baixa amplitude.

RIOS et al (2009) constataram que o compósito de matriz cimentícia e reforço polimérico (SBR) é viável tecnicamente, com módulo de ruptura e compressão coerente com as resistências mínimas estabelecidas e validadas no mercado por produtos similares. Afirmaram que, quando submetido à baixa energia de pressão, o compósito mostra excelente grau de empacotamento, menor porosidade, melhor ductilidade e resistividade. RIOS et al (2009) utilizaram traços como 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6, em volume, confeccionando dois tipos de placas: com pequena energia de prensagem, equivalente a 1 MPa (10 kgf/cm²), e sem

utilização de energia de prensagem. Observou maiores densidades e resistências nos traços com maiores quantidade de cimento (1:3, 1:4), nas placas com baixa energia de prensagem. Afirmou que o fator água/cimento ideal para a confecção do compósito foi de 0,5; proporcionando melhor trabalhabilidade à argamassa. Constatou que placas de SBR são facilmente cortadas ou serradas, tornando viável a execução das instalações com esse tipo de material.

KARMIECZAK et al (2000) estudaram o comportamento mecânico de compósitos à base de gesso com adição de resíduos de contraforte de calçados. Variaram o teor de adição desse resíduo de 10% a 25%, mantendo-se constante a relação água/gesso de 0,57. Comprovaram a maior ductilidade dos compósitos com resíduos, em comparação à matriz sem a adição desses resíduos.

OLIVEIRA (2009), considerando ser o gesso é um dos materiais de construção mais antigos que se tem conhecimento, utilizando-se de algumas de suas propriedades que lhe conferem vantagens como, resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico, além do fato de ser um ligante menos agressivo ao ambiente que o cimento, investigou seu uso como matriz base, para produção de compósitos, incorporando vermiculita ou resíduos da indústria de calçados (EVA).

Segundo OLIVEIRA (2009), pesquisas relacionadas à utilização de gesso têm sido desenvolvidas incorporando os materiais apresentados na Tabela 2.2.

TABELA 2.2 : Materiais utilizados em estudos de compósitos à base de matrizes de gesso (OLIVEIRA, 2009).

Materiais fibrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Vidro • Sisal • Celulose • Algodão
Materiais particulados	<ul style="list-style-type: none"> • Madeira • Cortiça • Vermiculita • Resíduos Industriais

OLIVEIRA (2009) estudou propriedades físico-mecânicas e térmicas de compósitos à base de gesso com a incorporação de vermiculita e de resíduos da indústria de calçados (EVA). Variou o teor de adição de resíduo de 0% a 25% em massa. Usou a relação de água material cimentício de 0,7; 0,8 e 0,9 quando incorporou EVA e 0,8; 0,9 e 1,0 ao incorporar a

vermiculita. Com o propósito do desenvolvimento de elementos de revestimento para proteção térmica de alvenarias, comprovou que, o aumento da relação água/gesso diminuiu a consistência e ampliou os tempos de início e fim de pega do compósito, enquanto que, o aumento do teor de adição de EVA diminuiu o tempo de início e fim de pega e aumentou a consistência desse. Chegou também à conclusão que, o aumento da relação água/gesso influenciou mais na diminuição da massa específica do compósito, do que o percentual de EVA, porém, as propriedades de resistência à flexão e compressão, diminuíram com o aumento da relação água/gesso e do teor de EVA. Após otimizar o compósito, OLIVEIRA (2009) modificou sua matriz, com a substituição parcial do gesso por resíduo cerâmico e cal, avaliando, também, suas propriedades físico-mecânicas e aspectos relacionados à durabilidade. OLIVEIRA (2009) propôs um elemento construtivo, em forma de placa, para aplicação em revestimento interno de alvenarias. Através da análise teórica do desempenho térmico dessa placa proposta, demonstrou que ao ser incorporado EVA obtêm-se melhores resultados (Tabela 2.3), reduzindo em 33% a carga térmica incidente nas alvenarias, viabilizando esse resíduo tecnicamente, para uso como isolante térmico.

TABELA 2.3: Valores de fluxos de calor, através de uma alvenaria (OLIVEIRA, 2009)

Alvenaria	Q (W/m²)
Parede de referência (sem a placa de revestimento)	27,65
Parede + placas com Vermiculita	18,76
Parede + Placas EVA	18,44
Parede + Placas Gesso	17,66

Na Tabela 2.4 estão representados, resumidamente, os compósitos estudados, citados.

TABELA 2.4: Alguns compósitos estudados, citados.

Pesquisador	Material	Traços	Produto	Finalidade	Densidade (Kg/m ³)	Resistência à Flexão (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Absorção d'água (%)
Karsmiecjak et al (2000)	Gesso e SBR	Adição de 10 a 25% de SBR (água\gesso: 0,57)						
Garlet (1998); Bezerra (2002); Polari Filho (2005); Pimentel (2005)	Cimento, Agregado, Areia e Agregado de EVA	Substituição de até 80% da Areia por EVA	Blocos Vazados	Alvenaria sem função estrutural			>2	
Bezerra (2002)	Cimento, Agregado de EVA e Areia	1:3 60% substituição por EVA	Blocos		666 a 1407		0,2 a 2,5	6,2 a 23,7
Silva (2003)	Cimento, Terra Crua e EVA	10, 20, 30, 40 e 50% de Incorporação EVA Uso de 6, 8 e 10% Cimento com a Terra Crua	Tijolos					
Leal (2004)	Cimento, Fibras de sisal, Resíduo cerâmico e Agregado de EVA		Placas / Telhas Capa-canal	Painéis para forro. Enchimento de lajes, revestimento para paredes, beirais, testeiras	930	0,7	1,2	
Pimentel (2005)	Cimento, Agregado de EVA e Areia	1:3 80% de substituição da Areia por EVA	Blocos EVANG	Vedação	1245		0,82	
Polari Filho (2005)	Cimento, Agregado EVA e Areia	1:3 60, 70 e 80% de substituição da Areia por EVA.	Blocos	Vedação			3,3; 2,2 e 1,3 (respectivamente)	
Santos (2005)	Cimento e Agregado EVA	1:5	Placas prensadas (4 cm de espessura)	Revestimento acústico				
Soares et al (2005)	Cimento, Agregado EVA e areia	60 a 80% de Agregado de EVA em relação ao volume total de agregados	Blocos	Vedação			1,3 a 3,3	

Pesquisador	Material	Traços	Produto	Finalidade	Densidade (Kg\m ³)	Resistência à Flexão (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Absorção d'água (%)
Lyra (2007)	Cimento, Agregado EVA e Areia	Até 50% de substituição da Areia por Agregado de EVA	Blocos Intertravados	Calçadas e áreas de passeio				
Lima Filho (2008)	Cimento e Agregado EVA		Bloco / Parede	Vedação			>1	
Rocha (2008)	Cimento, Agregado EVA e Areia	1:5 80, 90 e 100% de substituição da Areia por EVA	Blocos	Vedação	747,39 a 861,24		<1,19	
Soares et al (2008)	Cimento, resíduo cerâmico e Agregado de resíduo de calçados	1:3; 1:4; 1:5; 1:6	Painéis e Placas planas ou corrugadas	Alvenaria em edificações rurais ou outras	739,5 a 1067,0		0,18 a 1,27	5 a 22
Rios et al (2009)	Cimento e resíduo SBR	1:3; 1:4; 1:5; 1:6	Placas	Divisórias				
Oliveira (2009)	Vermiculita e EVA	Incorporação de 0 a 25% em massa do agregado(água\agl: 0,8; 0,9 e 1,0)	Elementos construtivos	Proteção térmica de Alvenarias	817 a 960	1,,7 a 3,1	1,9 a 5,2	
	Gesso e EVA	Incorporação de 0 a 25% em massa do agregado (água\gesso: 0,7; 0,8 e 0,9)	Elementos construtivos	Proteção térmica de Alvenarias	837 a 1059	1,2 a 3,8	1,9 a 7,4	1,2 a 3,8
Pagliuso e Ferreira (2010)	Cimento, partículas de borracha de pneu, tela de fibra de vidro E		Painéis cimentícios	Absorção acústica e painéis tipo dry wall				
Silva (2012)	Cimento, Resíduo de borracha (SBR) em substituição de parte da areia	1:3, 1:4, 1:5, 1:6 (água\cimento:0,3 e 0,5), com substituição da areia por SBR de 50%, 60% e 70%		Viabilidade de aplicação do resíduo sólido polimérico (sbr) na confecção de elementos construtivos	1380 a 1500	1,2 a 2,2	0,72 a 4,4	8,8 a 14,4

2.3 - ELEMENTOS CONSTRUTIVOS ELABORADOS COM ESTRUTURA SANDUÍCHE

A estrutura sanduíche faz com que os elementos construtivos ganhem eficiência, na aplicação a qual se destinam.

As placas chamadas sanduíche constituem um tipo especial de laminado, composto por três itens principais: duas camadas externas, finas, chamadas faces e uma camada interna, espessa, chamada núcleo. A função das faces é a de suportar tensões normais de tração, compressão ou cisalhamento coplanar, associadas à flexão da placa, como indicado na Figura 2.5 (MENDONÇA, 2005)

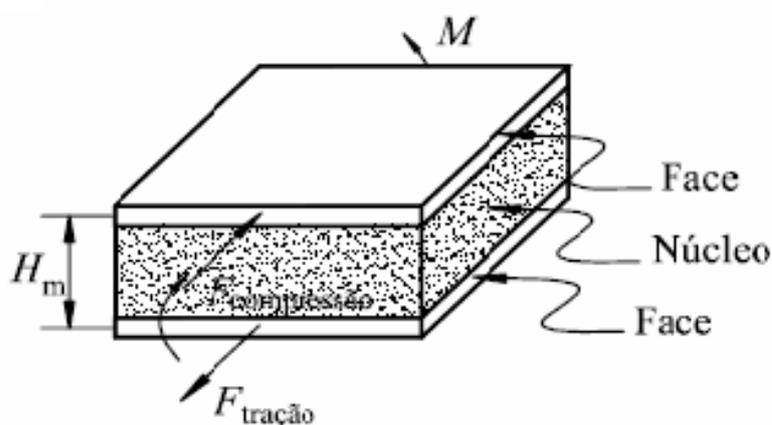


FIGURA 2.5 - Representação esquemática de uma placa sanduíche (MENDONÇA, 2005)

As estruturas sanduíche têm despertado grande interesse e já estão bastante difundidas em diversos segmentos industriais, sendo suas principais utilizações nas indústrias aeroespacial e militar. Este fato se deve à sua propriedade de combinar alta rigidez à flexão e baixo peso, resultando em uma estrutura muito eficiente. (GAGLIARDO & MASCIA, 2010)

Para o setor da construção civil, a utilização de estruturas sanduíche ainda é recente. Já existem componentes no mercado com características bem desenvolvidas, sendo utilizados para divisórias, paredes, pisos, forros, mezaninos, passarelas e lajes, entre outras aplicações, devido a características como resistência a elevadas cargas distribuídas, capacidade de vencer grandes vãos, resistência à umidade e intempéries, excelente isolamento térmico e acústico, alta resistência a impactos, resistência ao fogo e respeito ao meio ambiente. **Em estruturas sanduíche, para que todas as características e propriedades requisitadas sejam atingidas, se faz necessário a seleção dos materiais que comporão essas estruturas.**

Segundo GAGLIADO E MASCIA (2010), uma vez que as tensões normais na região central de uma placa flexionada são bastante pequenas, o núcleo pode ser constituído por uma série de materiais e formas construtivas bastante leves. Alguns exemplos das principais formas construtivas dos núcleos são:

- colmeias;
- madeira;
- espumas formadas por plásticos expandidos;
- plásticos.
- corrugados;

A Figura 2.6 apresenta algumas possibilidades de núcleos para um painel sanduíche.

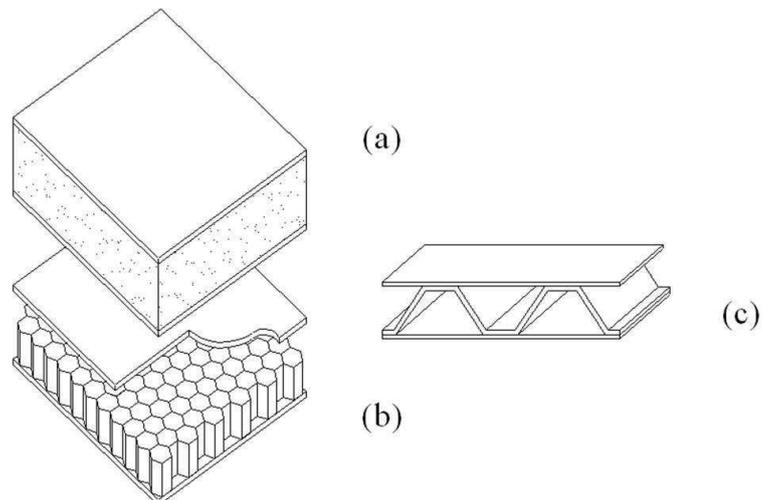


FIGURA 2.6 – Painéis sanduíche com recheio: (a) polimérico, (b) colmeia, (c) corrugado. (ALLEN, 1969 apud GAGLIADO E MASCIA, 2010).

A Tabela 2.5 apresenta algumas propriedades de materiais comumente utilizados como núcleos em estruturas sanduíche.

TABELA 2.5 – Propriedades termomecânicas típicas de espumas e plásticos expandidos e madeira do tipo balsa que comumente utilizados como núcleos em estruturas sanduíche (ALLEN, 1969 apud GAGLIADO E MASCIA, 2010).

Propriedades	PVC	Fenólicos	Poliuretano	Poliestireno (isopor)	Balsa
Densidade ρ , kg/m ³	65	55	70	40	92
Módulo de elasticidade E_T	55	7	19	11	2.450
Tensão limite a compressão σ_{esm}	1	0,17	0,5	0,27	6,3
Módulo de cisalhamento G_{LT}	9	3,5	5,0	4,5	105
Tensão limite cisalhante f_{LT}	1,15	0,14	0,6	0,3	
Coefficiente de dilatação térmica α , 10 ⁻⁶ °C ⁻¹			108		
Coef. de absorção de água β , % em volume			1,3		
Condutividade térmica a 37,5 °C, W/m °C			0,0354		
Temperatura máxima de serviço contínuo, °C			120		

Obs.: tensões e módulos em MPa. Os valores de GWT e fWT são idênticos a GLT e fLT respectivamente.

Legenda:

ET – módulo de elasticidade na direção T;

GLT – módulo de cisalhamento no plano LT;

GWT – módulo de cisalhamento no plano WT do painel sanduíche, sendo L e W as direções principais do núcleo, que representam, respectivamente, os eixos x e y; logo, a direção T representará o eixo z, ou seja, a espessura do painel sanduíche.

A Tabela 2.6 apresenta as propriedades de alguns materiais utilizados em faces de elementos do tipo sanduíche.

TABELA 2.6 – Propriedades de materiais tipicamente utilizados em faces de elementos do tipo sanduíche (MENDONÇA, 2005).

Material	$E^{(I)}$ GPa	$\sigma_E^{(II)}$ MPa	$\nu^{(III)}$	$\rho^{(IV)}$ kg/m ³	Aspectos gerais
Alumínio ^(V)					
1100 H14	70	90c ^(VI)	0,33	2.710	custo médio, resistência química
5052-H34	70	165c	0,33	2.710	custo médio, resistência a intempéries
6061-T6	70	240c,t	0,33	2.710	soldável, trabalhável
2024-T3	72	300t	0,33	2.710	alta resistência, resistência a corrosão, temperável
Aço carbono	200	350	0,3	7.680	baixo custo, pesado
Inox 304	190	250	0,24	7.680	alto custo, resistência a corrosão
Woven grafite/epóxi 282-F155	55	60	0,1	1.540	
Fita grafite/epóxi TXX145-F155	120	1.300	0,1	1.690	alto custo, leve
Woven kevlar/epóxi K49-285-F155	28	200c	≈0	1.400	leve, baixa resistência a compressão
Fita kevlar/epóxi	65	1.100t 250c	≈0	1.400	custo médio
Vidro/poliéster	6,5	100	0,14	1.400	custo bastante baixo
Vidro woven roving/poliéster	12	250	0,14	1.400	custo bastante baixo
Woven glass/epóxi 1581-F155	25	450	0,14	1.900	baixo custo, resistente
Fita vidro/epóxi T25-285-F155	50	850	0,14		custo médio, resistente
Compensado/pinho	12	20	0,1	600	baixo custo
Madeira endurecida e temperada para 1.000 kg/m ³	4,5	25	0,1	1.000	baixo custo

Obs.: (I) Módulo de elasticidade; (II) Tensão de escoamento ou limite de ruptura; (III) Coeficiente de Poisson; (IV) Densidade.

Para se projetar elementos estruturais sanduíche, com materiais compósitos, se faz necessário conhecer o comportamento físico-mecânico das faces e do núcleo. Devido a sua composição e estrutura, esses elementos comumente são utilizados como isolamento térmico, em edificações onde se faz necessário tal procedimento.

2.4 - ISOLAMENTOS TÉRMICOS PARA CONSTRUÇÕES

O isolamento térmico é um processo onde se diminui a troca de energia entre dois ambientes. O calor, quando transmitido de um corpo para o outro através do contato, tem sua ação diminuída quando se intercala entre eles um material que seja mal condutor de calor.

O isolamento térmico nos ambientes é importante para:

- Conforto térmico;
- Condicionamento da temperatura (climatização);
- Conservação, estocagem e manipulação de diversos tipos de produtos;
- Economia de energia elétrica (por aquecimento ou resfriamento);
- Estabilidade térmica;
- Proteção das estruturas.

Um sistema de isolamento térmico, com características técnicas e espessura adequada, contribui mais, para a otimização do desempenho energético de uma edificação, do que qualquer outro sistema equiparável (MARQUES et al, 2010).

2.4.1 – Conforto térmico

O conceito de conforto térmico é subjetivo e associado à sensação térmica considerada agradável ao ser. Em termos físicos, está associado ao estado em que o indivíduo encontra-se em equilíbrio térmico com o ambiente, de forma que seu corpo não necessite desprender energia, para elevar ou reduzir a temperatura interna. O conforto térmico dependerá de variáveis do ambiente como temperatura, umidade relativa, vento, pressão, calor irradiado pelos corpos vizinhos, etc.; e de variáveis do indivíduo como peso, superfície e estado de repouso ou atividade, entre outros.

A sensação térmica depende da presença de vapor d'água na atmosfera. Em regiões de clima úmido, a atmosfera encontra-se sempre saturada, dificultando a evaporação do suor e conseqüentemente o equilíbrio térmico dos indivíduos. Já em regiões de clima seco, a presença de vapor d'água na atmosfera é quase nula, o que provoca uma transpiração adequada, evitando os males da hipertermia.

2.4.2 - Formas de transferência de calor

A diferença de temperatura existente entre as superfícies interior e exterior de uma edificação provoca uma transferência de calor, entre os ambientes interno e externo da mesma. Essa transferência é sempre da temperatura mais elevada para a mais baixa, realizada de três modos fundamentais: condução, convecção e radiação. Se no espaço considerado se verificar a ocorrência de fenômenos de transferência de massa (água) podem, ainda, registrar-se evaporação e condensação, ou ainda, escoamento líquido. Geralmente ocorre uma combinação dos vários modos referidos anteriormente, com predominância de um ou de vários deles, de acordo com as características físicas e construtivas dos elementos presentes nas edificações.

Devido à variação das condições de temperatura, da radiação solar e de outros parâmetros climáticos, o regime de transferência de calor entre os ambientes exterior e interior e entre as superfícies dos elementos de edificações é, essencialmente, não estacionário, apresentando-se, durante alguns períodos, com um caráter cíclico. Em termos práticos de estudo das soluções e do desempenho térmico de edificações, pelo fato dos parâmetros climáticos se manterem suficientemente estáveis durante alguns períodos, geralmente se considera que a transferência de calor se efetua em regime permanente (LABRINCHA et al, 2006)

A transmissão de calor por condução dá-se por transferência entre moléculas do material, sem ocorrência de deslocamentos moleculares, ou seja, é a passagem de calor de uma região para outra de um mesmo corpo, ou de um corpo para outro quando estes se encontram em contato. É o modo de transferência característico da matéria sólida, embora também ocorra em líquidos e em gases, e entre diferentes estados (sólido-gasoso, líquido-gasoso, etc.).

A convecção natural ocorre nos fluidos (gases e líquidos). É o movimento de massa desse fluido em resultado da ação combinada de diferença da temperatura (que provocam variações de densidade do fluido) e da força da gravidade, ou seja, o calor passa de uma zona para outra em consequência do movimento relativo das partículas do fluido.

A transmissão de calor por radiação se dá através da: emissão de energia da superfície de um corpo sob a forma de ondas eletromagnéticas. Todas as matérias (sólidas, líquidas e gasosas) emitem calor por radiação, cuja intensidade depende da temperatura absoluta e características emissivas. A radiação térmica emitida não necessita de um suporte

físico para se transmitir (pode, portanto, transmitir-se no vácuo), mas pode ser parcial ou totalmente absorvida, refletida ou transmitida pelos elementos sobre os quais incide. Uma parte da radiação incidente nas superfícies dos materiais sólidos opacos é absorvida, provocando um aumento da sua temperatura.

No interior dos materiais de construção e dos isolantes térmicos, em particular, a transmissão de calor por convecção não é relevante, em virtude de as respectivas características de porosidade e de permeabilidade ao ar não favorecerem tal fenômeno. Todavia, a convecção natural e forçada adquire uma importância significativa, em conjunto com a transferência de calor por radiação, nas trocas térmicas que ocorrem, quer nas superfícies de separação entre os elementos de construção e os ambientes exterior ou interior, quer através de espaços de ar integrados no interior dos elementos construtivos (LABRINCHA et al, 2006)

A presença de umidade no interior dos elementos construtivos é responsável pelo aumento das trocas de calor por condução, em consequência da condutividade térmica elevada que ela apresenta.

2.4.3 – Propriedades térmicas dos materiais

Absortividade (α): Razão entre a taxa de radiação solar absorvida por uma superfície e a taxa de radiação solar incidente sobre a mesma superfície

Refletividade (ρ): Razão entre a taxa de radiação solar refletida por uma superfície e a taxa de radiação solar incidente sobre a mesma superfície

Transmissividade (τ): Razão entre a taxa de radiação solar que atravessa uma superfície e a taxa de radiação solar incidente sobre a mesma superfície

Emissividade (ϵ): Razão entre a taxa de radiação solar emitida por uma superfície e a taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura

Condutividade Térmica (λ): Propriedade do material que caracteriza o fluxo de calor transferido por unidade de espessura e por unidade de gradiente de temperatura ($W/m^{\circ}C$).

Difusividade térmica (a): é uma medida da rapidez com a qual o calor se propaga através do material. É importante em problemas envolvendo estado não estacionário de trocas de calor (m^2/s).

Calor específico (c): Quantidade de calor necessária para elevar em um grau a temperatura de um componente, por unidade de massa ($J / Kg.^{\circ}C$). É uma quantidade

termodinâmica, importante em altas temperaturas, e está associado ao consumo de energia durante o aquecimento.

2.4.4 – Tipos de isolantes térmicos

Normalmente, os materiais isolantes térmicos são porosos, aprisionando ar nas pequenas cavidades do material sólido, evitando sua movimentação e impedindo a convecção. Por isto, materiais porosos, com poros pequenos e paredes finas, com baixo valor de condutividade térmica, resultam em bons isolantes térmicos (BOABAID NETO, 2009)

Os isolantes mais comuns nas construções são:

- Amianto - é uma fibra natural (de origem mineral), que se mistura extremamente bem com cimento, provocando um bom isolamento. É cancerígeno, e por isso tem sido banido. Foi comum ver, nos países desenvolvidos, edifícios inteiros serem condenados por terem amianto na isolação.
- Placas de isopor - o isopor é leve, prático, mas, tem suas limitações. Perde em eficiência de isolação para outros materiais, deforma bastante (seja por ação mecânica, seja por ação térmica - contrai e dilata conforme a temperatura), é poroso, absorvendo água, reduzindo a capacidade isolante.
- Placas de poliestireno expandido - durante a fabricação sofrem uma expansão com formação de bolhas internas microscópicas. Apresentadas em várias densidades e formatos, lisas ou corrugadas, são mais caras, porém superam o isopor comum, em eficiência de isolação, resistência à deformação e absorção d'água.
- Poliuretano expandido/espuma de poliuretano - assemelha-se às placas de poliestireno, mas molda-se conforme o espaço existente, podendo ser aplicada por spray.
- Lã de vidro – semelhante a um "colchão" de fibras de vidro adequadamente entrelaçadas. Precisam ser protegidas da umidade, evitando-se a perda da eficiência.
- Silicato de cálcio - mais usado na isolação de tubulações de água quente ou sistemas de refrigeração. Tem boa eficiência e precisa ser protegido da umidade
- Vermiculita expandida - É leve, barata e se mistura relativamente bem ao cimento.
- Argila expandida - muito usada como agregado leve em lajes agrega a eficiência isolante dos materiais cerâmicos.

- **Cortiça:** proveniente da casca de uma árvore apresenta uma estrutura celular com ar entre as células.

2.4.5 - Formas dos isolantes térmicos

Os isolantes térmicos podem ser adquiridos em diversas formas, dependendo da constituição e da finalidade à qual se destinam (BOABAID NETO, 2009). Alguns exemplos comumente encontrados são:

- **Calhas:** aplicadas sobre paredes cilíndricas, são fabricadas a partir de cortiça, plásticos expandidos, fibra de vidro impregnada de resinas fenólicas, etc. (Figura 2.7)



FIGURA 2.7 : Isolantes térmicos em forma de calhas (BOABAID NETO, 2009).

- **Mantas:** aplicadas no isolamento de superfícies planas, curvas ou irregulares, como fornos, telhas isolantes, tubulações de grande diâmetro, etc. (Figura 2.8).



FIGURA 2.8 : Isolantes térmicos em forma de mantas (BOABAID NETO, 2009).

- **Placas:** normalmente aplicadas no isolamento de superfícies planas, como é o caso de paredes duplas, coberturas, pisos, divisórias, câmaras frigoríficas, estufas, fogões, etc. (Figura 2.9).

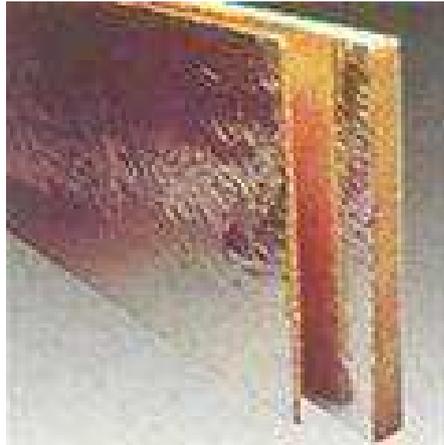


FIGURA 2.9 : Isolantes térmicos em forma de placas (BOABAID NETO, 2009).

- Segmentos: normalmente aplicados em tubulações de grande diâmetro, tanques e equipamentos cilíndricos de grandes dimensões, onde é difícil aplicar calhas pré-moldadas. Em geral, são feitos a partir de silicato de cálcio ou lã de vidro. Oferecem grande durabilidade e podem ser utilizados tanto em ambientes internos quanto externos (Figura 2.10).



FIGURA 2.10 : Isolantes térmicos em forma de segmentos (BOABAID NETO, 2009).

- Flocos: normalmente aplicados para isolar locais de difícil acesso, ou ainda na fabricação de mantas costuradas com telas metálicas. São fabricados a partir de lãs de vidro e de rocha.
- Cordas: aplicadas no isolamento de registros, válvulas, juntas, cabeçotes, etc., principalmente em locais sujeitos a desmontagem para manutenção periódica (Figura 2.11).

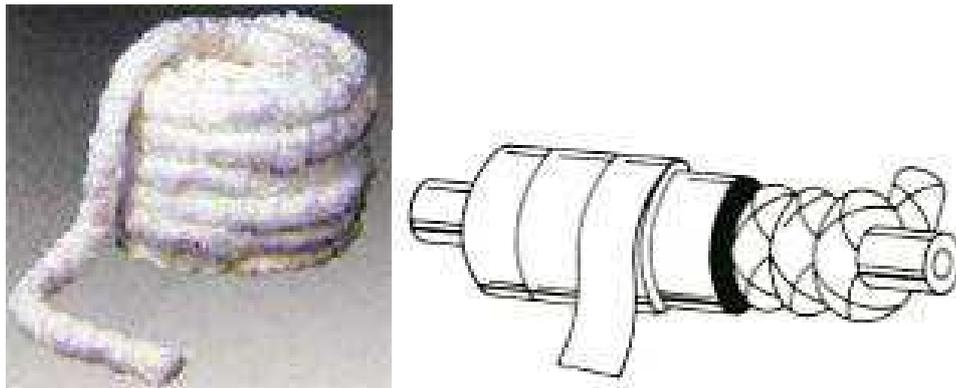


FIGURA 2.11 : Isolantes térmicos em forma de cordas (BOABAID NETO, 2009).

- **Papel:** o de fibra de cerâmica é refratário, apresenta baixo peso, e é processado a partir de uma mistura de fibras de sílica e alumina de alta pureza em uma folha uniforme, altamente flexível. É fácil de manusear e pode ser cortado rapidamente por uma faca, tesourão ou matrizes de corte de aço comum. Sua flexibilidade permite que seja dobrado e enrolado para adaptar-se às configurações mais complexas (Figura 2.12).



FIGURA 2.12 : Isolantes térmicos em forma de papel (BOABAID NETO, 2009).

- **Pulverizados ou granulados:** aplicados no isolamento de superfícies com configurações irregulares, ou ainda no preenchimento de vãos de difícil acesso (Figura 2.13).



FIGURA 2.13 : Isolantes térmicos em forma de granulados (BOABAID NETO, 2009).

- Pré-formados (moldados): peças especiais fabricadas conforme especificações e desenhos solicitados pelos projetos, podendo apresentar uma variedade de formatos e materiais constituintes (Figura 2.14).



FIGURA 2.14 : Isolantes térmicos pré-formados (BOABAID NETO, 2009).

2.4.6 – Características de um bom isolante térmico.

- Baixo valor de condutividade térmica: quanto menor a condutividade térmica, menor será a espessura necessária para uma mesma capacidade isolante. A Figura 2.15 compara, de forma ilustrativa, espessuras de alguns materiais, baseados na mesma capacidade de isolamento térmico.

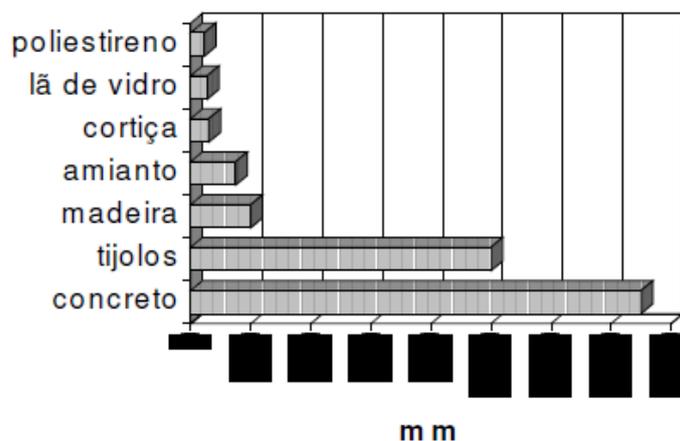


FIGURA 2.15 : Comparação entre espessuras necessárias, de alguns materiais de construção, para uma mesma capacidade de isolamento térmico (BOABAID NETO, 2009).

- Baixa capacidade higroscópica: propriedade do material relacionada à absorção de água. A água ao penetrar nos poros, substitui o ar, aumentando o valor da condutividade térmica. Ao se tratar de isolamento de ambientes cuja temperatura seja inferior a 10°C, existe a possibilidade de a água absorvida passar para o estado sólido, com conseqüente aumento de volume, causando ruptura das paredes isolantes.
- Baixa massa específica: em certas aplicações, um bom isolante precisa ser leve, de modo a não sobrecarregar desnecessariamente o elemento a ser isolado, como no caso de forros onde o material deverá ficar suspenso.
- Resistência mecânica compatível com o uso: quanto maior a resistência mecânica do material isolante, maior será seu uso, por apresentar menor fragilidade, sendo conveniente, também, nos processos de transportes e durante a montagem.
- Incombustibilidade, estabilidade química, outros: várias outras características são necessárias, dependendo da aplicação a que o material isolante se destina.

2.4.7 - Condutividade térmica de isolantes térmicos

Sendo a condutividade térmica (λ), uma propriedade física dos materiais, descrita como a capacidade dos mesmos de conduzir calor, equivale a quantidade de calor transmitida através de uma espessura, numa direção normal à superfície de área, devido a uma variação de temperatura, quando a transferência de calor é dependente apenas da variação de temperatura.

A condutividade térmica depende da natureza do material, sendo elevado para bons condutores, como os metais, e baixo para isolantes térmicos, como borrachas.

A condutividade térmica dos concretos cresce com o aumento da densidade, ou seja, tal concreto é tanto mais isolante quanto mais baixa for sua densidade. É também função do agregado, dependendo da sua composição mineralógica e granulometria. A condutividade térmica dos grãos do agregado não tem relação direta com a do concreto (BAUER, 1995)

Para que o calor existente dentro de um ambiente fechado se propague através do material das paredes, é necessário que atravesse três barreiras. Em primeiro lugar, o calor é obrigado a passar pela superfície do material; depois, através deste, para a superfície oposta; e finalmente, o calor deve se transferir da parede da edificação para o ar exterior. Da mesma

forma acontece na transferência de calor do ambiente exterior para o interior. O material isolante térmico deverá ter um coeficiente de condutividade térmica tão baixo quanto possível, conservando-o através do tempo, evitando que tal calor penetre na edificação, minorando esforços para regulação da temperatura no interior desta.

Existem materiais que são isolantes térmicos, mas que com o decorrer do tempo vão absorvendo umidade, aumentando assim o coeficiente de condutividade térmica, valor que aumenta em 7% por cada 1% de umidade absorvida. Todo material isolante não deve ser higroscópico, devendo conservar as suas propriedades e manter indefinidamente igual seu coeficiente de condutividade (MARQUES, 2010)

Atualmente, existem alguns isolantes térmicos no comércio, que se apresentam da seguinte forma (NBR 15220-2\2005):

- Isolantes fibrosos ($\lambda = 0,045$ W/m K)
 - Lã de Rocha ou lã mineral
 - Lã de vidro
- Poliestireno ($\lambda=0,035$ a $0,040$ W/m K)
 - Expandido (granulado aglutinado por fusão)
 - Extrudido (células fechadas)
- Espuma de Poliuretano ($\lambda = 0,030$ W/m K)
- Concreto celular com 400 Kg/m³ ($\lambda = 0,17$ W/m K)
- Agregado leve
 - Vermiculita
 - Argila expandida – concreto com 500 kg/m³ ($\lambda = 0,20$ W/m K)
 - Cinza sinterizada
 - Escória sinterizada – concreto com 1000 kg/m³ ($\lambda = 0,35$ W/m K)

A Tabela 2.7 apresenta a condutividade térmica, a densidade e o calor específico de alguns materiais (BARROS, 2008)

TABELA 2.7: Condutividade térmica, densidade e calor específico de alguns materiais (CSTB – RÉGLES DE CALCULE; GOMES, R. JOSÉ; PUPPO E. & PUPPO, O. apud BARROS, 2008)

MATERIAL	λ (W/m°C)	d (kg/m ³)	c (J/Kg.°C)
Amianto	0,15	580	
Amianto projetado	0,05	160	
Argamassa de cal e cimento	0,65	1600	754
Argamassa de cimento	0,85 -1,05	1800 - 2000	754
Argamassa celular	0,30-0,81	600-1400	1047
Argamassa de gesso	0,53	1000	837
Argamassa de cal e gesso	0,70	1200	837
Argila	0,72	1720	
Cerâmica	0,46	variável	837
Borrachas sintéticas	0,20-0,46	1000-1550	
Concreto comum	1,28-1,74	2000-2400	1005
Concreto armado	1,75	2400	1005
Concreto leve com vermiculita	0,17-0,50	600-1400	963
Placa de concreto com vermiculita (industrializada)	0,19	400	963
Concreto com argila expandida	0,85-1,05	1500-1700	963
Concreto celular (bloco)	0,05-0,50	450-600	963
Concreto sem finos	0,74-0,93	1600-1800	
Cortiça (em placas, de granulado)	0,04-0,05	100-200	1424
Gesso celular	0,50	128	
Gesso (placa)	0,35	750-1500	837
Gesso com fibras minerais	0,35	950	
Gesso projetado	0,50	1200	837
Gesso com vermiculita (1:1)	0,30	850	
Gesso com vermiculita (1:2)	0,25	600	
Madeira - balsa	0,05	90	
Fibras de madeira	0,06	140	1675
Painéis de madeira	0,05-0,24	300-1000	1424
Plásticos alveolares (poliestirenos, poliuretanos, ...)	0,03-0,05	11-95	
Telhas cerâmicas	0,93		921
Tijolo de concreto furado (8 furos) – paredes 6 mm	0,91	1700	1005
Tijolo maciço prensado	0,72	1600	921

Os concretos normais (sem aditivos), preparados com agregados leves, terão baixa condutividade térmica e coeficiente de condutividade variando de 0,1 a 0,4 W/m.K (J/s m °C). O concreto celular (com aditivos), preparado com agregados médios, tem coeficiente de condutividade entre 0,45 e 0,9 W/m.K (J/s m °C) (BAUER, 1995)

2.4.8 - Resistência térmica de isolantes térmicos

A resistência térmica (R) de um material corresponde à dificuldade de transmissão de calor e é determinada pelo quociente entre a espessura do material (e) e a sua condutividade térmica (λ):

$$R \text{ (m}^2 \cdot \text{°C/W)} = e \text{ (m)} / \lambda \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Quanto menor a condutividade térmica e maior a espessura do material, mais elevado será o isolamento térmico.

Alguns valores de resistências térmicas de elementos de construção homogêneos comuns, considerados como isolantes térmicos, são indicados na Tabela 2.8 (LABRINCHA et al , 2006):

TABELA 2.8 – Resistências térmicas para espessuras comuns de alguns materiais de construção homogêneos, considerados como isolantes térmicos (LABRINCHA et al , 2006).

Material	Espessura (mm)	Resistência térmica (m²o C/W)
Espuma rígida de poliuretano	10	0,33
	20	0,67
	50	1,67
Poliestireno expandido extrudado	10	0,28
	20	0,57
	50	1,43
Lã de vidro	10	0,25
	20	0,50
	50	1,25
Poliestireno expandido moldado	10	0,25
	20	0,50
	50	1,25
Fibra de coco	10	0,23
	20	0,45
	50	1,14
Lã de Rocha	10	0,22
	20	0,44
	50	1,11
Aglomerado negro de cortiça	10	0,22
	20	0,44
	50	1,11
Materiais granulares leves ou fibras soltas	10	0,20
	20	0,40
	50	1,00
Aglomerados de partículas de madeira – prensadas	10	0,08
	20	0,16
	50	0,42
Aglomerado de fibras de madeira – leve	10	0,17
	20	0,34
	50	0,86
Aglomerado de partículas de madeira extrudadas	10	0,06
	20	0,12
	50	0,31
Aglomerado de fibras de madeira – denso	10	0,05
	20	0,10
	50	0,25
Gesso acartonado	10	0,03
	13	0,04
	20	0,06

2.4.9 – Alguns tipos de elementos construtivos para isolamentos térmicos.

Painéis em estrutura sanduíche com núcleo de espuma rígida de Poliuretano (PUR) ou de Poliisocianurato (PIR), ou de EPS, e revestimento de aço pré-pintado ou inox (Figura 2.16), são fabricados com a intenção de serem usados como divisórias ou isolantes térmicos, com comprimentos variáveis, de acordo com o projeto e/ou as condições de transporte:

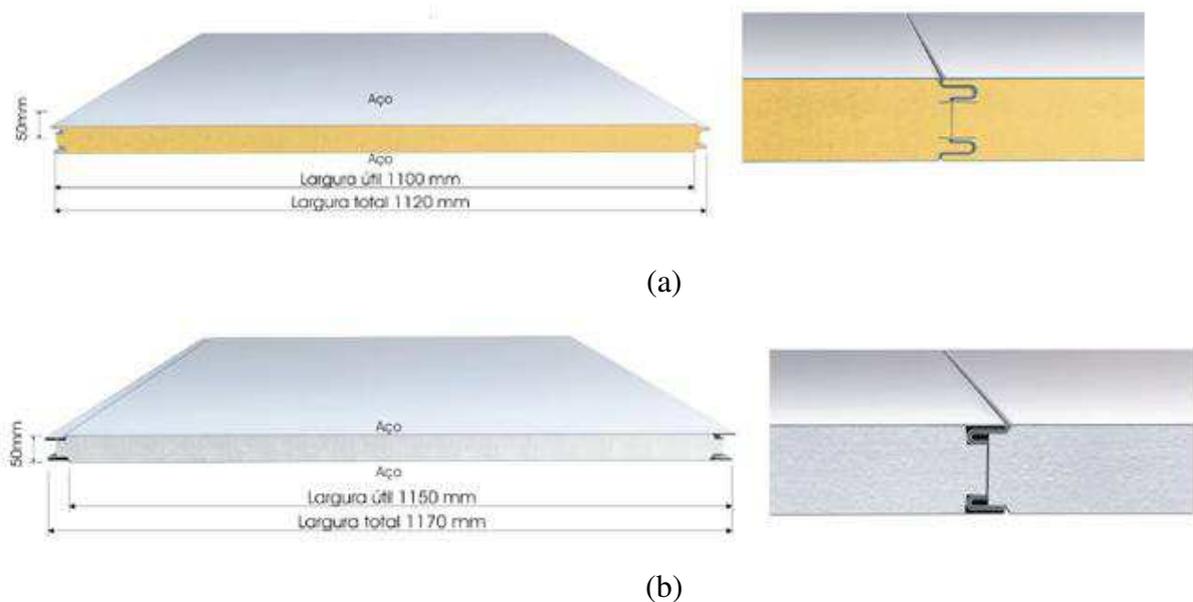


FIGURA 2.16: Painel em estrutura sanduíche com núcleo de espuma rígida de (a) Poliuretano (PUR) ou de Poliisocianurato (PIR) ou (b) EPS e revestimento de aço pré-pintado ou inox (ISOESTE)

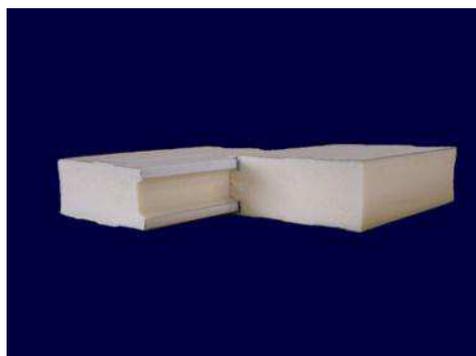
A densidade do núcleo desses painéis varia de 38 a 42 kg/m³, com coeficiente de condutividade térmica de 0,017 Kcal/h.m°C, para o PUR e o PIR, e de 0,028 Kcal/h.m°C para o EPS. A condutividade térmica é de 0,42 Kcal/h.m²°C para a estrutura com núcleo de PUR ou PIR e de 0,51 Kcal/h.m²°C para a estrutura com EPS (ISOESTE).

Outro tipo de painel isotérmico que também pode ser usado em diversas áreas que necessitem de controle de temperatura, como forros, divisórias, câmaras frigoríficas, estufas, etc., possuem núcleo de EPS, com densidade de 14 kg/m³, revestido por chapas finas de zinco, pré-pintadas. Com comprimentos variáveis, têm largura útil de 1150 m e espessura de 50 até 250 mm. Possuem densidade bruta de 780 kg/m³, com coeficiente de condutividade térmica de 0,22 W/m.°C (Figura 2.17) (ISOREVEST).

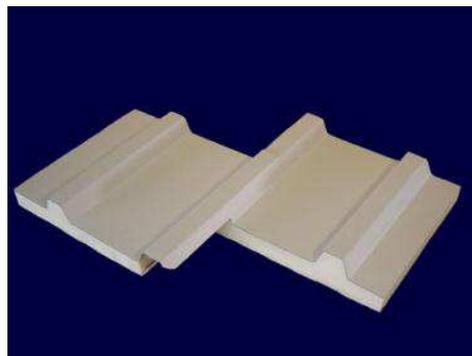


FIGURA 2.17 : Pannel isotérmico com núcleo de EPS, revestido por chapas finas de zinco, pré-pintadas (ISOREVEST).

Outra opção são painéis sanduíches, para fachadas ou coberturas, formados por duas chapas galvanizadas ou termolacadas, plastificadas ou de aço inox, com espessura de 0,55 mm, ligeiramente nervuradas ou lisas com um núcleo de poliuretano (PUR) de densidade 42 kg/m³. Esses painéis apresentam condutividade térmica de 0,022 Kcal/h m°C (Figura 2.18) (MASTERBLOCK).



(a)



(b)

FIGURA 2.18: Painéis sanduíche (a) para fachadas e (b) para coberturas (MASTERBLOCK).

Existem também os tijolos isolantes aluminosos e sílico-aluminosos (Figura 2.19), que foram desenvolvidos para atender as necessidades de isolamento térmico e alta resistência mecânica. São tijolos muito estáveis, resistentes a temperaturas de 1200°C a 1700°C, com densidades variando de 0,5 a 1,7 g/cm³ e condutividade térmica de 0,251 a 0,658 W/m.°C Geralmente são utilizados como isolantes térmicos em vários tipos de fornos e incineradores (FORZA DO BRASIL).



FIGURA 2.19 : Tijolos isolantes aluminosos ou sílico-aluminosos (FORZA DO BRASIL)

Foram desenvolvidas placas cimentícias reforçadas com fios sintéticos - CCFS (2,40 m x 1,20 m, com espessuras de 6, de 8 e de 10 mm), composta de uma mistura homogênea de cimento, celulose, fios sintéticos e aditivos. Utilizada principalmente no revestimento de colunas e vigas metálicas, decoração e design, a placa cimentícia proporciona melhorias no acabamento da obra. Apresenta boa relação custo x benefício, pois a praticidade, rapidez de montagem e a redução de mão de obra com o mínimo de desperdício de material, proporcionam a redução do cronograma da obra, além de eliminar os serviços tradicionais de chapisco, emboço e reboco das paredes convencionais (Figura 2.20). São relativamente leves, com boa resistência a impacto e a umidade, incombustíveis e servem como isolamento térmico e acústico. Com uma densidade de $1,70 \text{ g/cm}^3$, possui condutividade térmica de $0,35 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ e resistência à flexão de 14 MPa (CONSTRUPOR)



FIGURA 2.20 : Placa cimentícia reforçada com fios sintéticos (CONSTRUPOR)

Além do Painel Wall, composto de um miolo de madeira sarrafeado, contraplacado em ambas as faces por lâminas de madeira e externamente por chapas lisas cimentícias CCFS (cimento, celulose e fio sintético), existe outro que é conhecido como Painel EPS – Isolante. Esse elemento é do tipo sanduíche, composto de uma placa central de EPS - isopor®, revestido externamente por chapas lisas cimentícias CCFS (cimento, celulose e fio sintético), de 4 a 6 mm, coladas a placa de EPS. O objetivo desta inovação é ter um painel industrializado modular, de forma a atender a função de vedação, isolamento térmico e acústico com a utilização mínima de mão de obra para sua instalação (Figura 2.21). O Painel EPS – Isolante foi idealizado para atender novas necessidades do mercado da construção, podendo ser aplicado em: fechamento de galpões; divisórias internas e externas; canteiros e alojamentos de obras; construções comerciais e hospitalares; projetos modulares; paredes isolantes; forros isolantes; stand de vendas; etc. (CONSTRUPOR).



FIGURA 2.21 : Painel EPS – Isolante e aplicações (CONSTRUPOR)

Os painéis EPS – Isolante, apresentam as dimensões, conforme a Tabela 2.9:

TABELA 2.9 : Dimensões dos Painéis EPS – Isolante (CONSTRUPOR)

Largura(mm)	Comprimento(mm)	Espessura(mm)	Peso(kg)
1200	2500	35	46,0
		70	47,5
		120	48,5

Chapas de gesso acartonado, com diferentes especificações, medidas e espessuras foram desenvolvidas para atender às várias necessidades de aplicação. São chapas fabricadas industrialmente, mediante um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão, em que uma é virada sobre as bordas longitudinais e colocada sobre a outra. As chapas de gesso devem ser produzidas de acordo com as normas ABTN: NBR 14715:2001, NBR 14716:2001 e NBR 14717:2001. São indicadas para uso geral, sendo normalmente utilizadas em paredes, tetos e revestimentos de áreas secas. Apresentam-se de vários tipos e características, como: chapas padrão, resistentes à umidade, resistentes ao fogo, para revestimento em curvas e com proteção ao fogo. As chapas padrão: são normalmente utilizadas em paredes, tetos e revestimentos de áreas secas. Suas características são indicadas na Tabela 2.10 (CONSTRUPOR):

TABELA 2.10: Características de chapas padrão de gesso acartonado (CONSTRUPOR).

Espessura(mm)	9,5	12,5	15
Peso (kg/m ²)	6.5 a 8.5	8 a 12	10 a 14
Largura (mm)	600 ou 1.200		
Comprimento (mm)	De 1.800 a 3.600		
Densidade (kg/m ³)	685 a 895	640 a 960	667 a 934
Coefficiente de condutividade térmica (kcal/h.m.°C)	0,16		

2.4.10 – Técnicas de caracterização térmica dos materiais

Os métodos padrões adotados para a determinação das propriedades térmicas de materiais tentam manter as condições de testes, tão próximas quanto possível, das situações em que são utilizados tais materiais.

A condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico, conhecidas como propriedades térmicas ou termofísicas, são as mais importantes do ponto de vista de cálculos térmicos (SANTOS, 2005). Para a caracterização de materiais existe um grande número de técnicas, cada uma com sua particularidade e importância estando intimamente associadas às propriedades intrínsecas de cada material.

Conforme o fluxo de calor utilizado, os métodos experimentais de caracterização térmica dos materiais podem ser classificados em dois grupos: métodos em regime permanente e métodos em regime transiente. Existem também métodos calorimétricos para se determinar o calor específico.

I - Métodos em regime permanente

Nesses métodos a temperatura é constante, permitindo a medição apenas da condutividade térmica em um regime estacionário de calor. O comportamento do fluxo de calor (Q), em W/m^2 , depende do gradiente de temperatura (ΔT), em $^{\circ}C$, e da resistência térmica (R), em $m^2 \cdot ^{\circ}C / W$, do material, onde:

$$Q = \Delta T / R$$

I.1) Método da placa quente protegida:

O método da placa quente protegida é utilizado para medir a condutividade térmica de materiais com condutividade inferior a $3,5 W/m.K$ (MOURA et al, 1993).

O equipamento para medição é constituído de uma placa quente e outra fria, onde entre essas, é colocada a amostra, formando um conjunto termicamente isolado. A amostra é submetida a um fluxo de calor, que ao atingir o regime permanente, fornece o valor do gradiente de temperatura. Esse fluxo de calor, através da amostra, é obtido a partir da quantidade de energia fornecida para manter constante a temperatura da placa quente. A temperatura é medida a partir de termopares. A obtenção da condutividade térmica se faz

através da solução da equação de Fourier que simula o modo de transferência de calor por condução (meio sólido) em regime permanente neste caso. A lei de Fourier define que o calor que atravessa unidirecionalmente um material sólido é proporcional a diferença de temperatura entre as faces medidas e também em relação à área perpendicular a direção do calor, sendo inversamente proporcional à espessura da amostra. Apesar da simplicidade do modelo térmico usado no método da placa quente compensada, algumas restrições podem ser citadas. Por exemplo, o tempo demorado para atingir o regime permanente, a variação de paralelismo e planicidade que possibilita a falta de contato entre as placas, ocasionando a fuga de calor lateral que compromete a condição de fluxo de calor unidirecional (Figura.2.22).

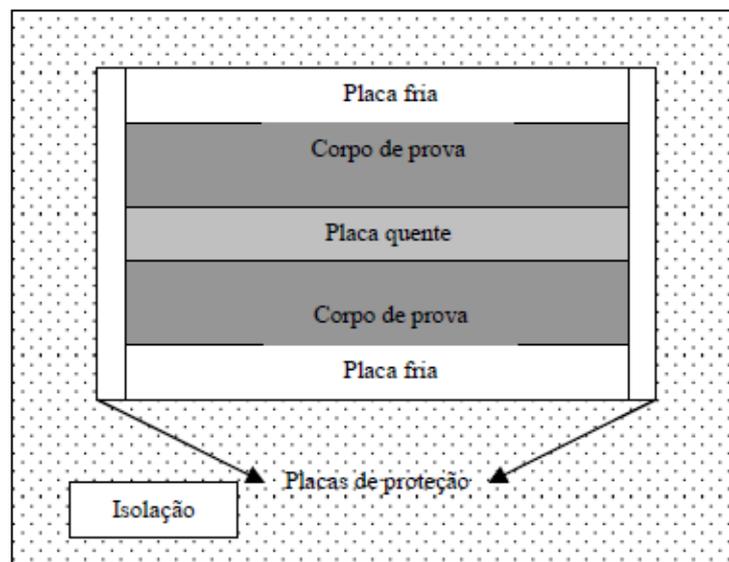


FIGURA 2.22: Esquema do método da placa quente protegida

Calcula-se a condutividade térmica, a partir do fluxo de calor obtido, pela medida da potência liberada através da placa aquecedora, através da equação:

$$k = q_d \cdot L / 2A\Delta T \quad (\text{eq 1})$$

onde:

k – condutividade térmica (W / m °C)

q_d – potência dissipada pela placa quente (W)

L – espessura das amostras (m)

A – área da geração de fluxo de calor (m²)

ΔT – diferença das temperaturas entre as faces opostas da amostra (°C)

I.2) Método fluximétrico

Esse método é semelhante ao das placas quentes protegidas, porém, aplicado a materiais manufaturados e isolantes térmicos de edificações, fornece meios de se determinar propriedades de resistência e transmitância térmica desses materiais, através da aplicação de uma densidade de fluxo de calor constante e unidirecional.

II - Métodos em regime transiente

Os métodos de regime transiente as medidas das temperaturas são efetuadas em função do tempo, fornecendo meios de se determinar além da condutividade térmica, a difusividade térmica dos materiais.

II.1 - Método do fio quente

O método de fio quente é um método direto, absoluto e não estacionário. Inicialmente, essa técnica de medida foi utilizada na determinação da condutividade térmica de líquidos. Posteriormente, o método do fio quente passou a ser usado na determinação da condutividade térmica de outros materiais, e, hoje em dia é considerado como uma técnica precisa na determinação da condutividade térmica (SANTOS, 2005).

Para uma formulação matemática do método, o fio quente é assumido ser uma fonte de calor ideal (massa = 0 e, portanto, capacidade térmica = 0), infinitamente longa e fina (diâmetro = 0), a qual é circundada até o infinito pelo material cuja condutividade térmica pretende-se determinar. Ao passar uma corrente elétrica constante através do fio, uma quantidade constante de calor, por unidade de tempo e por unidade de comprimento, é liberada pelo fio e vai se propagar através do material. Essa propagação de calor num meio infinito gera, no material, um campo transiente de temperaturas. Hoje são conhecidas quatro variações do método de fio quente: técnica padrão, técnica em paralelo, técnica de resistência e técnica de dois termopares. O modelo teórico é o mesmo, sendo que a diferença básica entre essas variações está no procedimento de medida da temperatura. Consequentemente, a equação final obtida para o cálculo da condutividade térmica é diferente para cada uma dessas variações.

II.2 - Sondas térmicas

È uma técnica desenvolvida para meio porosos. As sondas térmicas têm a função de dissipar calor (efeito Joule), atuando como um termômetro de resistência, medindo a temperatura no interior da amostra através da variação da resistência do elemento aquecedor, medida através de termopares. Esse método se utiliza de equações simples, obtendo de forma direta, as propriedades térmicas, porém é um experimento destrutivo.

II.3 - Método flash

É uma técnica mundialmente conhecida para a determinação da difusividade térmica dos materiais. Atualmente apresenta vantagens como:

- Caracterização de inúmeros materiais, dentro de uma larga faixa de difusividade térmica (10^{-7} m²/s a 10^{-3} m²/s) e de temperatura (75 K a 2800 K).
- Possui uma medição precisa, num procedimento experimental rápido.
- São necessários corpos de prova pequenos.

Inicialmente esse método era usado para amostras opacas e homogêneas, porém, atualmente tem ampliado seu campo de atuação, podendo ser aplicado para outros materiais como: meios anisotrópicos, meios transparentes, materiais compósitos, amostras de camadas múltiplas, líquidos, entre outros.

O procedimento é feito aplicando-se na face frontal de uma amostra, pequena e fina, em forma de disco, um pulso de energia radiante e de curta duração, geralmente lançado por um laser, uma lâmpada flash ou um feixe de elétrons, registrando-se a variação de temperatura na face posterior. Calcula-se, assim, a condutividade térmica, após a determinação da difusividade e do calor específico.

Foram desenvolvidos vários modelos matemáticos para identificação da difusividade térmica, pelo método flash, como: modelo de Parker, modelo de Cowan, modelo de Cape e Lehman e modelo de André e Degiovanni.

II.4 - Método calorimétrico

Utilizando-se desse método, consegue-se medir o calor específico através de técnicas que permitem a obtenção de outras propriedades como capacidade calorífica, variações de

entalpias e temperaturas de mudança de estado. Pode ser aplicado em vários tipos de materiais ou produtos. Entre as técnicas disponíveis para determinar calor específico de materiais, tem-se o DSC (Calorimetria Diferencial de Varredura).

2.5 – ISOLAMENTOS TÉRMICOS ENCONTRADOS NO COMÉRCIO LOCAL.

TABELA 2.11 - Isolamentos térmicos, validados, encontrados no comércio local.

Produto	Material constituinte	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Kg/m ²	Densidade aproximada (Kg/m ³)	Resistência à Flexão (MPa)	Resistência Térmica (m ² C/W)	Condutividade térmica (W/m°C)
Painel Wall Eternit	Miolo de madeira laminada ou sarrafeada, contraplacada, em ambas as faces, por lâminas de madeira e externamente por placas cimentícias em CRFS (Cimento Reforçado com Fio Sintético) prensadas.	2100	1200	40	32	800			
		2500							
		2750							
		3050		55	37,51	682			
		2100							
		2500							
		2750							
3050									
Eterplac (placa cimentícia)	Placa cimentícia reforçada com fios sintéticos (CRFS)	2000 / 2400 / 3000	1200	6	10,2	1400 - 1700	11-14		0,48
8				13,6					
10				17					
12		20,4							
Eterplac Wood (com aspecto de madeira)		2000		8	13,6				
				10	17				
Eterplac Stone (com aspecto de pedra – ardósia)		2400		8	13,6				
				10	17				

Produto	Material constituinte	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Kg/m ²	Densidade aproximada (Kg/m ³)	Resistência à Flexão (MPa)	Resistência Térmica (m ² C/W)	Condutividade térmica (W/m°C)
Chapas ST - Standard	Gesso	2400	1200	6,4	5,5				
				9,5	8				
1800-3000		12,5		8,5					
		15		10,6					
Chapas ST - FGA		2000	600	12,5	9,2				
Chapa RU - Resistente à umidade		1800-3000	1200	12,5	9				
				15	10,6				
Chapa RF - Resistência ao Fogo		2400		12,5	9,75				
				15	11,3				
Chapas WAB				12,5	14				
Ladura	12,5			11					
Chapa Cimentícia		2400	1200	10	17				
Deco / Synia Deco 4BR	Gesso	2400	1200	12,5	9				
Chapa FGR - Liso / Linho		618	618	9,5	7,4				
			1243						
		1240	2510						
Chapa GypSOM - Alta Desempenho em Absorção Acústica - BR ou BQ		2400	1200	12,5	10-12,53				
		2400		12,5	9,27-10,66				
BR18S	2400	900	18	17			0,79	0,032	

Produto	Material constituinte	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Kg/m ²	Densidade aproximada (Kg/m ³)	Resistência à Flexão (MPa)	Resistência Térmica (m ² C/W)	Condutividade térmica (W/m°C)
Decorsound - isover	Lã de vidro, revestida com tecido na face aparente e laterais.	600	600	25					
Isosound - isover	Lã de vidro aglomerada com resinas sintéticas e revestimentos variados (tecidos de vidro, véu de vidro ou glass fabric)	2400	1200	50		40		1,52	0,033
			1000						
			1200	75				2,27	0,033
			1000						
Painéis acústicos sonare	Lã de vidro, revestida com tecido sintético na face aparente e laterais (perfis internos ao revestimento)	2700	1200	25		80		0,79	0,032
Painéis acústicos sonare aquarele	Lã de vidro, revestida com tecido de vidro na face aparente e laterais (perfis internos ao revestimento)		800						
Prisma - isover	Lã de vidro, revestida com véu de vidro (decorativo na face aparente)	1250	625		2	80		0,79	0,032
Optima - Parede	Lã de vidro, aglomerada com resinas sintéticas, revestida com papel Kraft.	1350	600	20				0,53	0,038
Optima - Forro		1350	600						
Optima - Piso	Painel rígido, constituído por lã de vidro, aglomerada com resinas sintéticas, revestido com película branca impermeável.	1200	1200	15					
Wall Decor 3d - artimage	Bagaço de cana compactado e gesso	500	500	15					

É sabido que a prática do desenvolvimento sustentável é uma realidade presente em vários segmentos da sociedade. A questão ambiental rege todos os setores produtivos da sociedade atual. Além do consumo de recursos naturais, outro fator importante, para questão ambiental, é a geração de resíduos sólidos nas cidades, devido ao processo de urbanização e ao crescimento das atividades industriais.

Em busca do desenvolvimento de tecnologias eco sustentáveis, pesquisas no setor de construções visam à obtenção de materiais de alta eficiência energética, fabricados com resíduos sólidos industriais ou oriundos de fontes renováveis, que tenham bom desempenho e atendam às expectativas atuais de durabilidade e resistência.

A reciclagem e/ou a reutilização de resíduos industriais são soluções que conciliam vários aspectos, como: custo de deposição, tratamentos, tipo e quantidade de resíduos, tecnologia e processos de utilização e, finalmente, o impacto econômico e ambiental da reciclagem.

A utilização de materiais não convencionais para construção civil, produzidos com resíduos industriais, é cada vez maior, principalmente para obras de interesse social. Isso se deve tanto à carência de uma melhor infraestrutura, quanto ao aumento da produção em segmentos produtivos como os calçadistas, químicos e metalúrgicos.

CAPÍTULO 3**MATERIAIS E MÉTODOS****3.1 – MATERIAIS****3.1.1 – AGLOMERANTES****I - Cimento**

Para produção dos compósitos, foi utilizado cimento Portland tipo CP II F – 32, adquirido no comércio local, em sacos de papel do tipo “Kraft” de 50 kg.

Algumas características físicas desse cimento, conforme o fabricante, estão apresentadas na tabela 3.1:

TABELA 3.1 – Características físicas do cimento Portland CP II F – 32

Características	Unidade	Valor
Finura Malha n° 200	%	≤12
Área Específica (Blaine)	cm ² /g	≥ 2600
Início de Pega	h:min	≥1:00
Fim de Pega	h:min	≤10:00
Resistência à Compressão Simples aos 28dias	MPa	≥32

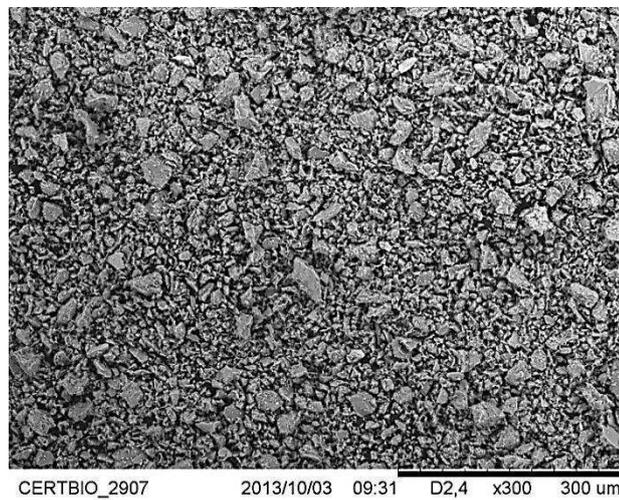
II - Gesso

Outro aglomerante utilizado foi o gesso. Acondicionado em embalagens plásticas de 5 Kg, foi adquirido em uma distribuidora local. Segundo tal distribuidora, esse gesso é proveniente do polo gesseiro do Araripe, em Pernambuco, contendo sulfato de cálcio, resinas e aditivos orgânicos. A distribuidora recomenda, para 1 Kg desse gesso, o uso de 600 ml de água (fator água\gesso de 0,6), conseguindo-se assim, um tempo de trabalhabilidade de 50 a 65 minutos.

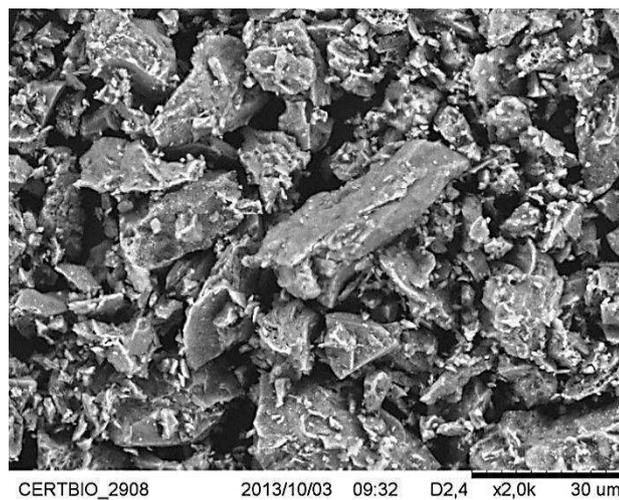
3.1.2 – MATERIAIS POZOLÂNICOS

I - Resíduo cerâmico

Foram utilizados resíduos provenientes da Cerâmica Caiongo Ltda., localizada no município de Santa Rita, PB. Esses resíduos foram gerados na produção de blocos e telhas cerâmicos, derivados de peças defeituosas, quebradas ou fora dos padrões comerciais (Figura 3.1).



(a)



(b)

FIGURA 3.1: Microscopia eletrônica de varredura (MEV) do resíduo cerâmico utilizado

II - Metacaulinita

A metacaulinita foi adquirida no comércio de João Pessoa, PB, em sacos de papel do tipo “Kraft”, de 20 kg. De acordo com o fabricante, algumas características dessa metacaulinita estão listadas na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 – Características da metacaulinita utilizada.

Características	Resultado
% retida na peneira malha nº 200	1%
Finura Malha nº 200	2400 m ² /Kg
Cor	Branca
Nome químico	Silicato de Alumínio
Estabilidade	Estável
Reatividade	Inerte
% média por peso de perda ao fogo	0,81%
Combustibilidade	Não combustível

3.1.3 – FIBRAS DE SISAL

Foram utilizadas fibras de sisal produzidas no município de Pocinhos, PB (Figura 3.2).

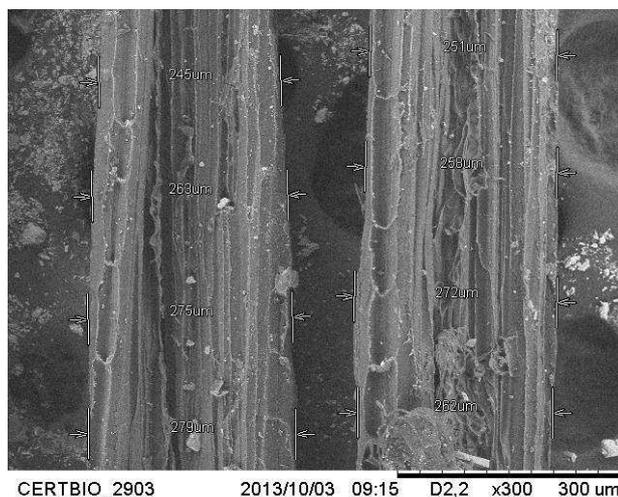


FIGURA 3.2: Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da fibra de sisal utilizada.

Propriedades físicas e mecânicas de fibras de sisal, de acordo com alguns pesquisadores, estão apresentadas nas Tabelas 3.3 e 3.4.

TABELA 3.3 - Propriedades físicas e mecânicas de fibras de sisal (TOLÊDO FILHO, 1997).

Referência	ϕ_f (mm)	γ (kN/m ³)	ABS (%)	f_t (MPa)	MOE _f (GPa)	ϵ_{fu} (%)
CEPED (1982)		12,7	240	458	15,2	4,2
Mukherjee et al (1984)	0,1-0,3	14,5		530-630	17-22	4,3
Agopyan (1991)	0,2-0,3	12-13	123-137	374-378		5-5,5
Tolêdo Filho (1990)	0,08-0,3	7,5-11	190-250	227-1002	11-27	2-4,2

ϕ_f – diâmetro; γ – peso específico; ABS – absorção; f_t – resistência à tração; MOE_f – módulo de elasticidade, ϵ_{fu} – deformação máxima

TABELA 3.4 - Propriedades físicas e mecânicas de fibras de sisal (MOTA et al, 2007).

Fibra	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Deformação máxima (%)	Massa Específica (g/cm ³)	Diâmetro (μ m)
Sisal	13,4	467,04	4	1,511	174,2

3.1.4 – AGREGADO LEVE

I - Composto Estireno Butadieno - SBR

O agregado leve utilizado, constituído de um composto de SBR, é o resíduo proveniente de uma indústria calçadista, da cidade de Campina Grande, resultado do processo de fabricação de sandálias. O SBR é formado pela emulsão de dois polímeros - o butadieno (CH₂=CH-CH=CH₂) e o estireno (C₆H₅-CH=CH₂).

SILVA (2012) estudou esse material, classificando-o como CLASSE I – PERIGOSO, por ter apresentado em seu extrato lixiviado, metais pesados, com valores acima do estabelecido em norma. Observou que, o revestimento do SBR com camada de pasta de cimento tem o potencial de isolá-lo, viabilizando seu uso em aplicações que tenham contato temporário com água. SILVA (2012) cita ainda que, o SBR é hidrofóbico e possui dificuldade

de interação com o cimento; é muito poroso, com índice de vazios de 57,06% com poros de diâmetro médio de 3,6413 μ m; entretanto não é permeável.

Segundo RIOS (2008), os compósitos cimento:SBR com traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6, submetidos à chama durante os tempos preestabelecidos, tiveram um comportamento de resistência a combustibilidade, caracterizado pela ausência de chama ou incandescência até o prendedor. Concluiu então que, tais compósitos não são combustíveis perfeitos, pois a presença do retardante (cimento) inibiu a queima.

3.1.5 – ÁGUA

Foi utilizada água proveniente do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande – PB.

3.1.6 – SUPERPLASTIFICANTE

Para moldagem dos traços do revestimento, foi usado o superplastificante MSET, que, de acordo com o fabricante, apresenta as seguintes características:

Cor do líquido: marrom

Densidade: 1,21 \pm 0,03 g/cm³

pH: 8,5 a 9,5

Quantidade de sólidos: 40%

Ainda de acordo com o fabricante, o MSET superplastificante é um aditivo líquido para concreto, com baixa influência sobre o tempo de pega. Incrementa a homogeneidade do traço, com melhor dispersão dos grãos de cimento e distribuição dos agregados, com redução da segregação e exsudação. Provoca uma redução de 10 a 25% da necessidade de água do concreto, dependendo do traço utilizado, promovendo um aumento das resistências mecânicas e/ou aumento da plasticidade, facilitando a aplicação. Recomenda que deva ser adicionado junto com a água de amassamento, preferencialmente no final da dosagem de água. Quanto maior a dosagem, maior será o efeito sobre o retardamento do tempo de pega do concreto.

3.2 – MÉTODOS

Com o objetivo de propor o desenvolvimento de elementos construtivos leves para uso como isolamentos térmicos, o presente trabalho foi dividido em cinco partes:

3.2.1 - Preparação e caracterização dos materiais.

3.2.2 - Avaliação de compósitos cimentícios reforçados com fibras de sisal.

3.2.3 - Estudo de compósitos formados por resíduos de SBR, em matrizes de cimento ou de gesso.

3.2.4 - Elaboração de estruturas, formadas pelos compósitos estudados: Sugestões de técnicas de moldagem e análise de propriedades físico-mecânicas e de condutividades térmicas.

3.2.5 - Proposta de elementos construtivos, baseada na análise das características das estruturas elaboradas.

As partes 3.2.2; 3.2.3 e 3.2.4 foram subdivididas.

Compararam-se as propriedades físico-mecânicas dos compósitos estudados e das estruturas elaboradas.

Foram feitas análises estatísticas multivariadas e através do teste de Tukey.

Analisou-se também, os compósitos com SBR e as estruturas elaboradas, através de fotografias ampliadas.

As propriedades físico-mecânicas também foram avaliadas através da adaptação dos cálculos dos Fatores de Eficiência, segundo ROSSIGNOLO (2003).

ROSSIGNOLO (2003) define como parâmetro fundamental para avaliação de concretos leves, o cálculo do fator de eficiência, que leva em consideração a massa específica seca e a resistência à compressão simples do material, expresso matematicamente pela equação abaixo (eq. 1):

$$F_{ef} = f_c / \lambda \quad (\text{eq. 1})$$

onde:

f_c - resistência a compressão, MPa;

λ - massa específica seca do concreto, kg dm^{-3} (g cm^{-3})

O mesmo autor cita ainda que, considera-se concreto leve de alto desempenho, os que demonstram fator de eficiência da ordem de 25 MPa kg dm⁻³ (25 MPa g cm⁻³).

Adaptando-se os cálculos, foram determinados esses fatores para outras propriedades dos compósitos e das estruturas, e, comparados os resultados.

Visando-se a elaboração de compósitos e estruturas leves, para o desenvolvimento de elementos construtivos, principalmente destinados a proteção térmica de alvenarias, são necessários valores baixos de algumas propriedades, como: capacidade de absorção, índice de vazios e densidade. No entanto, para tais propriedades, deverão ser considerados também valores baixos do Fator de Eficiência, segundo ROSSIGNOLO (2003). Dessa forma, para esse trabalho, esses parâmetros foram denominados de Fator de Absorção, Fator de Índice de Vazios e Fator de Densidade, que devem possuir valores mais baixos possíveis para atenderem aos objetivos propostos.

O trabalho foi executado da seguinte forma:

3.2.1 - PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Nessa fase do trabalho foi realizado um preparo prévio de alguns materiais

- Para evitar a hidratação prematura, o cimento foi acondicionado em sacos plásticos, sendo lacrados e armazenados em tonéis de plástico.
- A metacaulinita, tal como o cimento, também foi acondicionada em sacos plásticos e armazenada em tonéis de plástico.
- As fibras de sisal foram limpas, selecionadas e cortadas, através de uma tesoura manual, em comprimentos variando entre 25-30 mm, seguindo-se recomendações de TOLÊDO FILHO (1997).
- O resíduo cerâmico foi triturado em um moinho de bolas, até que 100% do material moído passasse na peneira ABNT n°100 (abertura de malha, #0,15mm) e acondicionado em tonéis de plástico. Para ser usado, foi passado na peneira ABNT n° 325.
- Para uso como agregado leve, o resíduo à base de SBR foi triturado em um moinho de facas, peneirado e separado por tamanho de partículas, em baldes plásticos, para composição da granulometria adequada. A cada tamanho de partícula (granulometria) relacionou-se um número, para melhor entendimento durante a execução do trabalho.

Os materiais foram submetidos a ensaios de caracterização, através da análise granulométrica por difração laser (AG), da análise química por fluorescência de raios X (EDX), da difração de raios X (DRX), da análise termogravimétrica (ATG) e da análise térmica diferencial (ATD), em laboratórios da UFCG.

- Análise granulométrica por difração a laser (AG): neste método é combinada a relação proporcional entre a difração a laser e a concentração e o tamanho de partículas. Para tanto, foi utilizado o granulômetro CILAS, modelo 1064.

- Análise química por fluorescência de raios X (EDX): depois de secas, as amostras foram peneiradas e submetidas à análise química por fluorescência de raios X, no equipamento EDX 720 da Shimadzu. Esse ensaio analisou a presença de óxidos presentes na amostra do material, através de interações entre radiação eletromagnética e matéria.

- Difração de raios X (DRX): as análises por DRX das amostras foram realizadas em equipamento XRD 6000 da Shimadzu, com radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40kV, corrente de 30 mA, modo “fixed time”, com passo de $0,02^\circ$ e tempo de contagem de 0,6 s, com ângulo de 2θ percorrido de 10° a 60° e velocidade do goniômetro de $2^\circ/\text{min}$.

- Análise térmica diferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG): verificou-se a perda de massa de uma amostra do material, submetida a uma temperatura controlada. Foram realizadas, em equipamento SHIMADZU, modelo DTG-60H com taxa de aquecimento $12,5^\circ\text{C}/\text{min}$ até a temperatura de 1000°C .

Realizou-se um ensaio para determinação granulométrica do resíduo de SBR, por peneiramento.

A água a ser utilizada foi submetida à análise físico-química.

3.2.2 AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE SISAL.

I - Otimização da composição adequada de uma matriz composta de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, reforçada com fibras de sisal.

Após a caracterização dos materiais, foi feito um estudo para definição de um traço adequado de compósitos que irão servir como revestimentos de estruturas destinadas a elaboração dos elementos construtivos. Esses compósitos são à base de cimento, reforçados com fibras de sisal.

Através da bibliografia estudada, no intuito de melhorar a eficiência de compósitos de matriz de cimento reforçados com fibras de sisal, foi substituída parte do cimento dessa matriz por material pozolânico.

Nessa etapa foram feitas misturas de cimento (CIM), resíduo cerâmico (RC) e metacaulinita (MC) para serem submetidas ao ensaio de análise termogravimétrica e térmica diferencial, aos 28 dias de cura em água, com o propósito de se avaliar o consumo do hidróxido de cálcio do cimento. A curva termogravimétrica foi plotada considerando a porcentagem da perda de massa e a evolução da temperatura. Através dessa curva, estimou-se a quantidade de Ca(OH)_2 presente em cada amostra, através de cálculos estequiométricos:

Escolheu-se trabalhar usando-se misturas auto adensáveis, visando uma melhoria na trabalhabilidade e nas propriedades do compósito. Segundo WATANABE (2006), o concreto auto adensável pode ser produzido com alto teor de finos e relações água/material cimentício baixas, tipicamente abaixo de 0,40. Para isso, sob condições práticas, se fez necessário o uso de um superplastificante, para alcançar e manter um nível de trabalhabilidade adequado.

i) Determinação do teor adequado de superplastificante em misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita

Segundo CAMÕES (2005), a dosagem ótima de superplastificante, onde, a partir da qual não se verificam ganhos relevantes de fluidez, pode ser determinada por intermédio da realização do ensaio do Cone de Marsh (Figura 3.3). Quanto maior o tempo de escoamento medido, menor a fluidez das pastas. CAMÕES (2005) cita ainda que, a inclusão de adições afeta o comportamento reológico das pastas e a dosagem ótima de superplastificante deve ser determinada considerando a sua presença, ou seja, a quantidade de superplastificante a acrescentar em pastas deve ser referida em relação à quantidade total de pó e não só em função do teor de cimento presente na composição. O cone de Marsh consiste de um cone metálico com cavidade invertida, aberto na parte superior e com uma pequena abertura variável na parte inferior:

• Certo volume (2000 ml) de material foi colocado dentro do cone de Marsh e o tempo gasto para que outro volume pré-estabelecido (1000 ml) escoasse através do mesmo foi monitorado. No Brasil, este ensaio é regulamentado pela NBR 7682/83 – Calda de cimento para injeção - Determinação do índice de fluidez. Para a determinação do ponto de saturação ou dosagem ótima do aditivo superplastificante, existe um método, proposto por DE LARRARD et al. (1997) – método AFREM. Neste método, o ponto de saturação do aditivo é considerado como o teor de aditivo onde uma reta com inclinação de 2:5 tangencia a curva do teor de superplastificante versus logaritmo do tempo de escoamento. Segundo DE LARRARD (1997), a escolha da inclinação de 2:5 é arbitrária, porém foi adotada em função das proporções adequadas de superplastificante determinadas a partir da mesma. Foi plotado também, um gráfico do teor de superplastificante versus tempo de escoamento, determinando-se o valor adequado desse teor, para uma determinada trabalhabilidade observada. Compararam-se os resultados. O cone de Marsh utilizado está representado na Figura 3.3:



FIGURA 3.3: Ensaio do cone de Marsh

ii) Avaliação do consumo de hidróxido do cimento, pelas pozolanas utilizadas.

Após a realização desse ensaio, misturas com teor adequado de superplastificante, com relação água/material cimentício de 0,4, foram moldadas como indica a Tabela 3.5 e

Figura 3.4, para análise termogravimétrica e térmica diferencial (ATG e ATD). A curva termogravimétrica, plotada considerando a porcentagem da perda de massa e a evolução da temperatura, estimou a quantidade de Ca(OH)_2 presente em cada amostra.

TABELA 3.5 - Misturas submetidas à análise termogravimétrica, para avaliação do consumo do hidróxido de cálcio do cimento.

Mistura	CIM (%)	RC (%)	MC (%)
M 90 10 0	90	10	0
M 80 20 0	80	20	0
M 70 30 0	70	30	0
M 90 0 10	90	0	10
M 80 0 20	80	0	20
M 70 0 30	70	0	30
M 80 10 10	80	10	10
M 60 10 30	60	10	30
M 60 30 10	60	30	10
M 40 30 30	40	30	30
M 60 20 20	60	20	20
M 50 20 30	50	20	30

CIM(%): Porcentagem de cimento na mistura; RC(%): Porcentagem de resíduo cerâmico na mistura; MC(%): Porcentagem de metacaulinita na mistura

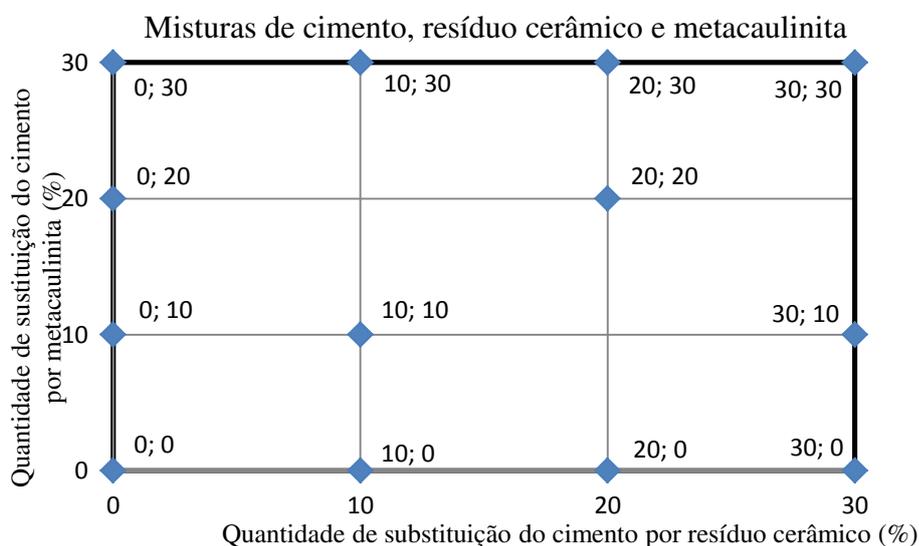


FIGURA 3.4: Misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita submetidas à análise termogravimétrica, para avaliação do consumo do hidróxido de cálcio do cimento.

iii) Determinação da resistência à compressão das misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita

As misturas que foram moldadas para avaliação do consumo do hidróxido, também foram submetidas ao ensaio para avaliação da resistência à compressão, aos vinte e oito dias de cura.

iv) Definição do teor adequado de incorporação de fibras de sisal na matriz de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.

Após a definição da mistura de cimento, metacaulinita e resíduo cerâmico, analisou-se, a influência do teor de incorporação de fibras de sisal, através dos ensaios de resistência à flexão, densidade aparente e de absorção. Foram testados teores de 1%, 2%, e 3% de fibras, na mistura definida.

II - Comparação da matriz com cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, com uma matriz de gesso.

A porcentagem de fibras de sisal que apresentou melhores resultados foi também utilizada na matriz de gesso, com teor de água/material cimentício de 0,7, conforme OLIVEIRA (2009). Foram realizados ensaios para avaliação da resistência à flexão, densidade e absorção.

3.2.3 - ESTUDO DE COMPÓSITOS FORMADOS POR RESÍDUOS DE SBR, EM MATRIZES DE CIMENTO OU DE GESSO

Durante essa etapa do trabalho, visando o desenvolvimento de elementos construtivos, foram feitas análises para definição dos traços e da pressão de moldagem a serem utilizados, na confecção de compósitos à base de cimento, ou de gesso, e resíduo de SBR.

I - Definição da composição da granulometria do agregado leve e da relação água/material cimentício apropriadas.

Foram testadas, em matriz de cimento, três composições de granulometrias do agregado leve e dois teores de água\material cimentício.

De acordo com os objetivos propostos, foram considerados valores adequados de resistência à compressão, à flexão e de absorção:

- Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados no equipamento SHIMADZU AUTOGRAPH AG IS 100KN e os de resistência à flexão na prensa eletrônica SHIMADZU AUTOGRAPH AG-X 50KN, seguindo-se as normas da ABNT.

- Para se determinar a capacidade de absorção, foi utilizada uma adaptação da norma NBR 9778 (2005), segundo SILVA (2012). Trabalhando com compósitos de cimento e resíduos de SBR, SILVA (2012) pôde perceber que o SBR é um material de difícil saturação em meio líquido, pois até a 10^a (décima) pesagem de 24 horas, não havia sido estabelecida a porcentagem de aumento do peso menor que 5%, em nenhuma das amostras ensaiadas, como cita a norma para ensaio de absorção para esse tipo de material. Portanto, após verificação dessa característica, foi considerada a 11^a (décima primeira) pesagem. Para medição do peso seco, em estufa, também foi considerada a 11^a pesagem, quando foi estabelecida a porcentagem de perda de peso menor que 5%.

II - Avaliação da influência do teor de incorporação do agregado leve e da pressão de moldagem, a serem utilizados na confecção dos compósitos.

Foram testados três teores de incorporação do agregado leve em matrizes de cimento e de gesso: 25%, 50% e 100% em relação ao aglomerante.

Para avaliar a pressão de moldagem adequada, foram considerados quatro níveis:

- Nível zero (N0) – Sem pressão (0 MPa);
- Nível um (N1) – 1,6 Kgf/cm² (0,16 MPa);
- Nível dois (N2) – 4 Kgf/cm² (0,4 MPa) e
- Nível três (N3) – 8 Kgf/cm² (0,8 MPa)

Foram realizados ensaios de resistência à flexão, capacidade de absorção, densidade aparente e análises visuais.

III - Determinação da condutividade térmica nos traços otimizados dos compósitos de cimento:resíduos de SBR e de gesso:resíduos de SBR

Para determinação da condutividade térmica dos compósitos foi utilizado o equipamento Condutivímetro K30, no LABEME – UFPB (Figura 3.5), baseando-se no método da placa quente protegida.



FIGURA 3.5: Condutivímetro K 30

Os resultados foram comparados entre si e com isolantes térmicos, validados, existentes no mercado.

3.2.4 - ELABORAÇÃO DE ESTRUTURAS, FORMADAS PELOS COMPÓSITOS ESTUDADOS: SUGESTÕES DE TÉCNICAS DE MOLDAGEM E ANÁLISE DE PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E CONDUTIVIDADES TÉRMICAS

Com os resultados das etapas anteriores, foram elaboradas estruturas revestidas em uma só face e sanduíche (em duas faces), visando o desenvolvimento de elementos construtivos, para serem usados como: divisórias, forros e isolamentos térmicos.

I - Sugestões de técnicas de moldagem.

Para moldagem das estruturas revestidas em uma face foi sugerida uma técnica de moldagem. Para as estruturas sanduíche (revestidas em duas faces) foram sugeridas duas técnicas de moldagem, denominadas de técnica A e técnica B, para esse trabalho.

II - Propriedades físico-mecânicas das estruturas revestidas em uma face

Tal como nos compósitos sem revestimentos, as estruturas confeccionadas foram submetidas a ensaios de flexão e de absorção d'água, e, determinadas as densidades aparente. Foi realizada uma análise visual.

III - Propriedades físico-mecânicas das estruturas sanduíche.

As estruturas sanduíche também foram submetidas a ensaios de flexão e de absorção d'água, além de determinação das densidades aparente e análises visuais.

IV - Determinação das condutividades térmicas das estruturas elaboradas.

Para determinação da condutividade térmica das estruturas elaboradas, também foi utilizado o equipamento Condutivímetro K30, no LABEME – UFPB (Figura 3.3), baseando-se no método da placa quente protegida.

3.2.5 – PROPOSTA DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS, BASEADA NA ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DAS ESTRUTURAS ELABORADAS

De acordo com as características de cada estrutura, foram propostos elementos construtivos para uso como divisórias e isolamentos térmicos.

3.3 – NORMAS UTILIZADAS

Durante a pesquisa, as normas foram utilizadas de acordo com a Tabela 3.6:

TABELA 3.6: Normas utilizadas durante o trabalho

Norma	Especificação
NBR 7251 (1983)	Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária
NBR 7211 (2005)	Agregado para concreto – Especificação
NBR 7213 (1984)	Agregados leves para concreto isolante térmico
NBR 7217 (1987)	Agregados: determinação da composição granulométrica
NBR 9778 (2005)	Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica
NBR 7682 (1983)	Calda de cimento para injeção - Determinação do índice de fluidez
NBR 12142	Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos.
NBR 5739 (1994)	Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos
NBR 5738 (1994)	Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto
ABNT 10004 (2004)	Resíduos Sólidos: Classificação

A Figura 3.6 representa o fluxograma da execução do trabalho:

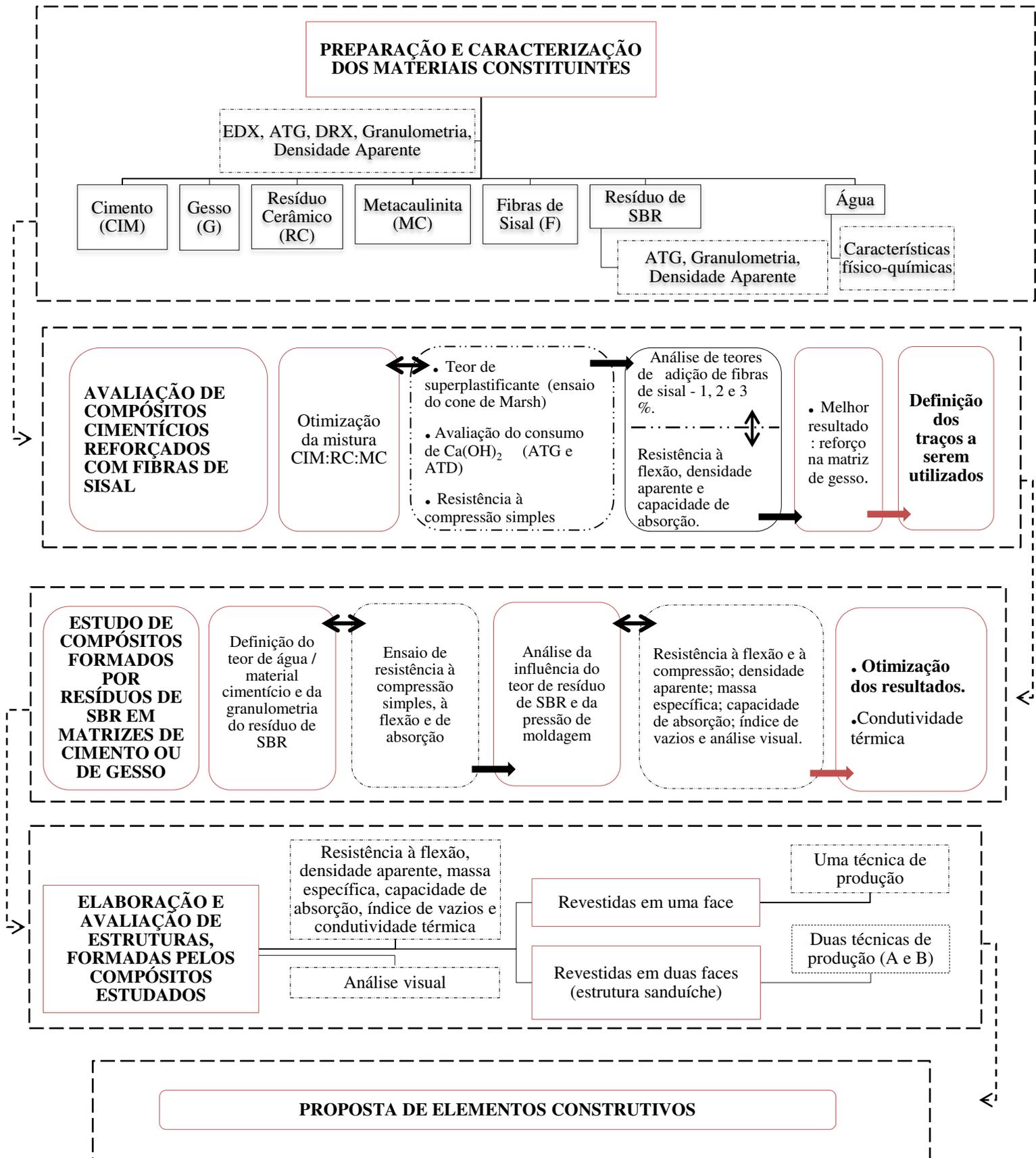


FIGURA 3.6: Fluxograma da execução do trabalho

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 – AGLOMERANTES E MATERIAIS POZOLÂNICOS

Foram realizados ensaios para caracterização química e física dos aglomerantes e dos materiais pozolânicos.

Na Tabela 4.1 estão indicadas as quantidades dos óxidos presentes no cimento, no gesso, no resíduo cerâmico que passou na peneira ABNT n° 325 e na metacaulinita, determinadas através da análise química por fluorescência de raios X (EDX).

TABELA 4.1 – Características químicas dos aglomerantes e materiais pozolânicos utilizados, determinadas através da análise química por fluorescência de raios X (EDX).

Elemento	Aglomerantes		Materiais Pozolânicos	
	Cimento	Gesso	Resíduo Cerâmico	Metacaulinita
	Quantidade (%)			
CaO	60.59	43.54	1.84	0.11
SiO ₂	20.02	0.92	54.95	50.91
Al ₂ O ₃	6.39	-	23.92	46.81
SO ₃	4.18	55.41	0.24	0.33
Fe ₂ O ₃	3.44	0.11	10.86	0.38
MgO	1.91	-	2.96	0.90
K ₂ O	1.83	-	3.58	0.49

Notou-se uma quantidade considerável de CaO nos aglomerantes, no cimento em maior quantidade, e de SiO₂ e Al₂O₃ nos materiais pozolânicos, tendo a metacaulinita uma maior proporção desse segundo. A análise evidenciou um valor alto de SO₃ no gesso e de Fe₂O₃ no resíduo cerâmico.

O ensaio de DRX (Figura 4.1) complementou a caracterização química desses materiais, de acordo com as Figuras 4.1 e 4.2.

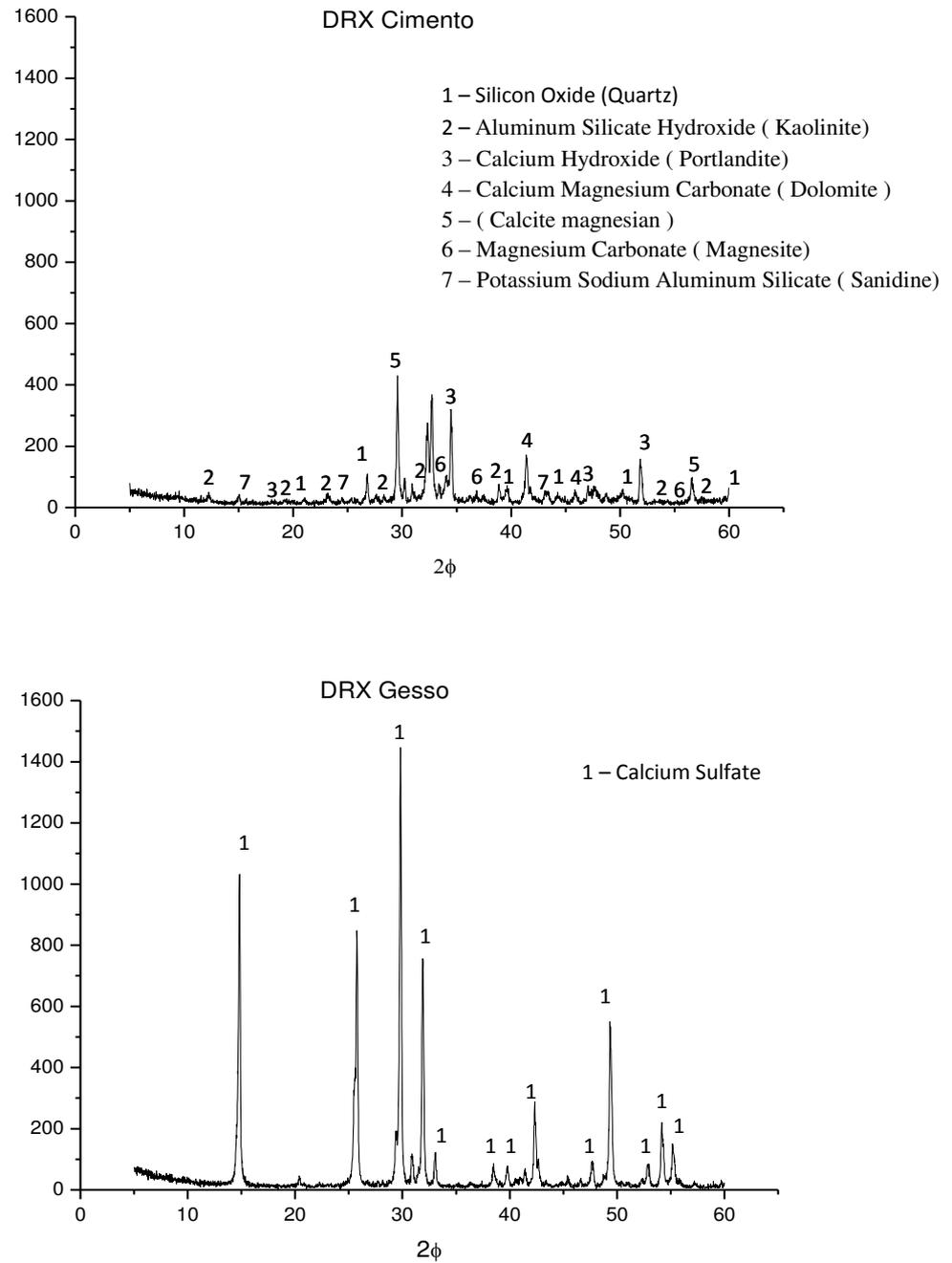


FIGURA 4.1: Gráfico do ensaio de DRX dos aglomerantes utilizados: cimento e gesso

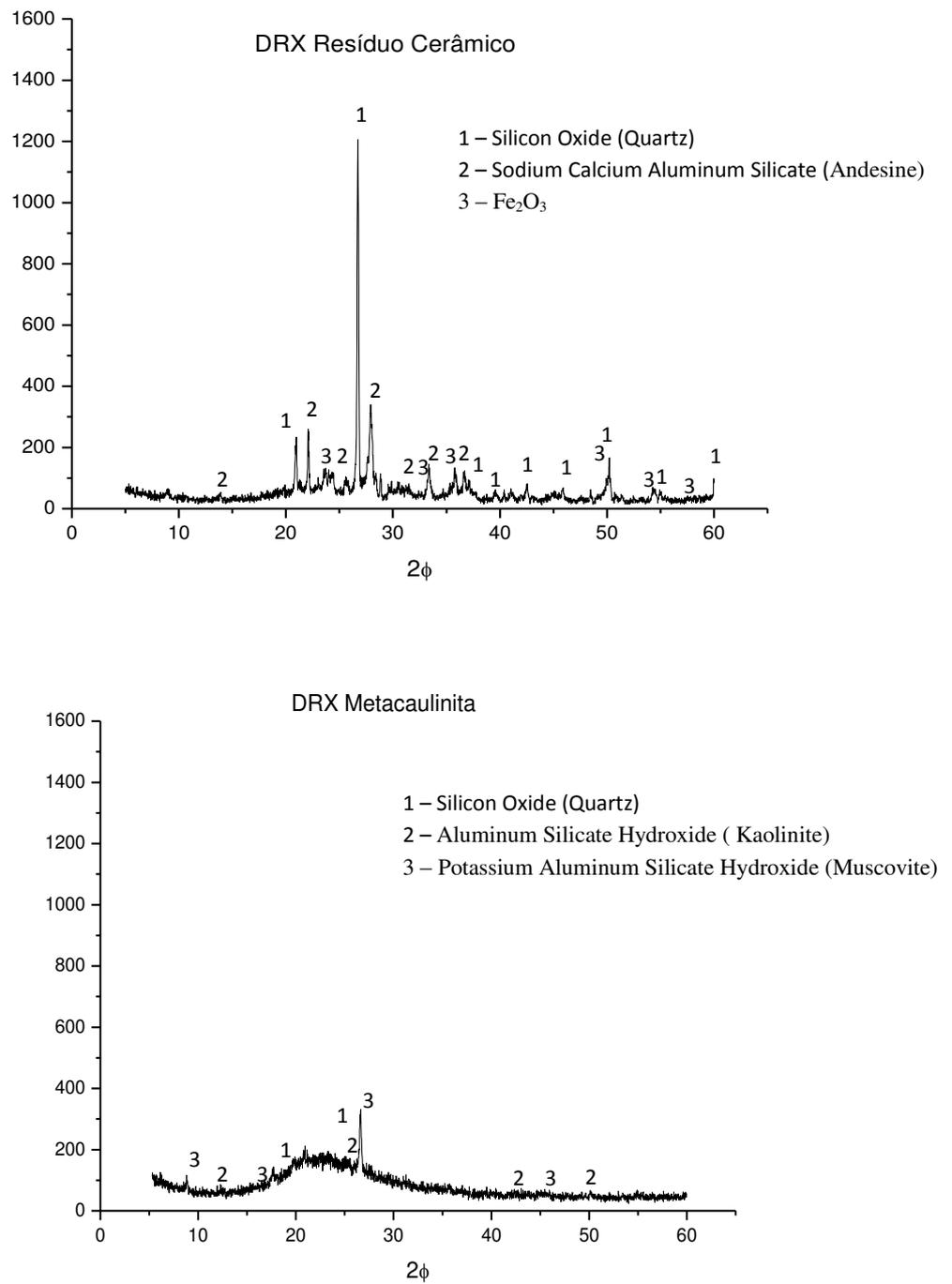


FIGURA 4.2: Gráfico do ensaio de DRX dos materiais pozolânicos utilizados.

Na análise termogravimétrica (ATG), notou-se apenas 5,025% de perda de massa sofrida pelo cimento e 9,1323% pelo gesso, com a temperatura variando até 1000°C. Considerando-se os materiais pozolânicos, notou-se resultados semelhantes de análise termogravimétrica, ocorrendo apenas 0,5518% de perda de massa sofrida pelo resíduo cerâmico e 0,5083% pela metacaulinita (Figura 4.3).

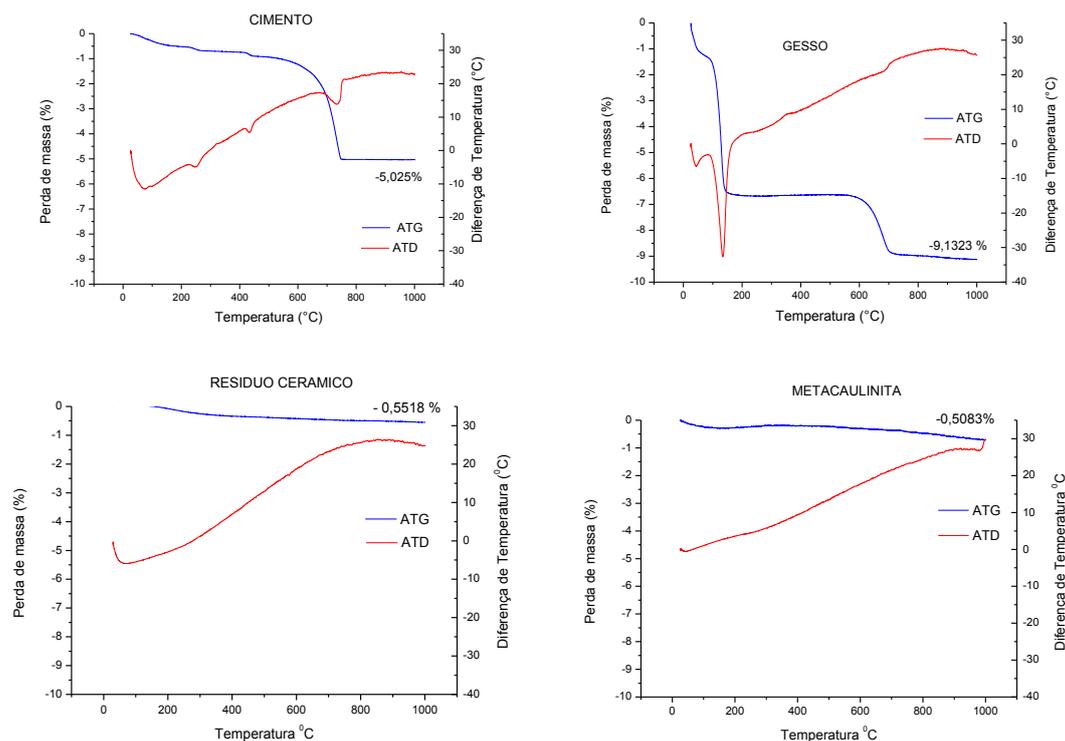


FIGURA 4.3 - Análise Termogravimétrica e Térmica Diferencial dos aglomerantes e materiais pozolânicos utilizados

A granulometria avaliada por difração a laser detectou partículas de diâmetro médio de 14,38 μm no cimento, de 18,05 μm no resíduo cerâmico e de 9,68 μm na metacaulinita (Figura 4.4).

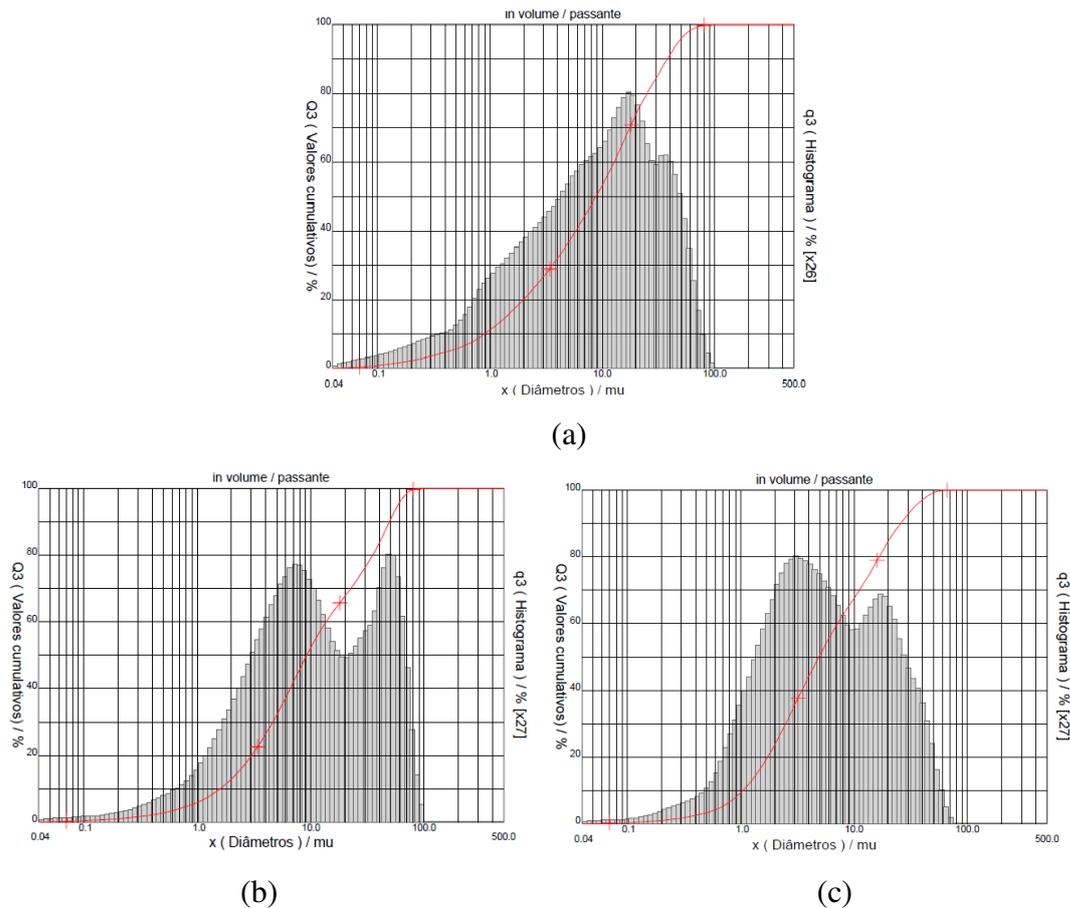


FIGURA 4.4: Granulometria por difração a laser do cimento CIIIF – 32 (a), do resíduo cerâmico (b) e da metacaulinita (c), utilizados.

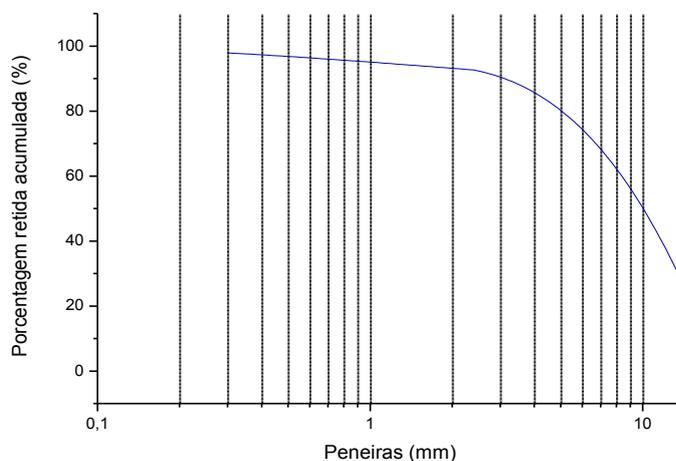
A densidade aparente do cimento utilizado foi de $1,06 \text{ g/cm}^3$, do gesso, de $0,7 \text{ g/cm}^3$, do resíduo cerâmico, de $0,90 \text{ g/cm}^3$ e da metacaulinita, de $0,45 \text{ g/cm}^3$. Notou-se que a metacaulinita tem a densidade aparente com metade do valor da observada no resíduo cerâmico.

4.1.2 – AGREGADO LEVE

Sendo um material inorgânico e granulado, o resíduo de SBR da indústria calçadista foi utilizado como agregado leve. Foi determinada a granulometria desse resíduo, conforme a norma NBR 7217. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.2 e Figura 4.5:

TABELA 4.2 – Composição granulométrica do resíduo à base de SBR.

Abertura da peneira (mm)	% Retida	% Retida acumulada
19	0	0
9,6	67,2	67,2
4,8	20,49	87,69
2,4	5,01	92,7
1,2	1,94	94,64
0,6	1,98	96,62
0,3	1,32	97,94
0,15	1,21	99,15
> 0,15	0,86	100

**FIGURA 4.5:** Granulometria do resíduo à base de SBR, proveniente de indústria calçadista de Campina Grande.

Notou-se a predominância de tamanhos maiores de partículas (retidas na peneira de abertura 9,6 mm e 4,8 mm).

Esse resíduo foi processado em um moinho de facas, apresentando uma granulometria de acordo com a Tabela 4.3 e Figura 4.6:

TABELA 4.3 – Composição granulométrica do resíduo à base de SBR, processado em moinho de facas.

Abertura da peneira (mm)	% Retida	% Retida acumulada
12,5	0	0
9,6	1,22	1,22
6,3	15,76	16,98
4,8	28,25	45,23
2,4	44,96	90,19
1,2	3,53	93,72
0,6	2,36	96,08
0,3	1,25	97,13
0,15	1,65	98,78
> 0,15	1,22	100

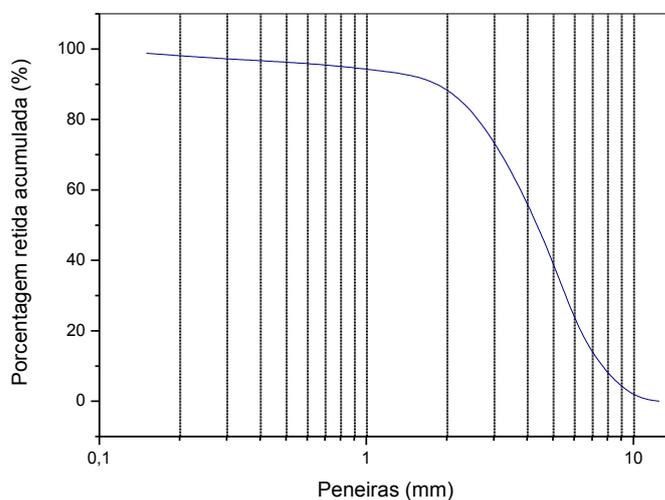


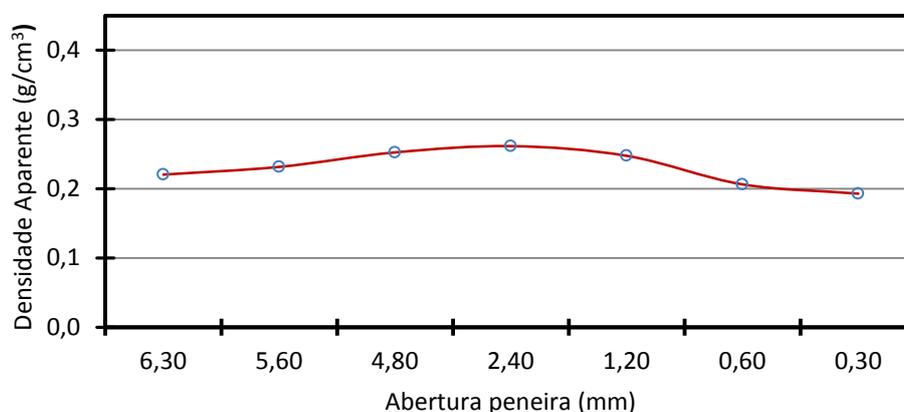
FIGURA 4.6: Granulometria do resíduo à base de SBR, processado em um moinho de facas.

Após o processamento no moinho de facas, predominaram partículas retidas nas peneiras de abertura 4,8 mm e 2,4 mm.

Foram coletadas três amostras, de vários tamanhos de partículas do resíduo de SBR moído, em separado, para medição da densidade aparente. A cada tamanho de partícula (granulometria) foi relacionado um número, para melhor entendimento durante a execução do trabalho. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.4 e Figura 4.7:

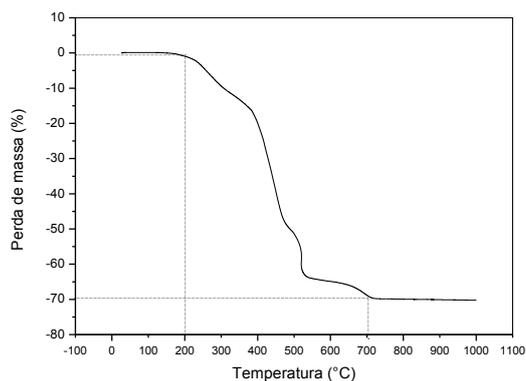
TABELA 4.4 – Densidade aparente das partículas de resíduo moído de SBR

Denominação da granulometria para execução do trabalho	Malha que ficou retido # (mm)	Amostra A (500 ml)	Amostra B (500 ml)	Amostra C (500 ml)	Média (500 ml)	Densidade Aparente (g/cm ³)
		Massa (g)				
1	6,30	109,10	109,50	111,90	110,17	0,22
2	5,60	115,00	115,60	116,60	115,73	0,23
3	4,80	126,90	127,00	124,70	126,20	0,25
4	2,40	129,70	131,10	131,40	130,73	0,26
5	1,20	124,40	121,50	125,30	123,73	0,25
6	0,60	102,90	103,20	103,30	103,13	0,21
7	0,30	97,50	96,60	95,20	96,43	0,19
					Média	0,23

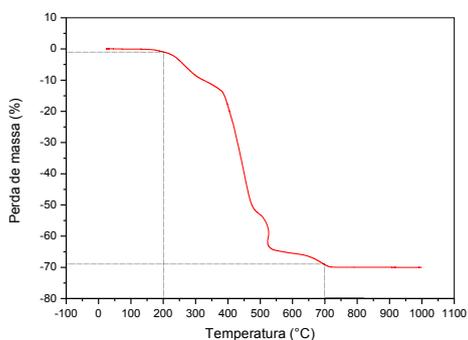
**FIGURA 4.7** – Densidade aparente das partículas de resíduo moído de SBR

Observou-se uma densidade aparente média de 0,23 g/cm³, caracterizando esse agregado alternativo, como leve, de acordo com a norma ABNT NBR 7213.

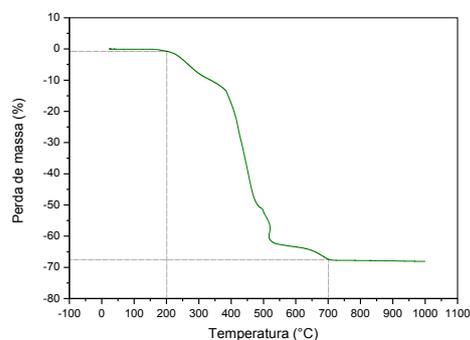
Foram coletadas amostras de cinco tamanhos diferentes de partículas para serem submetidas ao ensaio de análise termogravimétrica (ATG), no intuito de avaliar a influência da trituração no resíduo no comportamento do material. A amostra nº 0 é do resíduo sem trituração. Os resultados estão representados na Figura 4.8:



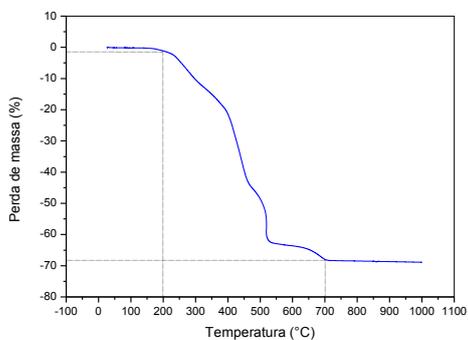
Amostra nº 0



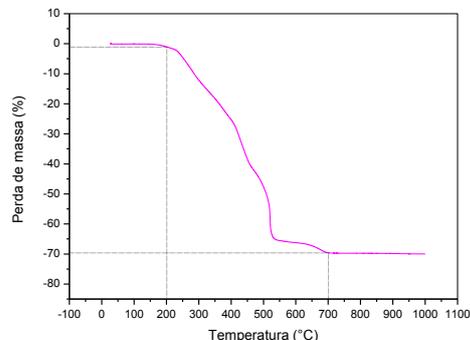
Amostra nº 1



Amostra nº 4



Amostra nº 5



Amostra nº 7

FIGURA 4.7 – Análise termogravimétrica de partículas de cinco granulometrias de resíduo moído de SBR

Considerando-se a curva da ATG da partícula que não sofreu trituração no moinho de facas (Amostra nº 0), nota-se um comportamento semelhante nas demais amostras, das diferentes granulometrias, que passaram pelo processo de moagem. Isso

significa que esse processo não interferiu na estrutura química desse resíduo, conforme observado por SILVA (2012), utilizando também resíduo de SBR.

4.1.3 – ÁGUA

A água, proveniente do sistema de abastecimento municipal (Cagepa-PB), potável, apresentou características físico-químicas de acordo com a Tabela 4.5:

TABELA 4.5 – Análise físico-química da água utilizada

PARÂMETROS	RESULTADOS
Condutividade Elétrica ($\mu\text{mho/cm}$) a 25°C	656,0
Potencial Hidrogeniônico (pH)	7,9
Dureza em Cálcio (Ca^{++}) (mg/L)	20,6
Dureza em Magnésio (Mg^{++}) (mg/L)	19,6
Dureza total (CaCO_3) (mg/L)	133,0
Sódio (Na^+) (mg/L)	63,8
Alcalinidade Total (mg/L) (CaCO_3)	73,2
Sulfato (SO_4^{--}) (mg/L)	24,4
Cloreto (Cl) (mg/L)	123,5
Sílica (SiO_2) (mg/L)	7,5
Total de Sólidos Dissolvidos Secos a 180°C (mg/L)	352,9

4.2 – AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE SISAL

Nessa etapa, foram avaliados traços de compósitos que deverão ser utilizados como revestimentos, das estruturas que se pretende elaborar.

4.2.1 - OTIMIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ADEQUADA DE UMA MATRIZ COMPOSTA DE CIMENTO, RESÍDUO CERÂMICO E METACAULINITA, REFORÇADA COM FIBRAS DE SISAL.

Foram avaliadas misturas de cimento e pozolanas, visando a incorporação de fibras de sisal curtas, para definição do traço de um compósito que será usado como revestimento.

Através da bibliografia (SILVA *et al*, 2006a; SILVA *et al* 2006b; SILVA, 2009; TOLEDO *et al* 2009b), observou-se que a mistura onde houve a substituição de 50% do cimento, por 20% de resíduo cerâmico e 30% de metacaulinita, apresentou as condições necessárias para utilização como matriz a ser reforçada com fibras de sisal.

Considerando-se a variabilidade da qualidade dos resíduos cerâmicos e das metacaulinitas, foram realizados ensaios, com o propósito de se averiguar características observadas na bibliografia citada, utilizando-se as pozolanas disponíveis na região.

De acordo com a Tabela 3.5, misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita foram moldadas e ensaiadas, para avaliação do consumo de hidróxido de cálcio do cimento, através dessas pozolanas.

Visando-se a elaboração de uma mistura auto adensável, utilizou-se o fator água/material cimentício (a/mc) de 0,4; se fazendo necessário o uso de um superplastificante para proporcionar melhor trabalhabilidade, facilitando a moldagem do compósito.

A Figura 4.9 mostra o procedimento dessa mistura. Na figura 4.8 (b), nota-se o efeito do superplastificante na matriz.



FIGURA 4.9: Etapas da mistura de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, (a) com fator a/mc de 0,4 (b) com superplastificante.

I - Determinação do teor adequado de superplastificante em misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.

Através do ensaio de cone de Marsh, foram determinados os teores ótimos de superplastificante. Na Tabela 4.6 estão representados os tempos de escoamento para a M 50 20 30 (50% de cimento, 20% de resíduo cerâmico e 30% de metacaulinita), para a

M 80 10 10 (80% de cimento, 10% de resíduo cerâmico e 10% de metacaulinita) e para a M 100 (100% cimento).

TABELA 4.6: Tempos de escoamento do Ensaio do Cone de Marsh para M 100, para M 80 10 10 e para M 50 20 30.

% SP	Tempo de escoamento (s)		
	M 100	M 80 10 10	M 50 20 30
0,3	45,12	-	-
0,6	10,41	-	-
0,7	9,86	-	-
0,8	8,42	-	-
0,9	6,82	-	-
1,2	5,89	79,67	-
1,5	4,8	29,3	-
1,8	-	18,03	-
2,1	-	13,64	-
2,4	-	9,86	58,23
2,7	-	8,17	35,13
3,0	-	6,64	22,27
3,3	-	-	19,56
3,6	-	-	18,38

Para avaliação através do método AFREM, de acordo com LARRARD (1997), os resultados do ensaio do Cone de Marsh foram plotados num gráfico Teor de superplastificante x Logaritmo do tempo de escoamento (Figura 4.10).

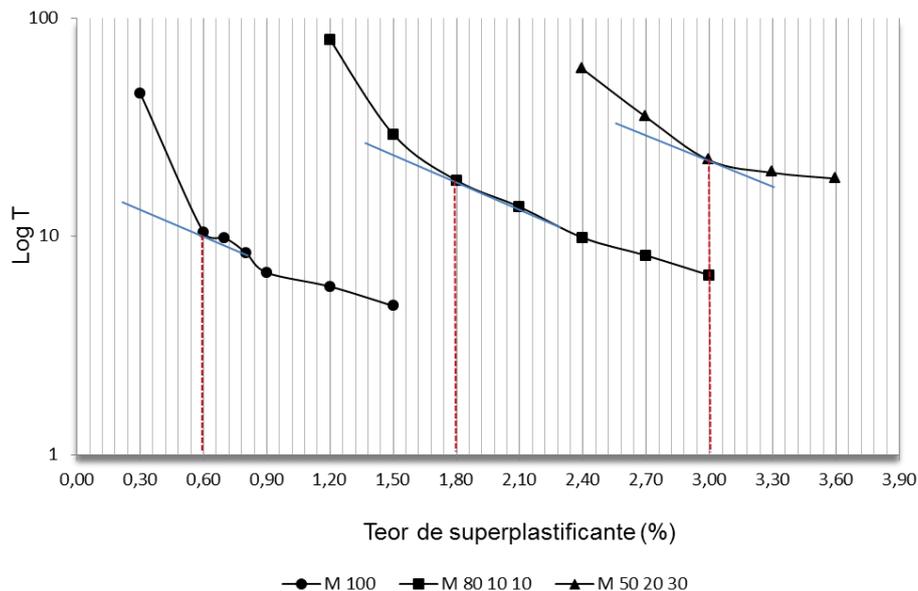


FIGURA 4.10: Gráfico do Log dos tempos de escoamento x teores de superplastificante (Método AFREM), do Ensaio do Cone de Marsh para M 100, para M 80 10 10 e para M 50 20 30.

De acordo com esse método, para a pasta de cimento moldada, o teor ótimo de superplastificante seria 0,6%; para a mistura M 80 10 10 seria 1,8% e para a M 50 20 30 deveriam ser usados 3% de superplastificante.

Observando-se os resultados do ensaio do Cone de Marsh plotados em um gráfico teor de superplastificante x tempo de escoamento (Figura 4.11); considerando-se que o tempo de escoamento de 30 segundos, para todas as misturas (mesma fluidez), proporcionou uma boa trabalhabilidade, encontrou-se teores com valores bem aproximados aos indicados através do método AFREM (DE LARRARD, 1997).

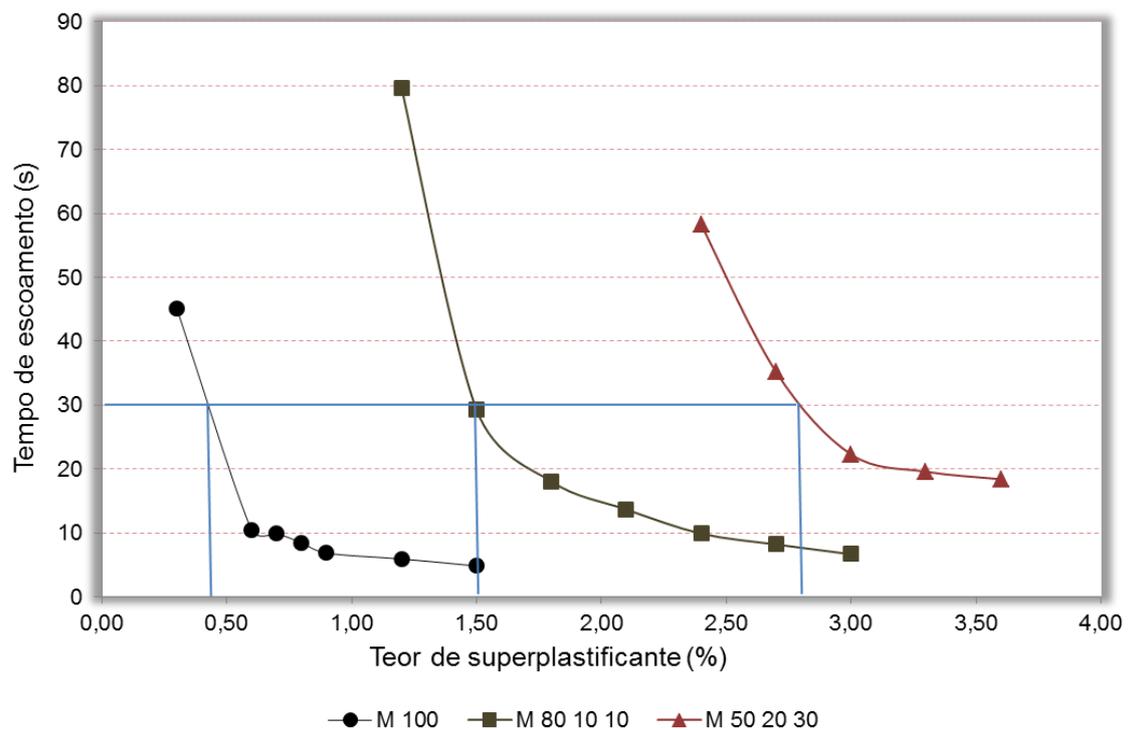


FIGURA 4.11: Tempos de escoamento do Ensaio do Cone de Marsh para M 100, para M 80 10 10 e para M 50 20 30.

Visando a redução dos custos dos compósitos, considerando-se adequada a trabalhabilidade observada com tempo de escoamento de 30 s, escolheu-se utilizar os valores resultantes do gráfico teor de superplastificante x tempo de escoamento. Para as misturas com 30 % de metacaulinita utilizou-se 2,8% de superplastificante; para as demais, 1,5% e para pasta de cimento 0,4%, desse aditivo.

II - Avaliação do consumo de hidróxido de cálcio do cimento, pelas pozolanas utilizadas

Como citado, de acordo com a tabela 3.5, utilizando-se os teores adequados de superplastificante encontrados, foram moldados corpos de prova das misturas com substituições de cimento por resíduo cerâmico e/ou metacaulinita, submetendo-as à análise termogravimétrica (ATG) e análise térmica diferencial (ATD), avaliando-se o consumo de hidróxido de cálcio do cimento por essas pozolanas.

As Figuras 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15 ilustram os resultados:

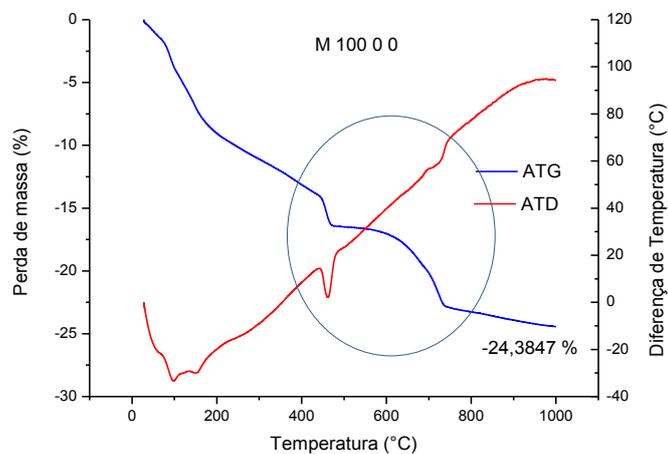


FIGURA 4.12: Análise Termogravimétrica (ATG) e Térmica Diferencial (ATD) da mistura M100 (contendo apenas cimento e água).

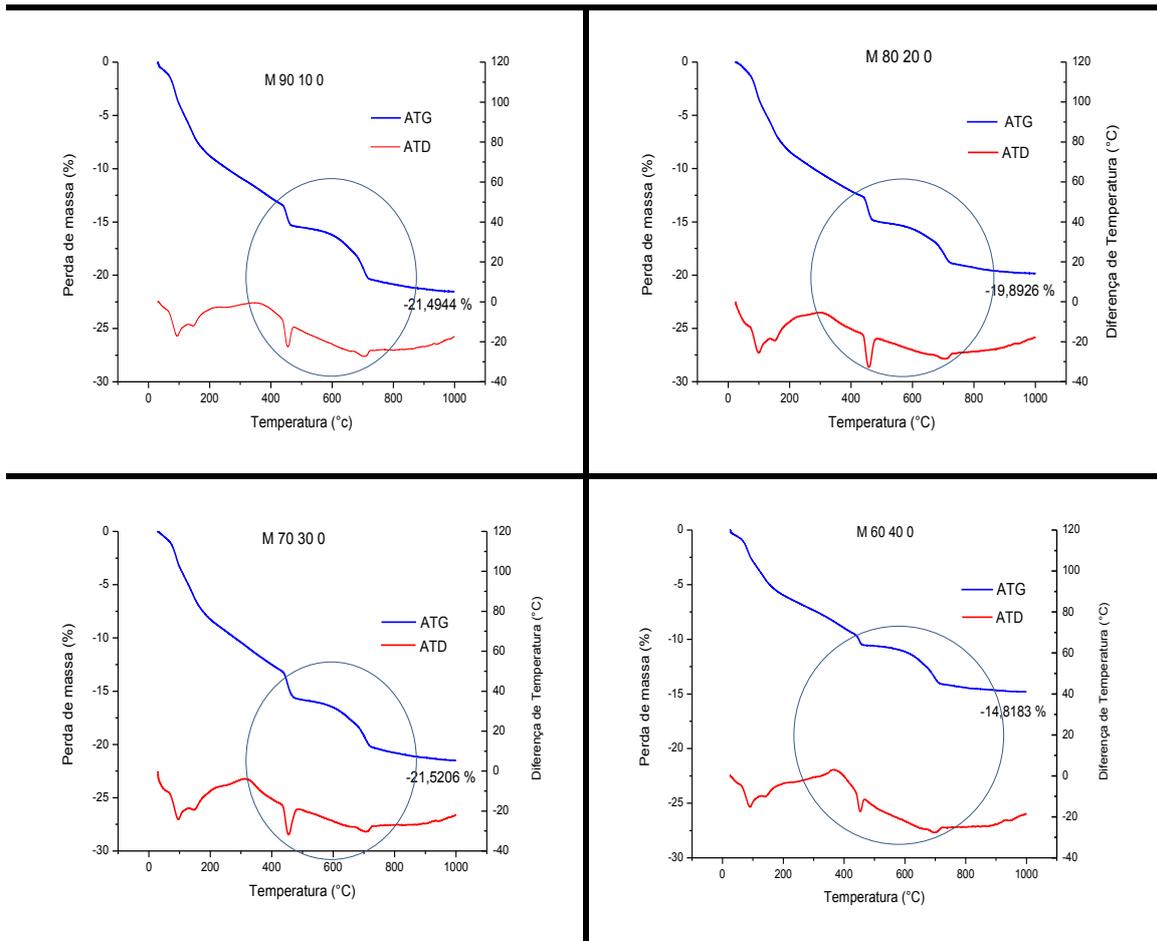


FIGURA 4.13 – Análises Termogravimétricas (ATG) e Térmica Diferencial (ATD) das misturas M 90 10 0, M 80 20 0, M 70 30 0, M 60 40 0 (contendo cimento e resíduo cerâmico moído)

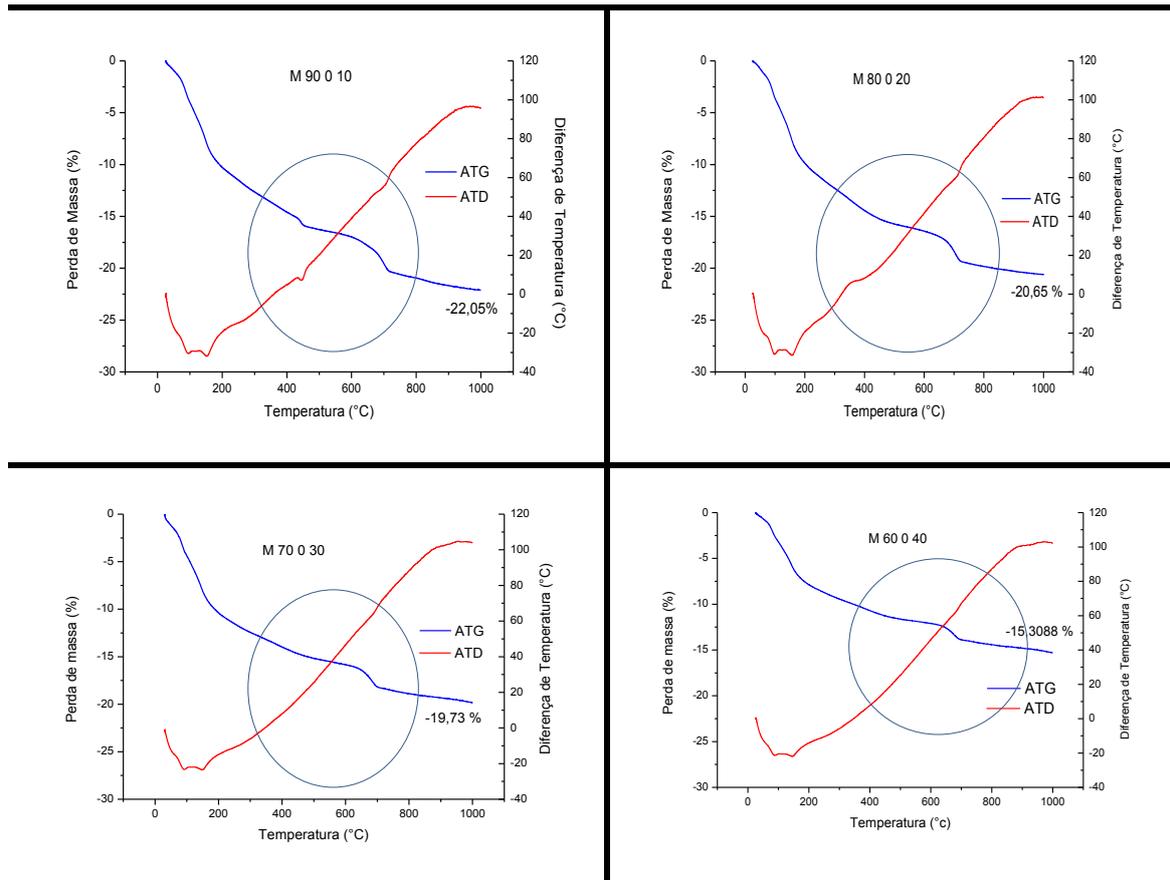


FIGURA 4.14 – Análises Termogravimétricas (ATG) e Térmica Diferencial (ATD) das misturas M 90 0 10, M 80 0 20, M 70 0 30, M 60 0 40 (contendo cimento e metacaulinita).

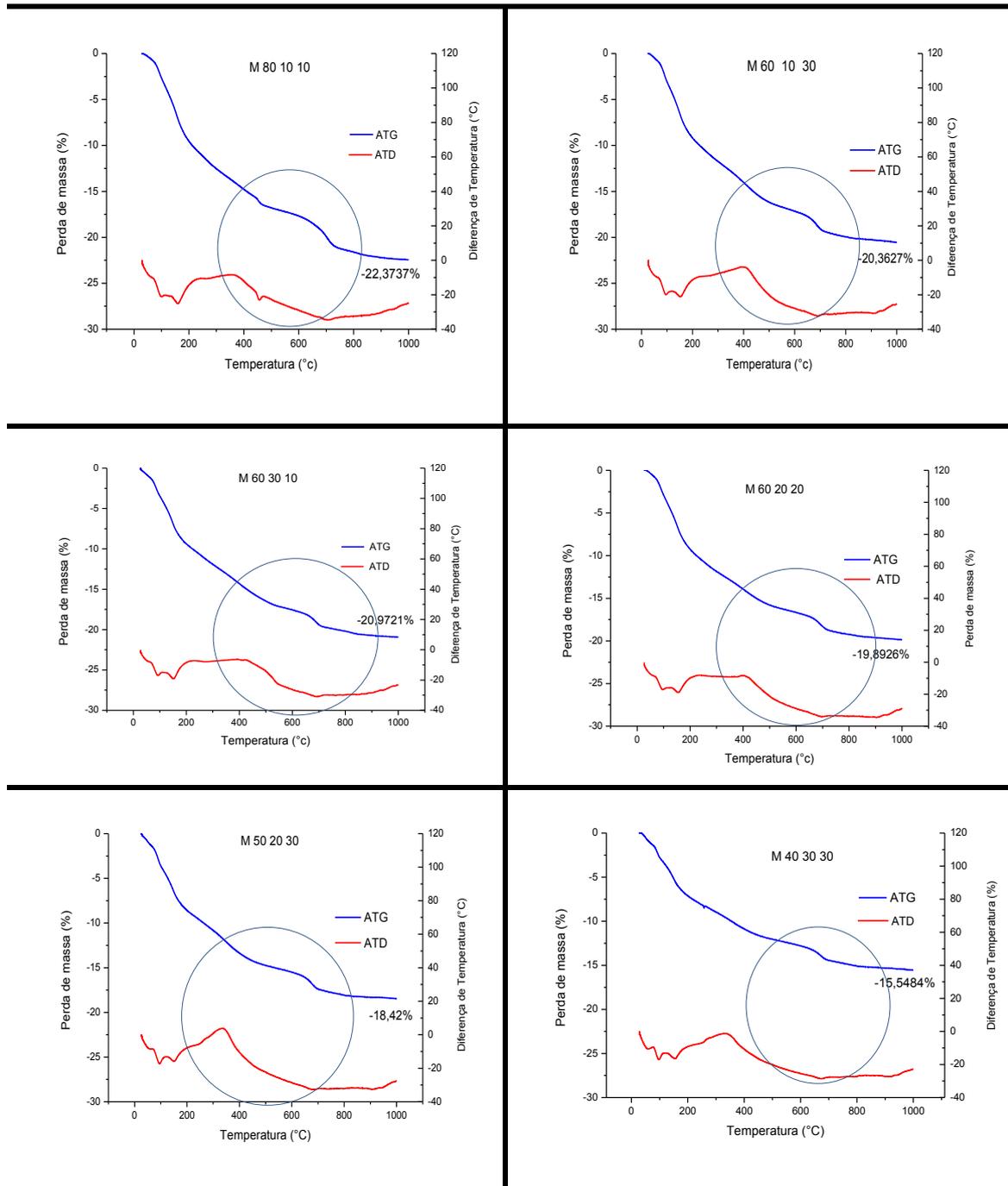


FIGURA 4.15 – Análises Termogravimétricas (ATG) e Térmica Diferencial (ATD) das misturas M 80 10 10, M 60 10 30, M 60 30 10, M 60 20 20, M 50 20 30 e M 40 30 30 (contendo cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita).

As curvas do ensaio de análise termogravimétrica (ATG) possibilitaram estimar, através de cálculos estequiométricos, valores de perda de massa, referentes à presença de hidróxido de cálcio nas misturas de cimento e pozolana. Na Tabela 4.7, estão apresentados esses valores:

TABELA 4.7: Valores de perda de massa, através de análises termogravimétricas, referentes à presença de hidróxido de cálcio nas misturas de cimento e pozolana.

Mistura M CIM RC MC	CIM (%)	RC (%)	MC (%)	Perda de massa relativa à presença de hidróxido de cálcio na mistura (mg)	Perda de massa relativa à presença de hidróxido de cálcio na mistura (% da massa inicial total)	Perda de massa relativa à presença de hidróxido de cálcio na mistura (% da massa inicial de cimento)
M 100 0 0	100	0	0	1,78	10,75	10,75
M 90 10 0	90	10	0	1,70	10,59	11,76
M 80 20 0	80	20	0	1,70	10,57	13,21
M 70 30 0	70	30	0	1,97	9,75	13,93
M 90 0 10	90	0	10	0,71	4,97	5,52
M 80 0 20	80	0	20	0,20	1,00	1,26
M 70 0 30	70	0	30	0,14	0,34	0,48
M 80 10 10	80	10	10	0,70	3,73	4,60
M 60 10 30	60	10	30	0,056	0,33	0,56
M 60 30 10	60	30	10	0,065	0,42	0,70
M 40 30 30	40	30	30	0,021 •	0,13	0,34 •
M 60 20 20	60	20	20	0,053	0,33	0,56
M 50 20 30	50	20	30	0,025 •	0,16	0,34 •

CIM: cimento RC: resíduo cerâmico MC: metacaulinita

Através dos resultados, notou-se que, na mistura onde houve a substituição de 50% da quantidade de cimento por 20% de resíduo cerâmico e 30% de metacaulinita (M 50 20 30), aos 28 dias de cura havia apenas 0,025 mg de Ca(OH)_2 , equivalentes a 0,34% da massa inicial de cimento. Dessa forma confirmou-se o alto consumo do hidróxido do cimento pelas pozolanas utilizadas. Durante a moldagem, essa mistura apresentou melhor trabalhabilidade que a M 40 30 30, onde também ocorreu grande consumo do Ca(OH)_2 (0,34%).

III - Determinação da resistência à compressão das misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita: definição da mistura adequada.

Também se determinou a resistência à compressão das misturas de cimento e pozolanas, em questão. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.8 e Figura 4.16.

TABELA 4.8: Resistência à compressão das misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.

Mistura	RC (MPa)
M 100 0 0	30,6
M 90 10 0	30,2
M 80 20 0	27,4
M 70 30 0	24,3
M 90 0 10	30,4
M 80 0 20	30,5
M 70 0 30	31,3
M 80 10 10	31,3
M 60 10 30	31,4
M 60 30 10	23,2
M 40 30 30	27,3
M 60 20 20	30,3
M 50 20 30	31,2

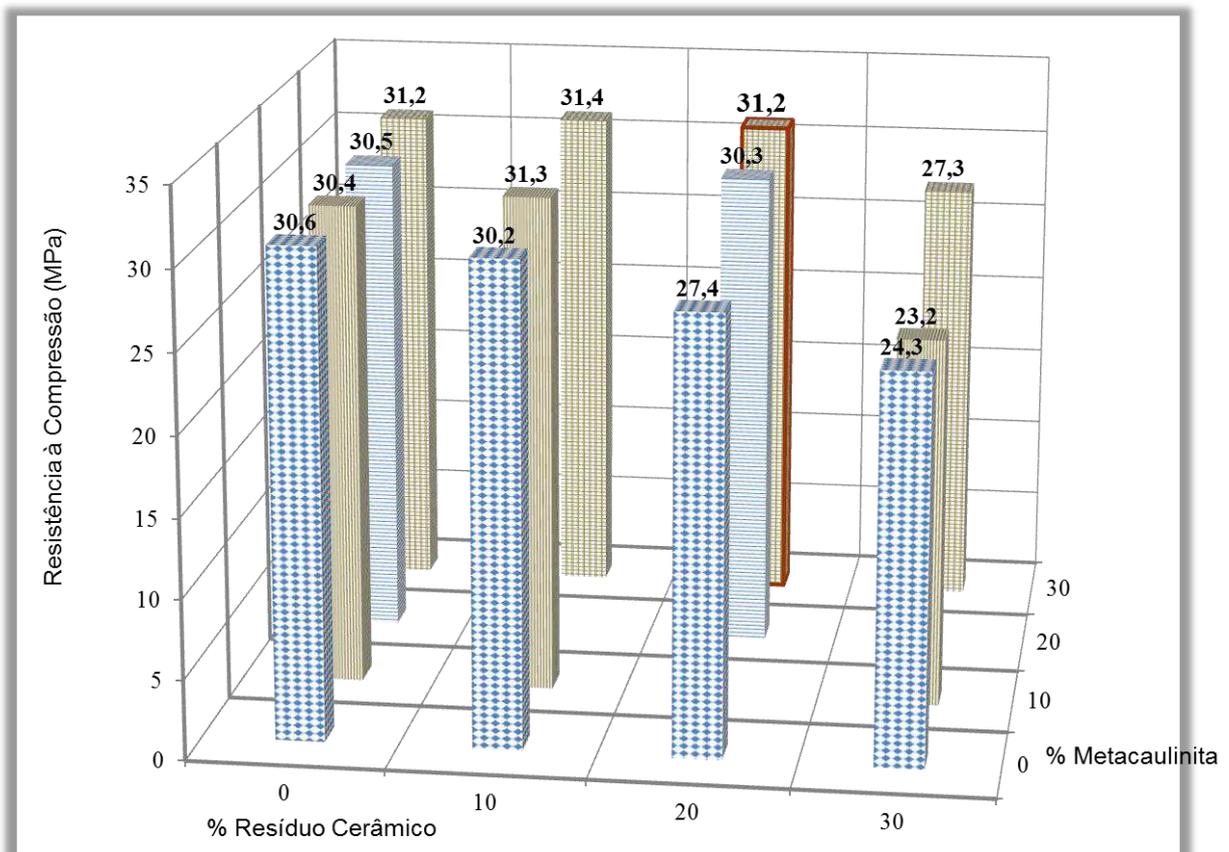


FIGURA 4.16: Resistência à compressão das misturas de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita.

Notou-se através da Figura 4.16, que, ao ser aumentado o teor de resíduo cerâmico, a resistência à flexão tende a diminuir, ao contrário do que acontece com o aumento do teor de metacaulinita.

A mistura M 50 20 30 e 2,8% de superplastificante, com resistência à compressão de 31,2 MPa, apresentou capacidade de absorção de 27,96% e índice de vazios de 41,64%. Uma mistura com menores teores de substituição, contendo os dois tipos de pozolanas - a M 80 10 10 e 1,5% de superplastificante - apresentou maior capacidade de absorção (30,74%) e maior índice de vazios (46,24%), com resistência à compressão semelhante (31,3 MPa).

Os resultados dos ensaios comprovaram a viabilidade das pozolanas disponíveis (metacaulinita comercial e resíduo cerâmico) para uso na mistura M 50 20 30, sugerida pela bibliografia, com λ_{mc} de 0,4 e 2,8% de superplastificante. Essa matriz apresentou, além de uma boa trabalhabilidade, alto consumo de hidróxido de cálcio da mistura e uma maior substituição do cimento por pozolanas.

Diante do que foi constatado, a M 50 20 30, com λ_{mc} de 0,4 e teor de superplastificante de 2,8%, foi definida como a matriz cimentícia de um compósito com fibras de sisal curtas, para revestir estruturas elaboradas com o propósito do desenvolvimento de elementos construtivos.

IV - Definição do teor adequado de incorporação de fibras de sisal, na matriz de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita

Definida a matriz de cimento e pozolanas, analisou-se o teor ideal de fibras de sisal a ser incorporado. Foram usados os teores de 1%, 2% e 3% (Figura 4.17).



FIGURA 4.17: Mistura de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, com superplastificante, incorporadas fibras de sisal.

Para avaliação, foram moldados corpos de prova prismáticos, com 1 cm de espessura. Os resultados dos ensaios de resistência à flexão e de absorção, da determinação das densidades aparentes, da tenacidade, da massa específica seca e do índice de vazios constam na Tabela 4.9:

TABELA 4.9: Resultados da avaliação da matriz M 50 20 30 com diferentes teores de incorporação de fibras de sisal.

Matriz (CIM RC MC)	Teor fibras de sisal incorporadas (%)	Resistência à Flexão (MPa)	Tenacidade (J)	Densidade Aparente (Kg/m ³)	Massa específica seca (g/cm ³)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
M 50 20 30 a\mc 0,4 2,8% sp	0	5,5 ± 0,1 a	0,02 ± 0,004 d	1745,9 + 8,90 a	1,46 ± 0,06 a	29,58 ± 0,11 d	43,33 ± 0,14 c
	1	4,1 ± 0,4 b	0,46 ± 0,08 c	1733,3 + 12,7 b	1,42 ± 0,006 a	31,12 ± 0,08 c	43,33 ± 0,31 c
	2	3,7 ± 0,7 c	0,81 ± 0,09 b	1598,0 + 15,8 c	1,39 ± 0,016 a	33,53 ± 1,96 b	46,45 ± 2,15 a
	3	3,2 ± 0,7 d	1,35 ± 0,15 a	1595,3 + 33,1 c	1,04 ± 0,12 b	43,86 ± 11,94 a	45,81 ± 7,01 b

CIM: cimento RC: resíduo cerâmico MC: metacaulinita sp: superplastificante

• Médias seguidas pelas mesmas letras (a, b, c, d), não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Utilizando-se o teste de Tukey para todas as propriedades desses compósitos, as diferenças foram estatisticamente significativas com 99% de confiança.

Nota-se através dos resultados que, quanto maior o teor de incorporação de fibras de sisal nessa matriz, menor a resistência à flexão e a densidade aparente, e, maior a tenacidade, a capacidade de absorção e o índice de vazios.

As misturas com um teor maior de fibras (3%) não apresentaram boa trabalhabilidade, nem distribuição uniforme das fibras. Essa última característica é observada nos maiores valores dos desvios padrão das propriedades desse compósito.

Adaptando-se os cálculos do fator eficiência segundo ROSSIGNOLO (2003), encontrou-se esse parâmetro para a resistência à flexão, para a tenacidade e o fator de absorção, dos compósitos cimentícios reforçados com os diferentes teores de fibras de sisal. Os resultados estão na Tabela 4.10:

TABELA 4.10: Fator eficiência da resistência à flexão e da tenacidade, e, fator de absorção da matriz M 50 20 30 com incorporação de diferentes teores de fibras de sisal.

Matriz (CIM RC MC)	Teor fibras de sisal incorporadas (%)	Fator Eficiência da Resistência à Flexão (MPa.cm ³ g)	Fator Eficiência da Tenacidade (J.cm ³ g)	Fator de Absorção (%.cm ³ g)
M 50 20 30 a\mc 0,4 2,8% sp	0	3,77	0,01	20,26
	1	2,89	0,32	21,92
	2	2,66	0,58	24,12
	3	3,08	1,3	42,17

Pretendendo-se incorporar a maior quantidade de fibras possível, analisou-se os dados da tabela 4.10, observando-se que o reforço com 2% de fibras de sisal aumentou a tenacidade do compósito, em relação à matriz sem fibras e ao teor de 1% de incorporação dessas. Em relação ao reforço com 3% de fibras de sisal, o teor de 2% apresentou uma melhor eficiência na capacidade de absorção. Na Figura 4.18 constam corpos de prova moldados com 2% e 3% de fibras de sisal curtas, em matriz de cimento e pozolanas.



FIGURA 4.18: Corpo de prova com matriz de cimento, resíduo cerâmico e metacaulinita, contendo (a) 2% e (b) 3% de fibras de sisal.

A resistência à flexão do compósito reforçado com 2% de fibras de sisal pôde ser considerada adequada para os propósitos do trabalho, proporcionando uma maior incorporação de fibras na matriz e conseqüentemente, uma maior tenacidade.

Na Figura 4.19 estão ilustrados os resultados das propriedades avaliadas da matriz M 50 20 30, com diferentes teores de incorporação de fibras de sisal.

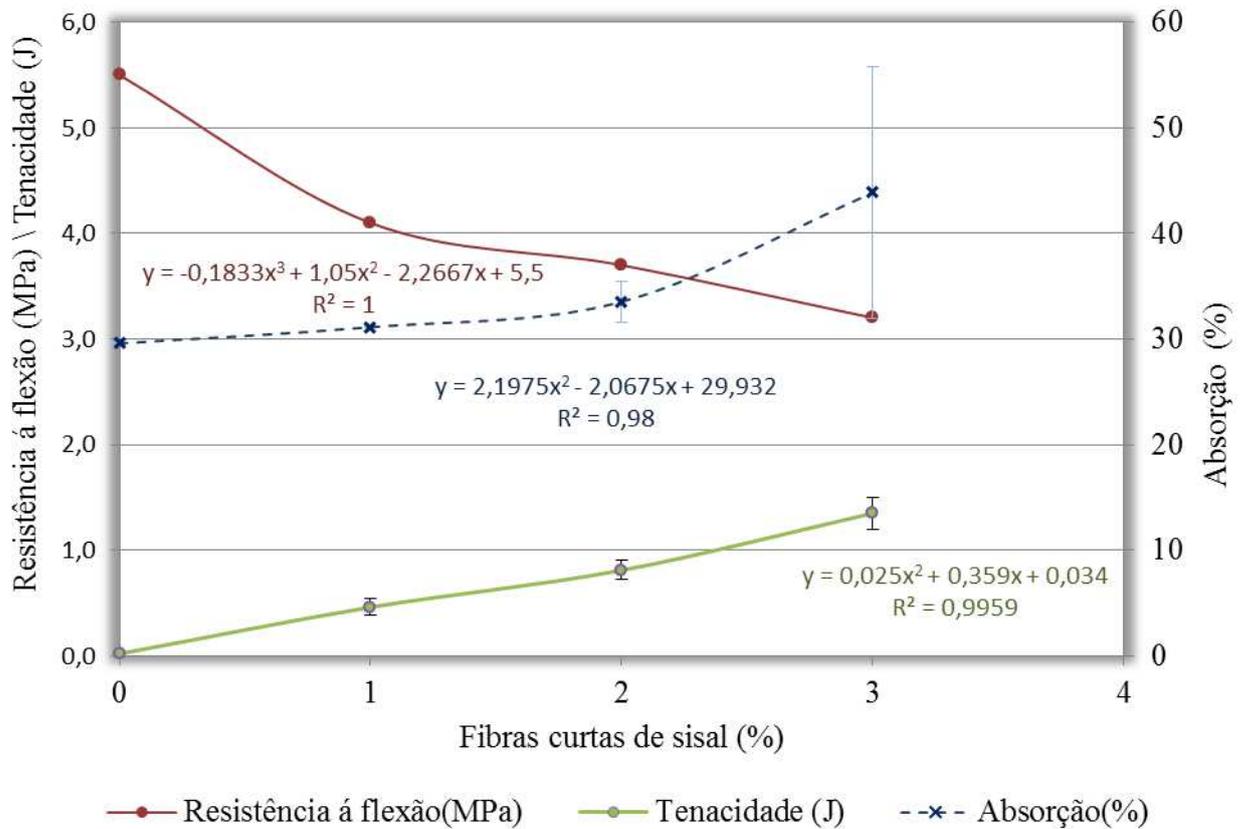


FIGURA 4.19: Resistência à flexão (MPa), Tenacidade (J) e Absorção (%) da matriz M 50 20 30 reforçadas com 1%, 2% e 3% de fibras de sisal.

Na Figura 4.20 estão representados os resultados dos fatores de eficiência da resistência à flexão, fator de absorção e do índice de vazios, da mistura matriz contendo 50% de cimento, 20% de resíduo cerâmico e 30% de metacaulinita (M 50 20 30), com fibras curtas de sisal incorporadas.

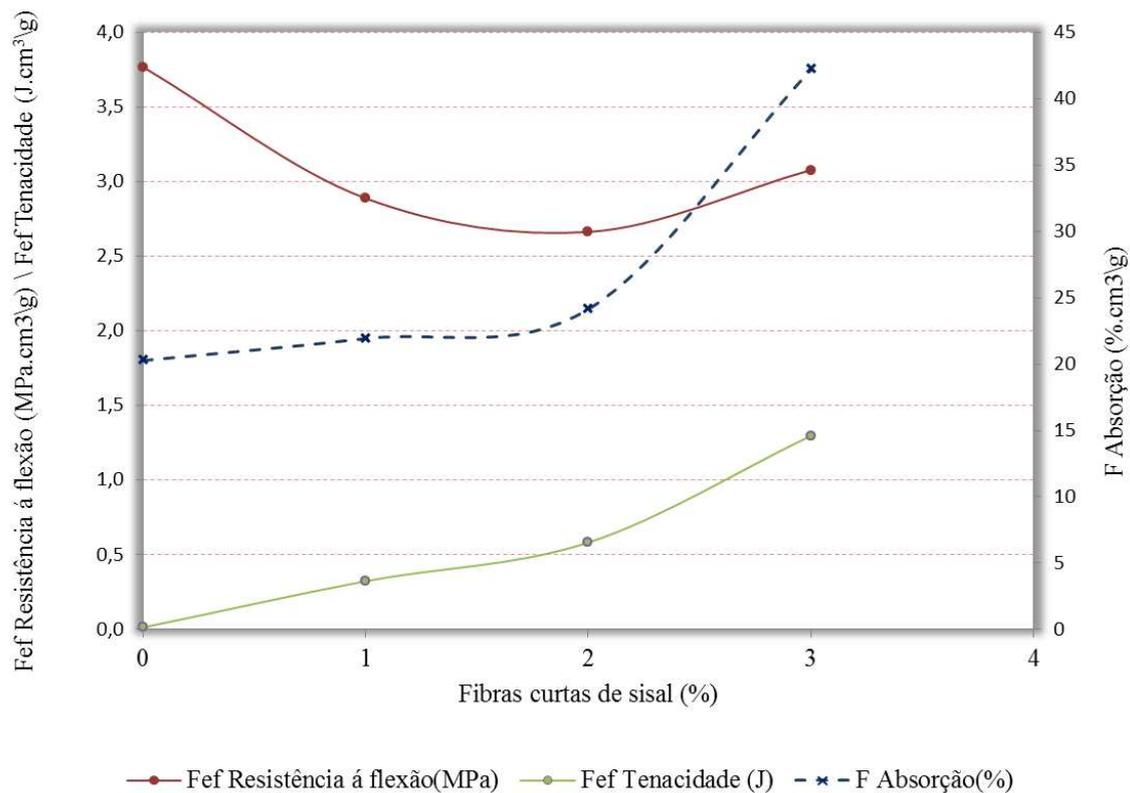


FIGURA 4.20: Fator eficiência da resistência à flexão da tenacidade e fator de absorção da matriz M 50 20 30, reforçada com 1%, 2% e 3% de fibras de sisal.

Diante dos resultados analisados, definiu-se como revestimento cimentício para as estruturas a serem elaboradas, a matriz M 50 20 30 reforçada com 2% de fibras curtas de sisal, com fator α_{mc} 0,4 e 2,8% de superplastificante.

4.2.2 - COMPARAÇÃO DA MATRIZ COM CIMENTO, RESÍDUO CERÂMICO E METACAULINITA, COM UMA MATRIZ DE GESSO.

Sendo 2%, escolhido como o teor de incorporação de fibras de sisal na matriz com cimento e pozolanas, de forma comparativa, testou-se este teor na matriz de gesso, com relação água/material cimentício de 0,7, conforme OLIVEIRA (2009). A Figura 4.21 mostra corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de flexão.

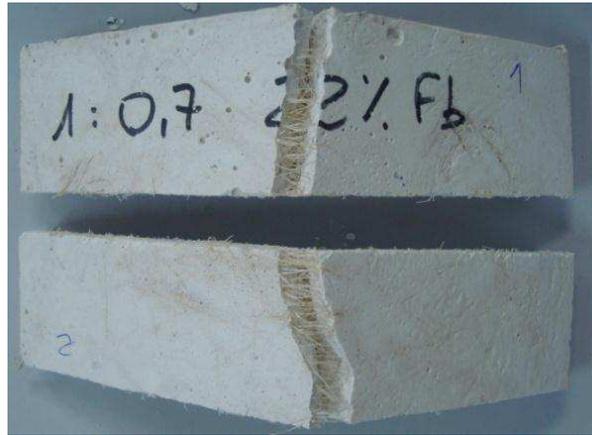


FIGURA 4.21: Corpos de prova da matriz de gesso, reforçada com 2% de fibras de sisal, que foram submetidos ao ensaio de flexão.

Os valores das propriedades analisadas, comparados aos resultados da matriz com cimento e pozolanas, estão apresentados na Tabela 4.11:

TABELA 4.11: Resultados dos ensaios de resistência à flexão e de absorção, da matriz de gesso e da matriz de cimento e pozolanas, com incorporação de 2% de fibras de sisal.

Matriz	a/mc	Fibras %	Resistência à Flexão (MPa)	Tenacidade (J)	Densidade Aparente (Kg/m ³)	Massa específica seca (g/cm ³)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
Gesso	0,7	2	3,31 ± 0,29 b	1,1 ± 0,56 a	1160,5 ± 11,4 b	1,39 ± 0,04 a	18,72 ± 3,37 b	25,70 ± 4,17 b
M 50 20 30	0,4		3,7 ± 0,7 a	0,81 ± 0,09 b	1598,0 ± 15,8 a	1,42 ± 0,016 a	33,53 ± 1,96 a	46,45 ± 2,15 a

• Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (a, b), não diferem entre si pelo teste de Tukey.

O teste de Tukey aponta para as propriedades desses compósitos, diferenças estatisticamente significativas, com 99% de confiança.

Através dos resultados, nota-se que a matriz de cimento e pozolanas possui maior resistência à flexão (10,5% maior), porém menor tenacidade (35,8% menor) e maior densidade aparente (27,4 % maior).

Convém ressaltar que, o ensaio de absorção da matriz de gesso apresentou dificuldades de realização, sendo os resultados, valores estimados.

Na Figura 4.22 estão ilustrados os resultados das propriedades avaliadas na matriz de gesso e M 50 20 30, reforçadas com 2% de fibras de sisal.

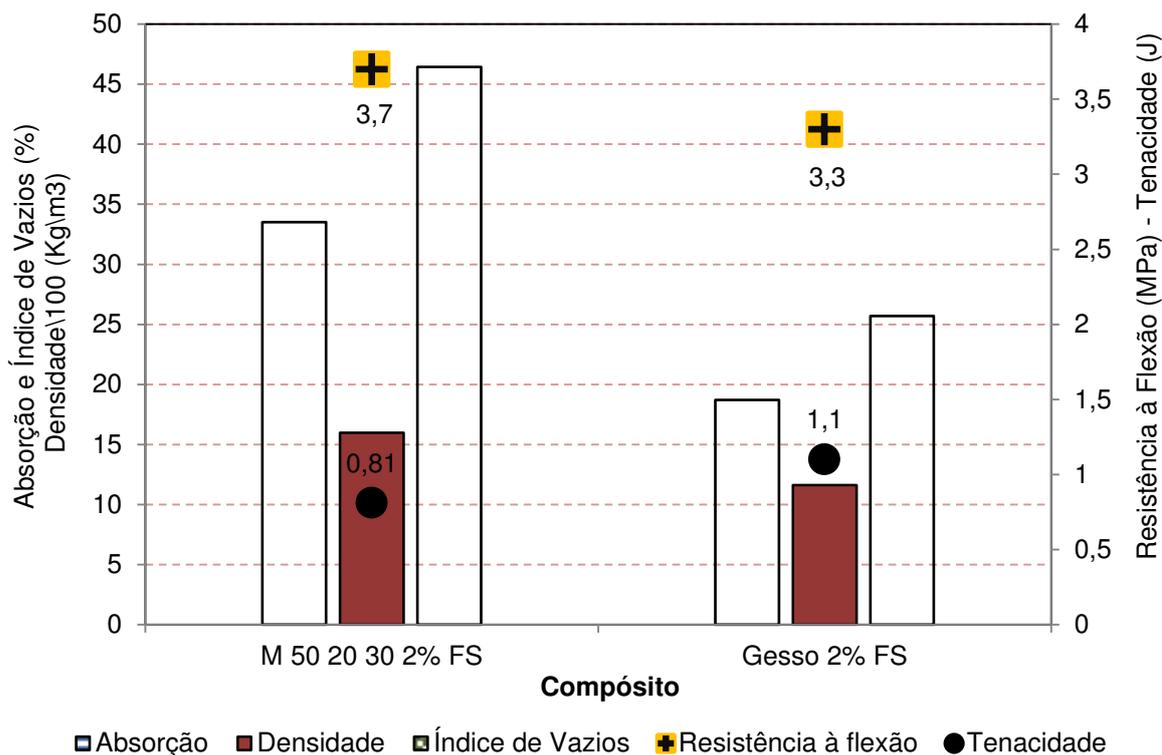


FIGURA 4.22: Absorção, índice de vazios, densidade aparente, resistência à flexão e tenacidade das matrizes M 50 20 30 e de Gesso, reforçadas com 2% de fibras de sisal.

Adaptando-se os cálculos de ROSSIGNOLO (2003), determinou-se o fator eficiência da resistência à flexão e da tenacidade e o fator de absorção, também para a mistura de gesso e 2% de fibras de sisal, comprovando o que foi observado, conforme indicado na Tabela 4.12.

TABELA 4.12: Fator eficiência da resistência à flexão e da tenacidade e fator de absorção, da matriz de gesso e da matriz M 50 20 30, com incorporação de 2% de fibras de sisal.

Composto	Fator eficiência da Resistência à Flexão (MPa.cm ³ /g)	Fator eficiência da Tenacidade (J.cm ³ /g)	Fator de Absorção (%.cm ³ /g)
Gesso:0,7 e 2 %Fibras de sisal	2,33	0,77	13,18
M 50 20 30:0,4 e 2%Fibras de sisal	2,66	0,32	21,92

Na Figura 4.23 estão ilustrados os resultados dos fatores de eficiência da resistência à flexão, da tenacidade e o fator de absorção desses compósitos.

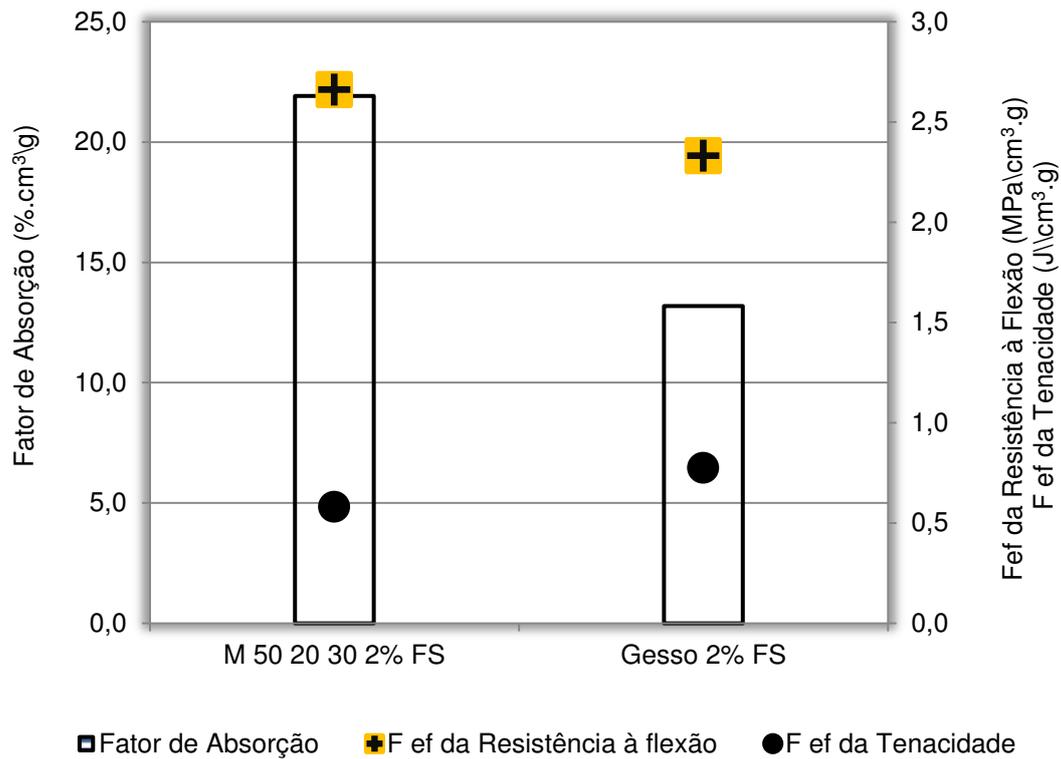


FIGURA 4.23: Fator de Absorção e Fator Eficiência da Resistência à Flexão e da Tenacidade das matrizes M 50 20 30 e de Gesso, reforçadas com 2% de fibras de sisal.

Nota-se que a matriz M 50 20 30 possui melhores características de resistência à flexão, que podem ser atribuídas às propriedades do cimento; porém, a matriz de gesso é mais eficiente em relação à tenacidade e à capacidade de absorção, que sugerem uma melhor interação dessa matriz com as fibras de sisal.

Esses dois compósitos foram escolhidos para fazerem parte, como revestimentos, das estruturas que se pretende elaborar, visando o desenvolvimento dos elementos construtivos.

4.3 - AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS FORMADOS POR RESÍDUOS DE SBR EM MATRIZES DE CIMENTO OU DE GESSO

Para uso como agregado leve, o resíduo à base de SBR foi triturado conforme citado em etapas anteriores, sendo identificado por número, cada tamanho de partícula (Tabela 4.4).

Através da bibliografia, foram escolhidos os traços de 1:3 e 1:6, em volume, de cimento e resíduo de SBR, para serem estudados. Na intenção de se executar o trabalho usando o traço em massa, através das densidades de cada tamanho de partícula, foi feita a transformação e composição desses traços. Escolheu-se o traço 1:6 em volume, para ser feita a transformação, chegando-se à conclusão que tal traço equivale a 1:1 em massa, para esse resíduo. Por conseguinte, 1:3 em volume equivale a 1:0,5 em massa.

Outro traço a ser testado, foi 1:0,25, também em massa, conforme OLIVEIRA (2009), trabalhando com a matriz de gesso e EVA.

4.3.1 - DEFINIÇÃO DA COMPOSIÇÃO DA GRANULOMETRIA DO AGREGADO LEVE E DA RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAL CIMENTÍCIO APROPRIADAS.

Para estudo do comportamento da granulometria do resíduo e do teor de água/material cimentício a ser usado na moldagem, escolheu-se o traço 1:1, em massa, por entender ser a situação mais desfavorável em relação à quantidade d'água a ser utilizada (devido à capacidade de o resíduo ater água em sua superfície), e, conseqüentemente da trabalhabilidade e das características das propriedades.

Para análise, além das granulometrias que definem agregados miúdos ($\leq 4,8$ mm), acrescentou-se uma de agregado graúdo (5,6 mm – retida na peneira 4,8 mm), na intenção de se melhorar características do compósito, como a resistência à flexão.

Pensando-se num traço “seco”, que possa ser submetido à pressão de moldagem, avaliou-se 0,3 e 0,4 como teor de a/mc .

Foram moldados corpos de prova cilíndricos variando-se a composição da granulometria conforme indicado na Tabela 4.4, e o fator a/mc , para ensaios de resistência à compressão simples e de absorção. Moldou-se também corpos de prova prismáticos, para ensaios de resistência à flexão.

Os resultados estão na Tabela 4.13.

TABELA 4.13: Resultados do estudo para composição da granulometria do resíduo de SBR e do fator a/mc, para utilização na elaboração dos compósitos.

Granulometria Traço 1:1	a/mc	Resistência à compressão simples (MPa)	Resistência à flexão (MPa)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
34567	0,3	0,54 b	Não moldou	-	-
3456		0,51 c			
345		0,55 a			
34567	0,4	0,66 c	0,013 c	20,22 a	17,86 a
3456		0,80 b	0,055 b	21,28 b	19,03 b
345		1,02 a	0,073 a	21,97 c	19,40 c

• Médias seguidas pelas mesmas letras (a, b), não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Aplicado o teste de Tukey, todos os valores de Resistência à Flexão, Densidade Aparente, Absorção e Índice de Vazios foram diferentes estatisticamente, com 95% de confiança.

Ao ser utilizado o teor a/mc de 0,4, notou-se que, quanto menos finos na composição da granulometria, maior a resistência à compressão simples. Ao se alterar a granulometria de 34567 para 3456, a resistência à compressão aumentou 21,2%. Quando foi usado o SBR com granulometria 345, ocorreu aumento de 54,5% em relação a 34567 e de 27,5% em relação a 3456.

Tal como aconteceu com a resistência à compressão simples, a resistência à flexão também aumentou ao se usar granulometrias com menos finos. Alterando-se a granulometria de 34567 para 3456, aumentou essa resistência em 323%, e, de 34567 para 345 esse aumento foi de 461,5%. Em relação à granulometria 3456, o aumento da composição 345 foi de 32,7% na resistência à flexão do compósito.

Comparando-se a capacidade de absorção, quanto menos finos, maior esta característica. Ao se alterar de 34567 para 3456, a absorção aumentou apenas 5,2%. De 34567 para 345, esse aumento foi de 8,6%. Ao se alterar de 3456 para 345, a granulometria do agregado leve, o aumento da capacidade de absorção foi de 3,2%.

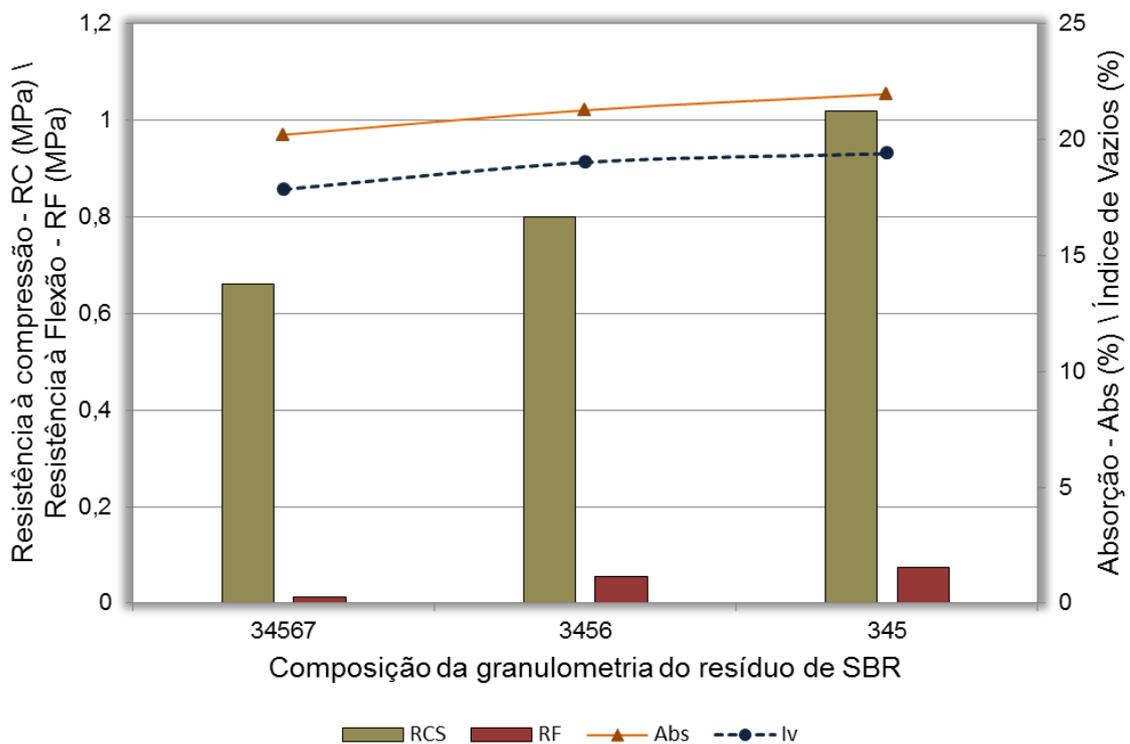
Com a relação a/mc de 0,4, usando os cálculos adaptados do fator eficiência, o melhor resultado para resistência à compressão e à flexão foi alcançado com a

composição de granulometria utilizando os tamanhos de partículas 3, 4 e 5, ou seja, retidas nas peneiras 4,8 mm, 2,4 mm e 1,2 mm, conforme Tabela 4.14.

TABELA 4.14: Fator eficiência (Fef) das resistências à compressão simples e flexão, para definição da composição da granulometria do resíduo de SBR.

Granulometria Traço 1:1	Fef da Resistência à compressão simples (MPa . cm ³ /g)	Fef da Resistência à flexão (MPa . cm ³ /g)
345	1,16	0,08
3456	0,89	0,06
34567	0,76	0,01

A Figura 4.24 ilustra os resultados observados nas propriedades dos compósitos moldados com teor α_{mc} de 0,4:



RCS: Resistência à compressão; RF: Resistência à Flexão; Abs: Absorção; Iv: Índice de Vazios

FIGURA 4.24: Propriedades físico-mecânicas de compósitos de cimento e resíduos de SBR, moldados com teor α_{mc} de 0,4.

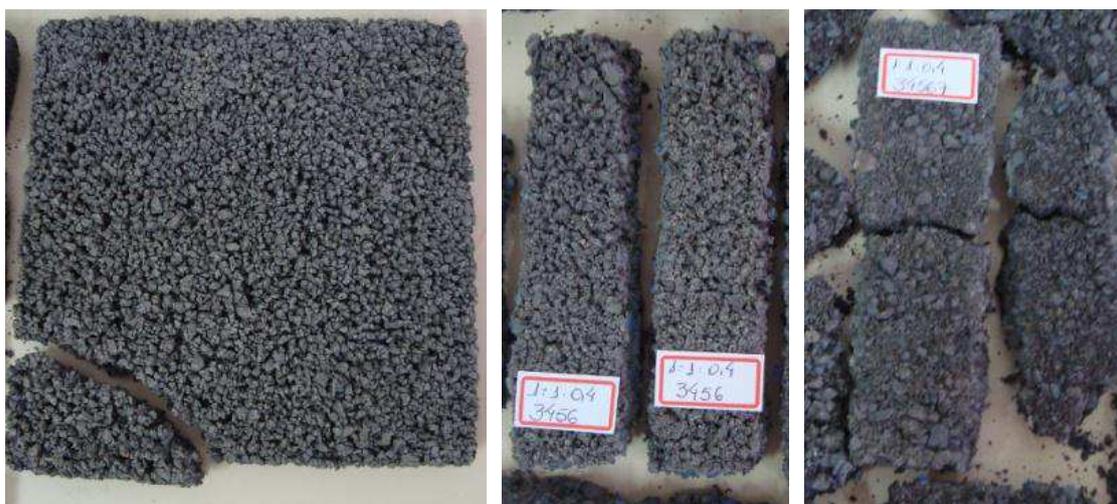
Na Figura 4.25 estão os corpos de prova de granulometria 345 e fator α_{mc} de 0,4, antes, durante e depois do ensaio de compressão simples.



FIGURA 4.25: Corpos de prova cilíndricos com traço 1:1:0,4 de cimento e resíduo de SBR com granulometria 345, submetidos ao ensaio de compressão simples.

Nota-se a capacidade que esse material tem, de ser deformado e recuperar-se após o descarregamento.

Nas Figuras 4.26 (a) (b) e (c) estão representadas as placas moldadas com as três granulometrias testadas e fator α_{mc} 0,4.



(a)

(b)

(c)

FIGURA 4.26: Corpos de prova prismáticos com traço 1:1:0,4 (a) granulometria resíduo SBR 345 (b) granulometria resíduo SBR 3456 (c) granulometria resíduo SBR 34567

Nas Figuras 4.26 (b) e 4.26 (c), nota-se que as respectivas granulometrias do agregado leve (com mais finos) deixam o material mais frágil e quebradiço.

Além dos melhores resultados quanto à resistência à compressão simples e à flexão, a mistura de cimento e resíduo de SBR na granulometria 345, apresentou uma melhor trabalhabilidade. Outra vantagem dessa composição de granulometria é o fato de não ser necessário intensificar o processo de trituração do resíduo, diminuindo custos, uma vez que não são granulometrias finas.

Tendo então características de um agregado leve misto (miúdo + graúdo), o resíduo de SBR será usado, durante todo o trabalho, com a granulometria 345.

Através dos resultados, foi descartada a hipótese de se utilizar a relação a/mc de 0,3, pela dificuldade de moldagem e por não hidratar completamente o cimento, devido à capacidade do resíduo de ater água em sua superfície. Foi testado o uso de 0,6% de superplastificante na moldagem dos compósitos com fator a/mc de 0,3, não demonstrando ser eficiente no que se refere à melhoria da trabalhabilidade. A interação entre o agregado leve e o cimento não sofreu alterações. Foram realizados ensaios de compressão simples, obtendo-se resultados semelhantes aos alcançados sem o uso desse aditivo (Tabela 4.15).

TABELA 4.15: Resistência à compressão simples dos compósitos de cimento e SBR, no traço 1:1:0,3 e 0,6% de superplastificante.

Granulometria Traço 1:1 com 0,6% de superplastificante	a/mc	Resistência à compressão simples (MPa)
34567	0,3	0,50 b
3456		0,50 b
345		0,64 a

Visando a redução dos custos, não foi utilizado superplastificante para moldagem desse compósito. No entanto, ficou definido o teor de a/mc de 0,4 para a mistura de cimento e resíduos de SBR de granulometria 345.

4.3.2 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE INCORPORAÇÃO DO AGREGADO LEVE E DO NÍVEL DA PRESSÃO DE MOLDAGEM UTILIZADOS NA CONFECCÃO DOS COMPÓSITOS.

Após definida a granulometria do resíduo, partiu-se para escolher o traço e a pressão de moldagem dos compósitos de resíduos de SBR. Fixando-se em 0,4 o teor de água em relação ao aglomerante (a/agl), moldaram-se corpos de prova variando-se o nível de pressão aplicada (N0, N1, N2 ou N3) e o teor do resíduo em relação ao aglomerante (1:1, 1:0,5 e 1:0,25), como citado na metodologia. Foram testadas composições, usando matriz de cimento e de gesso.

I - Compósito de cimento e resíduos de SBR.

As etapas da mistura da matriz de cimento com o resíduo de SBR 345 são mostradas na Figura 4.27:



FIGURA 4.27: Etapas da mistura para moldagens dos corpos de prova com matriz de cimento e resíduos de SBR de granulometria 345.

Foram avaliadas a resistência à compressão simples e à flexão, a absorção, a densidade aparente e outras propriedades, dessas composições.

A Figura 4.28 mostra o ensaio de resistência à flexão da composição de cimento e resíduo de SBR.



FIGURA 4.28: Ensaio de flexão em corpo de prova de matriz de cimento com resíduo de SBR, de granulometria 345.

A Figura 4.29 mostra corpos de prova de traço 1:1, submetidos à pressão de moldagem de nível N3 e sem pressão de moldagem (N0), antes e depois do ensaio de flexão.

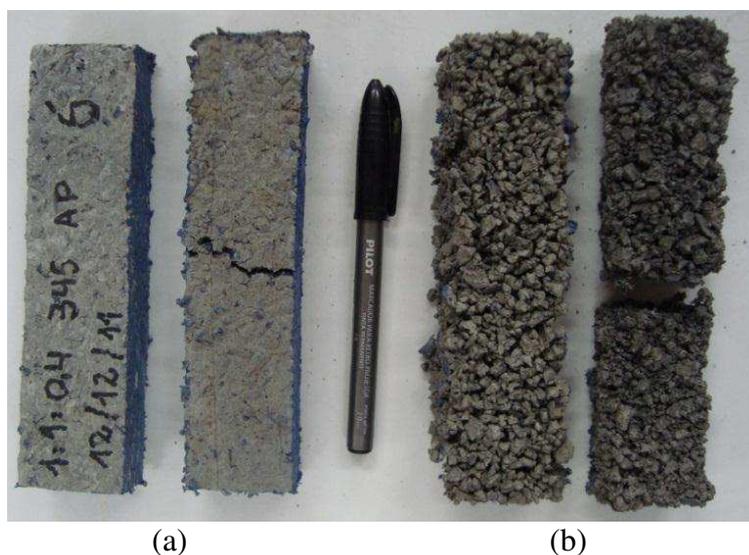


FIGURA 4.29: Corpos de prova de matriz de cimento com resíduos de SBR de granulometria 345, de traço 1:1:0,4 (a) submetido à pressão de moldagem N3 e (b) sem pressão de moldagem (N0).

Na figura 4.30 estão ilustrados os corpos de prova utilizados para o ensaio de absorção.



FIGURA 4.30: Corpos de prova submetidos ao ensaio de absorção.

i) Propriedades físico-mecânicas

Os resultados observados das propriedades físico-mecânicas dos compósitos cimento:SBR encontram-se na Tabela 4.16.

TABELA 4.16: Resultados do estudo do compósito de cimento e resíduo de SBR para utilização na elaboração de elementos construtivos leves.

Traço Cimento:resíduos de SBR	a/agl	Nível de Pressão de Moldagem	Resistência à Flexão (MPa)	Tenacidade (KJ/cm ²)	Resistência à Compressão (MPa)	Densidade Aparente (Kg/m ³)	Expulsão a a/mc	Massa Específica Seca (g/cm ³)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
1:1	0,4	N0	0,073 ± 0,012 dC	0,07 ± 0,004	1,02	652,3 ± 6,02 dC •	0	0,91 ± 0,16 bB	31,1 ± 5,57 aA	28,1 ± 3,96 aA
		N1	0,75 ± 0,03 cC	0,67 ± 0,08		721,1 ± 20,46 cC •	0	1,13 ± 0,009 aC	21,0 ± 0,5 dA	23,4 ± 0,49 aA
		N2	0,75 ± 0,01 bC	0,87 ± 0,17		947,4 ± 20,5 bC	+	1,10 ± 0,05 aC	22,9 ± 2,3 cA	25,2 ± 1,60 aA
		N3	0,77 ± 0,01 aC	0,91 ± 0,07		1062,6 ± 15,31 aC	++	1,11 ± 0,009 aC	23,7 ± 0,32 bA	26,3 ± 0,27 aA
1:0,5	0,4	N0	0,66 ± 0,05 cB	0,58 ± 0,03	1,71	947,3 ± 42,91 cB	0	0,94 ± 0,16 cB	28,7 ± 8,5 aB	27,0 ± 5,77 aB
		N1	1,30 ± 0,14 bB	0,94 ± 0,23		1029,4 ± 15,53 bB	0	1,23 ± 0,10 bB	14,5 ± 0,66 dB	17,9 ± 0,79 dB
		N2	1,47 ± 0,06 bB	0,92 ± 0,05		1058,5 ± 41,37 bB	++	1,22 ± 0,09 bB	17,6 ± 1,17 cB	21,4 ± 2,91 cB
		N3	1,30 ± 0,03 bB	1,40 ± 0,13 •		1114,1 ± 45,9 aB	+++	1,37 ± 0,02 aB	18,5 ± 1,05 bB	25,5 ± 1,37 bB
1:0,25	0,4	N0	1,13 ± 0,15 dA	0,52 ± 0,07	4,88 •	1041,7 ± 8,42 dA	0	1,03 ± 0,076 dA	21,1 ± 3,41 aC	21,8 ± 3,23 bC
		N1	2,02 ± 0,15 cA	0,63 ± 0,019		1104,3 ± 29,99 cA	+	1,35 ± 0,04 cA	13,2 ± 0,37 dC •	17,8 ± 0,50 dB •
		N2	2,93 ± 0,24 bA	0,67 ± 0,009		1298,2 ± 21,18 bA	+++	1,43 ± 0,03 bA	14,9 ± 0,70 cC	21,2 ± 0,60 cB
		N3	3,19 ± 0,34 aA •	0,79 ± 0,14		1331,2 ± 20,98 aA	++++	1,59 ± 0,008 aA	15,9 ± 1,01 bC	25,4 ± 1,60 aB

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (a,b,c,d), para um mesmo traço, não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (A,B,C,D), para o mesmo nível de pressão de moldagem, em diferentes traços, não diferem entre si pelo teste de Tukey.

(•) Melhores resultados

Avaliando-se as propriedades dos traços 1:1:0,4; 1:0,5:0,4 e 1:0,25:0,4; moldados com matriz de cimento; em relação à resistência à compressão simples, nota-se que quanto menor a quantidade de resíduos de SBR, maior essa resistência (Figura 4.31).

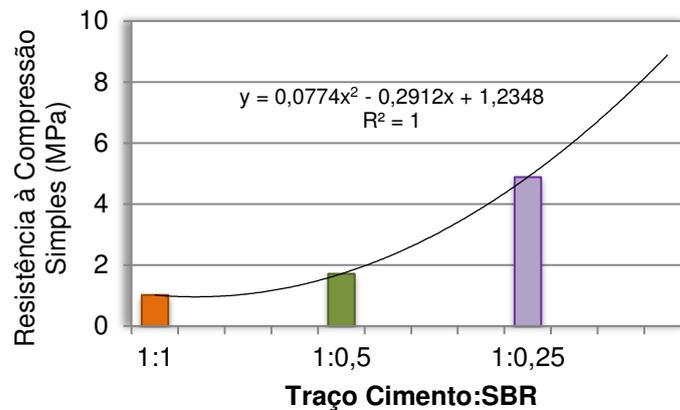


FIGURA 4.31: Resistência à Compressão Simples da matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345.

Quando se utilizou o traço de 1:1 de cimento e resíduo, conseguiu-se uma resistência à compressão simples de 1,02 MPa. Ao ser diminuída a quantidade do resíduo incorporado em 50% (1:0,5), essa resistência aumentou 67,6% (1,71 MPa). Diminuindo-se a quantidade do resíduo incorporado em 75% (1:0,25), o aumento da resistência à compressão simples foi de 378,4% (4,88 MPa). Todos os valores dessa propriedade, observados, foram equivalentes aos já alcançados por outros pesquisadores, utilizando resíduos a base de SBR ou EVA, na elaboração de compósitos, conforme citado na tabela 2.4.

Utilizando-se moldagem sem pressão (N0), para os maiores teores de incorporação de resíduos (1:1 e 1:0,5), não foram alcançadas resistências à flexão satisfatórias. Com aplicação de pressão de moldagem essa propriedade foi incrementada. Os valores foram compatíveis com os encontrados por OLIVEIRA (2009), estudando compósitos formados de gesso ou vermiculita e EVA, por LEAL (2004) avaliando compósitos de cimento e EVA e ainda por SILVA (2012) analisando traços compostos por cimento, areia e SBR (tabela 2.4). Na Figura 4.32 estão ilustradas as curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR estudados, variando-se o nível de pressão de moldagem aplicados.

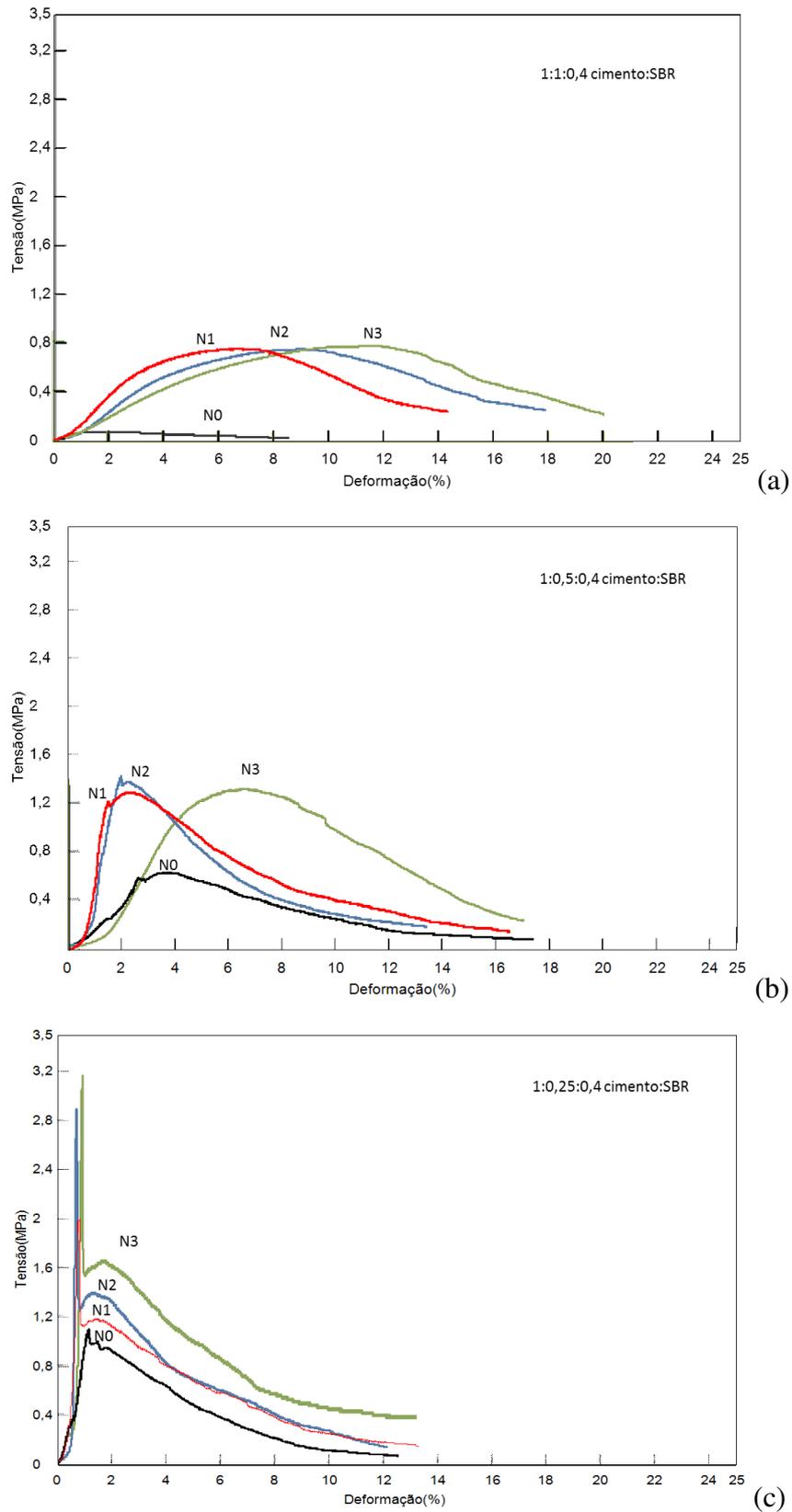


FIGURA 4.32: Curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR estudados, variando-se o nível de pressão de moldagem aplicados (N0, N1, N2, N3): (a) 1:1:0,4 (b) 1:0,5:0,4 (c) 1:0,25:0,4

Em relação à massa específica seca, considerando-se a tabela 2.1, mesmo ocorrendo um aumento devido à aplicação de pressão de moldagem, todos os compósitos puderam ser considerados leves (910 a 1590 kg/m³). A aplicação da pressão de moldagem também provocou um aumento na densidade aparente dos compósitos, que variou de 652,3 a 1331,2 Kg/m³.

Levando-se em conta a finalidade dos elementos construtivos propostos, se faz necessário que os compósitos que farão parte de sua estrutura tenham a mais baixa capacidade de absorção, possível. Os menores resultados dessa propriedade foram alcançados nos moldados com nível de pressão N1 (13 a 21%, de acordo com o teor de resíduos). Os valores da capacidade de absorção dos compósitos moldados com esse nível de pressão de moldagem foram compatíveis com os encontrados por BEZERRA (2002), estudando compósitos de cimento, areia e EVA e por SOARES et al (2008), trabalhando com cimento, resíduo cerâmico e resíduos de calçados, conforme citado na tabela 2.4.

Ao serem utilizados os níveis de pressão de moldagem N2 e N3, ocorreu uma expulsão da água com aglomerante do interior dos compósitos (indicada por cruces na Tabela 4.16), resultando num maior índice de vazios, e, conseqüentemente maior capacidade de absorção. Relacionando-se essas propriedades, nota-se o que foi observado (Figura 4.33):

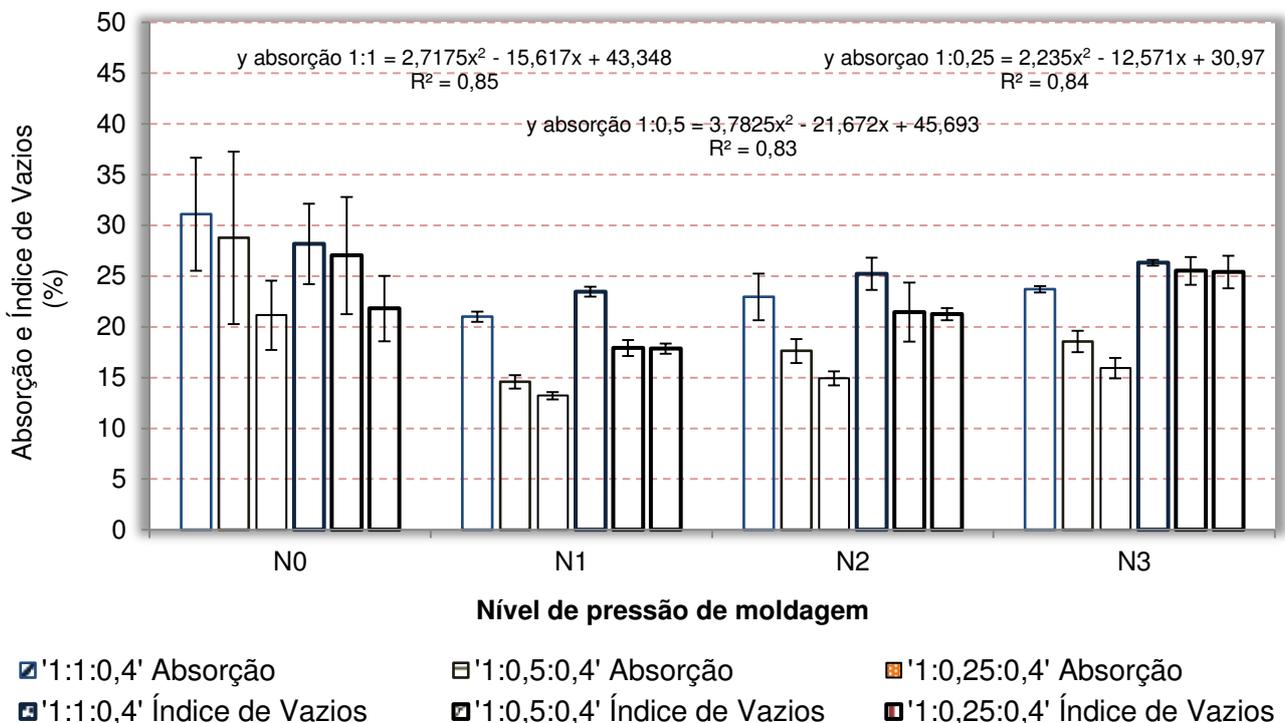


FIGURA 4.33: Absorção e Índice de Vazios da matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345.

Quando aplicada pressão de moldagem, os compósitos de traço 1:0,5 e 1:0,25 apresentaram comportamentos semelhantes em relação ao índice de vazios.

Na figura 4.33 é visível a menor capacidade de absorção e o menor índice de vazios dos compósitos, ao ser usada a pressão de moldagem de nível N1(0,16 MPa). Com esse nível de pressão, ocorreu também uma maior uniformidade nos resultados, representada por menores valores de desvio padrão.

A Figura 4.34 ilustra o comportamento observado, das propriedades dos compósitos de cimento e resíduos de SBR.

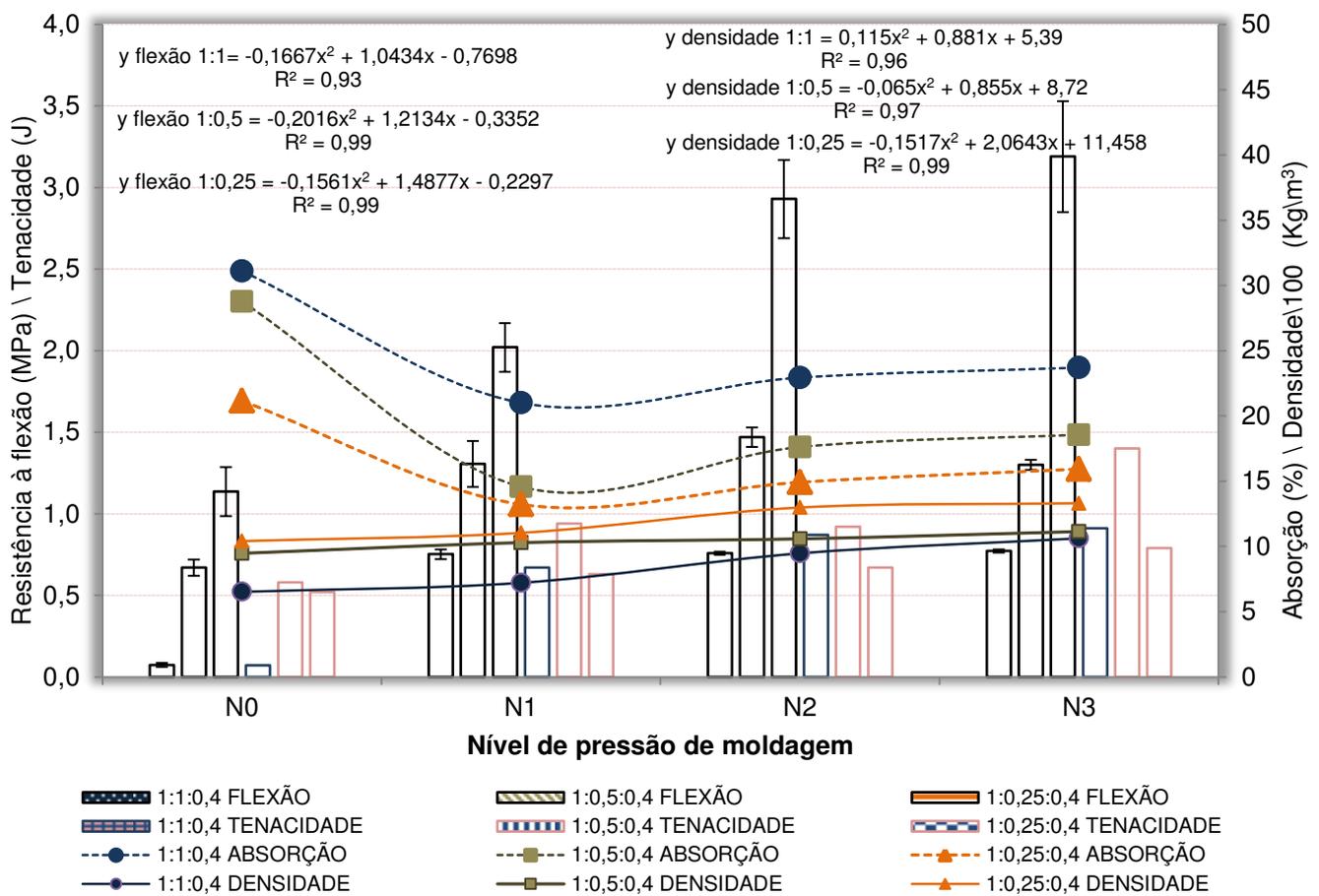


FIGURA 4.34: Resistência à flexão, Absorção, Tenacidade e Densidade Aparente dos compósitos cimento:resíduos de SBR

ii) Incrementos observados, devido à variação do teor de resíduos e do nível de pressão de moldagem.

Considerando-se a variação dos teores de resíduos, para cada nível de pressão de moldagem, foram observados incrementos em propriedades dos compósitos, conforme indicados na Tabela 4.17:

TABELA 4.17: Incrementos observados, para cada nível de pressão de moldagem, na resistência à flexão, na densidade aparente e na absorção dos compósitos de cimento e SBR, em decorrência da variação do teor de resíduos.

RESISTÊNCIA À FLEXÃO				
Elemento	Nível de pressão de moldagem			
	N0	N1	N2	N3
1:1:0,4 (MPa)	0,07 ↓	0,75	0,75	0,77
Incremento 1:0,5 \ 1:1 (%)	+ 757,1	+ 73,3	+ 93,7	+ 68,8
Incremento 1:0,25 \ 1:1 (%)	+ 1471,4	+ 169,3	+ 286,1	+ 314,2
DENSIDADE APARENTE				
Elemento	Nível de pressão de moldagem			
	N0	N1	N2	N3
1:1:0,4 (Kg \ m ³)	652,6	721,5	947,9	1062,9
Incremento 1:0,5 \ 1:1 (%)	+ 45,1	+ 42,6	+ 11,6	+ 4,8
Incremento 1:0,25 \ 1:1 (%)	+ 59,6	+ 53,1	+ 37,0	+ 25,3
ABSORÇÃO				
Elemento	Nível de pressão de moldagem			
	N0	N1	N2	N3
1:1:0,4 (%)	31,1	21,0	22,9	23,7
Incremento 1:0,5 \ 1:1 (%)	- 7,71	- 30,9	- 23,27	- 21,9
Incremento 1:0,25 \ 1:1 (%)	- 32,15	- 37,14	- 34,84	- 32,94

Considerando-se a influência do nível de pressão de moldagem, para os três teores de resíduos utilizados, também foram observados incrementos nas propriedades dos compósitos, conforme Tabela 4.18:

TABELA 4.18: Incrementos observados, para cada teor de resíduos incorporado, na resistência à flexão, na densidade aparente e na absorção dos compósitos de cimento e SBR, em decorrência da variação da pressão de moldagem utilizada.

RESISTÊNCIA À FLEXÃO			
Elemento	Traço		
	1:1:0,4	1:0,5:0,4	1:0,25:0,4
N0 (MPa)	0,073 ↓	0,65 ↓	1,13
N1 (MPa)	0,75	1,3	2,02
Incremento N2 \ N1 (%)	-	+ 13,07 •	+ 45,0
Incremento N3 \ N1 (%)	+ 2,67 •	-	+ 57,9 •
DENSIDADE APARENTE			
Elemento	Traço		
	1:1:0,4	1:0,5:0,4	1:0,25:0,4
N0 (Kg\m3)	652,6	946,9	1041,6
Incremento N1 \ N0 (%)	+ 10,5 •	+ 8,7 •	+ 6,06 •
Incremento N2 \ N0 (%)	+ 45,2	+ 11,7	+ 24,6
Incremento N3 \ N0 (%)	+ 62,8	+ 17,6	+ 27,8
ABSORÇÃO			
Elemento	Traço		
	1:1:0,4	1:0,5:0,4	1:0,25:0,4
N0 (%)	31,1	28,7	21,1
Incremento N1 \ N0 (%)	- 32,5 •	- 49,4 •	- 37,4 •
Incremento N2 \ N0 (%)	- 27,9	- 38,7	- 29,4
Incremento N3 \ N0 (%)	- 23,8	- 35,5	- 24,6

Através dos valores dos incrementos observados, notou-se que:

- Ao ser aplicada pressão na moldagem, ocorre um aumento na resistência à flexão e na densidade dos compósitos, ao mesmo tempo em que é diminuída a capacidade de absorção.
- Não ocorreram incrementos significativos na resistência à flexão dos compósitos com maiores teores de incorporação de resíduos (1:0,5 e 1:1), ao ser aumentada a pressão de moldagem do nível N1 para os níveis N2 e N3.
- O nível de pressão de moldagem N1 proporcionou menor aumento na densidade aparente e maior queda na capacidade de absorção dos compósitos, considerando-se os outros dois níveis de pressão (N2 e N3).

iii) *Fatores de eficiência (Fef) segundo ROSSIGNOLO (2003)*

Os resultados obtidos com os cálculos adaptados do Fator Eficiência (Fef) das propriedades, segundo ROSSIGNOLO (2003), estão apresentados na Tabela 4.19. Para a densidade aparente e absorção, esse fator foi denominado “Fator de Densidade” e “Fator de Absorção”.

TABELA 4.19: Resultados dos fatores, segundo ROSSIGNOLO, de propriedades do compósito de cimento e resíduo de SBR para utilização na elaboração de elementos construtivos leves.

Traço Cimento:resíduos de SBR	a/agl	Nível de Pressão de Moldagem	Fator Eficiência da Resistência à Flexão (MPa.cm ³ /g)	Fator da Densidade Aparente	Fator de Absorção (%.cm ³ /g)	Fator do Índice de Vazios (%.cm ³ /g)
1:1	0,4	N0	0,08 ↓	7,16	34,19	30,97
		N1	0,67	6,38 •	18,58 •	20,77 •
		N2	0,69 •	8,61	20,85	22,94
		N3	0,69 •	9,57	21,35	23,71
1:0,5		N0	0,71 ↓	10,07	30,61	28,76
		N1	1,06	8,37 •	11,85 •	14,56 •
		N2	1,20 •	8,67	14,44	17,58
		N3	0,95	8,13•	13,55	18,63
1:0,25		N0	1,10 ↓	10,11	20,53	21,17
		N1	1,50	8,18 •	9,79 •	13,22 •
		N2	2,05 •	9,08	10,43	14,87
		N3	2,01	8,37	10,02	15,97

A Figura 4.35 ilustra o comportamento dos Fatores de Eficiência das propriedades dos compósitos de cimento e resíduos de SBR.

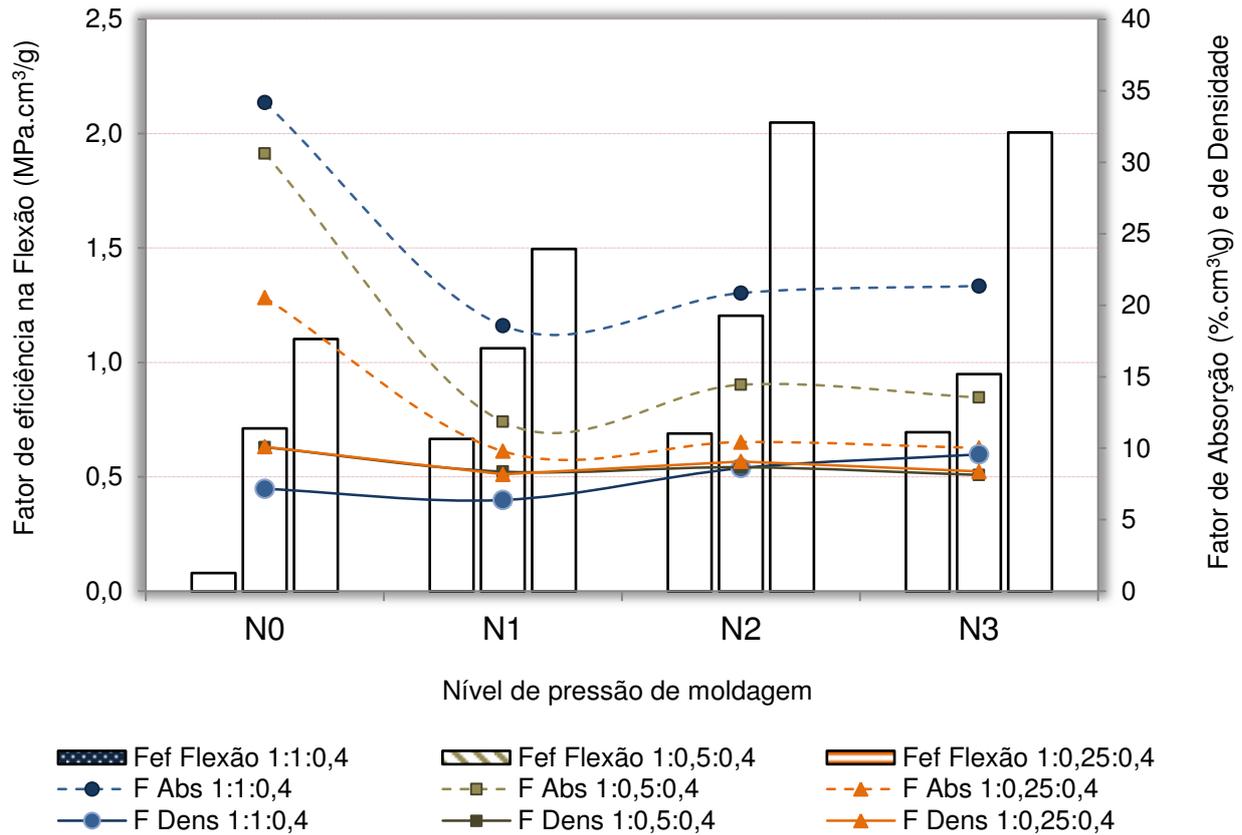


FIGURA 4.35: Fator de Eficiência da Resistência à flexão, Fator de Absorção e da Densidade Aparente dos compósitos cimento:resíduos de SBR

Analisando-se os resultados dos Fatores, segundo ROSSIGNOLO podemos observar que:

- O Fator de Eficiência da resistência à flexão do traço 1:1:0,4 apresentou maiores valores com níveis de pressão de moldagem N2 e N3, porém, à partir de N1, esse aumento não foi significativo. Para os traços 1:0,5:0,4 e 1:0,25:0,4 a pressão de moldagem de nível N2 foi mais eficiente, para essa propriedade.
- Os menores valores de Fatores de absorção e do índice de vazios foram alcançados quando se moldou utilizando nível de pressão N1.
- O fator de densidade aparente dos compósitos moldados com pressão, em sua maioria atingiram os menores valores quando se utilizou, também, o nível de pressão N1.
- Os compósitos com maiores teores de incorporação de resíduos, moldados sem pressão, não apresentaram resultados satisfatórios de resistência à flexão e absorção.

- Apesar do traço 1:0,25:0,4 ter apresentado melhores valores de fatores de resistência à flexão e de absorção, além do fator de densidade aparente semelhante aos outros dois, não proporcionou uma maior incorporação de resíduos, possibilitando um maior uso de cimento.

iv) Análise visual

Através de uma análise visual em imagens ampliadas dos compósitos, pôde-se observar a diferença do efeito da pressão de moldagem e dos teores de resíduos utilizados no compósito.

As Figuras 4.36, 4.37 e 4.38 mostram essas imagens.

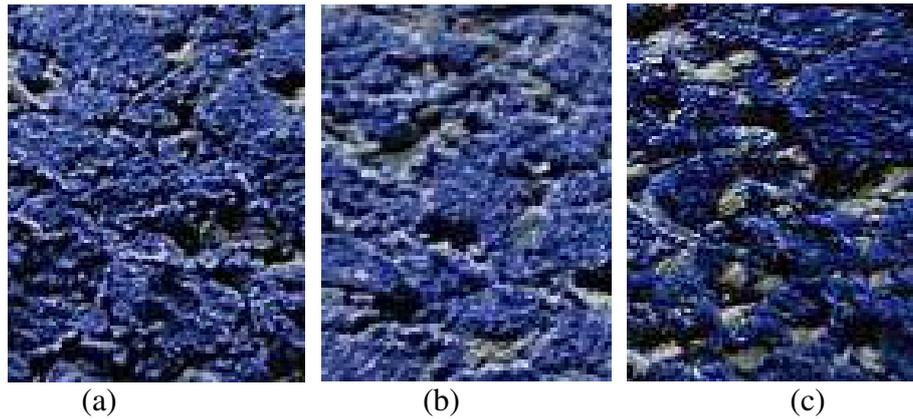


FIGURA 4.36: Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:1:0,4 (a) Pressão de moldagem N1, (b) Pressão de moldagem N2, (c) Pressão de moldagem N3.

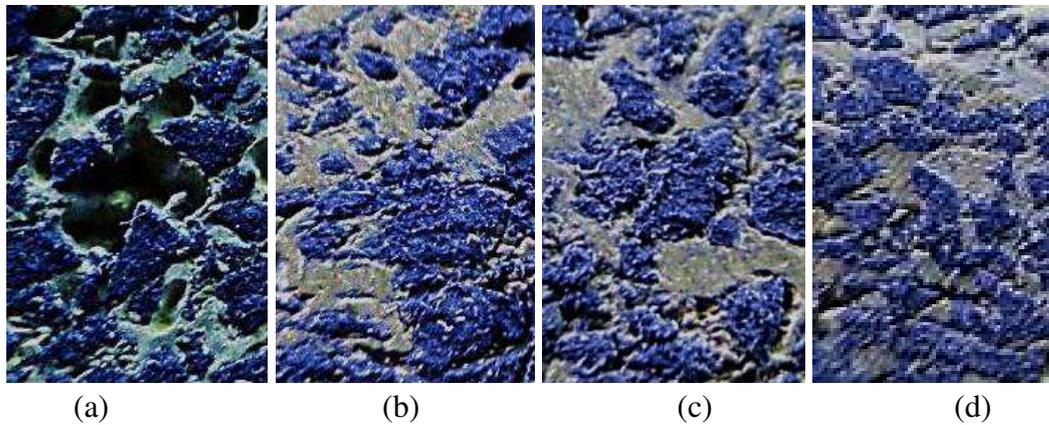


FIGURA 4.37: Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,5:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.

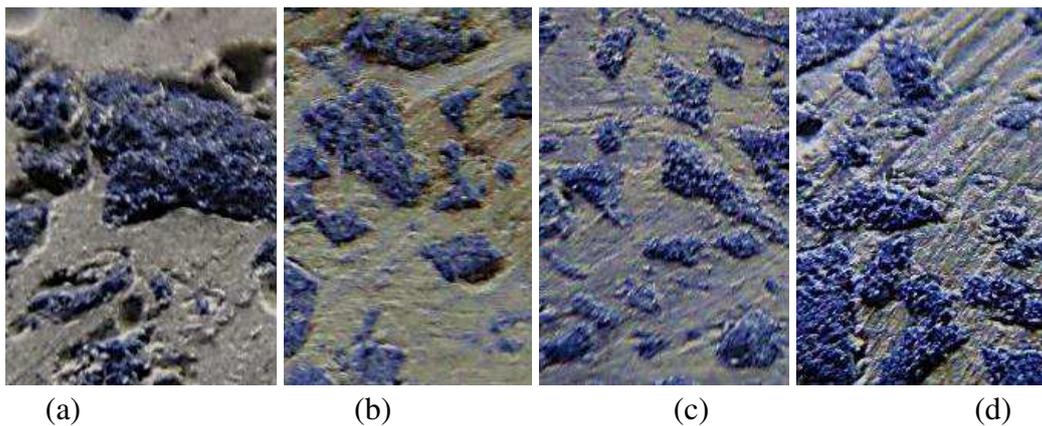


FIGURA 4.38: Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,25:0,4 (a) Pressão de moldagem N3, (b) Pressão de moldagem N2, (c) Pressão de moldagem N1, (d) Pressão de moldagem N0.

Através dessas imagens, nota-se a maior quantidade de vazios nos compósitos moldados sem pressão (N0) e com pressão de moldagem de nível N3.

O compósito com maior teor de incorporação de resíduos (1:1:0,4), também apresentou grande quantidade de vazios.

A análise visual foi complementada através de fotografias em microscópio ótico. Observou-se as características de forma das partículas do resíduo, da interface entre o SBR e o cimento, além dos vazios no interior das peças (Figuras 4.39, 4.40 e 4.41).

Nas fotografias que representam o traço 1:1:0,4 moldado com pressão de nível N2 e N3, nota-se uma menor quantidade de aglomerante entre as partículas do agregado. Esse fato foi atribuído à expulsão desse aglomerante, ocorrida durante a moldagem.

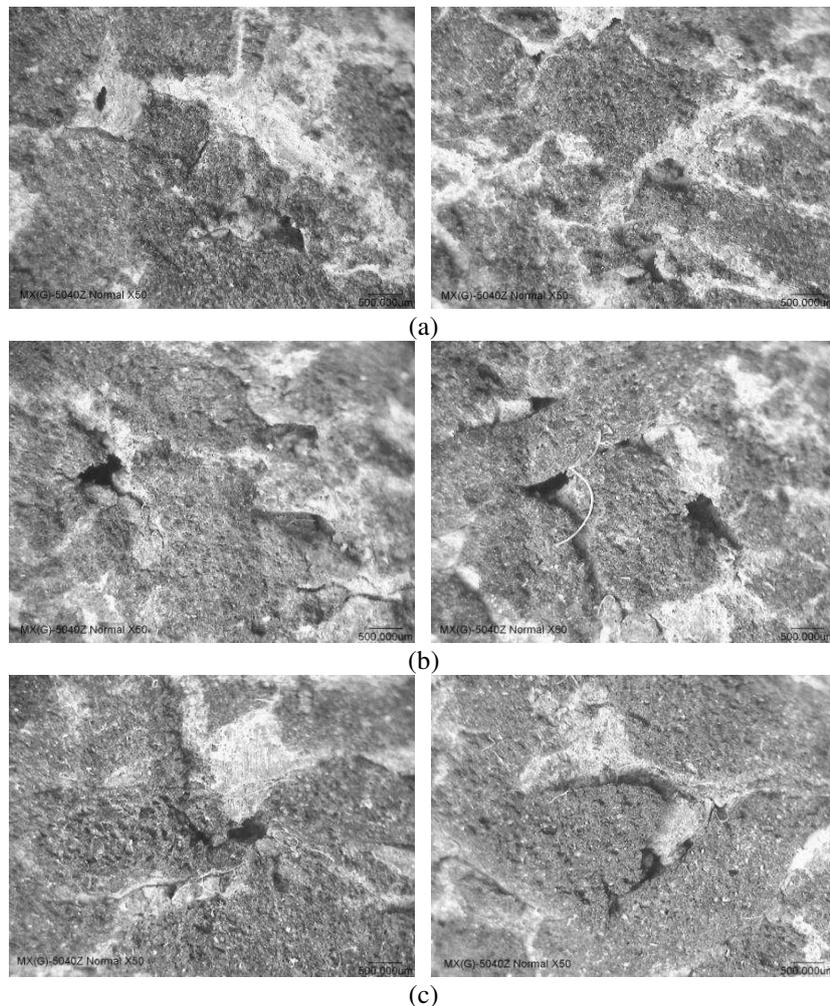


FIGURA 4.39: Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:1:0,4 (a) Pressão de moldagem N1, (b) Pressão de moldagem N2, (c) Pressão de moldagem N3

Nas imagens do traço 1:0,5:0,4 moldado com pressão de nível N2 e N3, nota-se uma maior proximidade entre as partículas do agregado. Com a pressão de moldagem de nível N3, essas partículas apresentam formato levemente achatado. É visível a existência de uma maior quantidade de vazios nos compósitos moldados sem pressão. Essas observações justificam as características das propriedades físicas e mecânicas avaliadas.

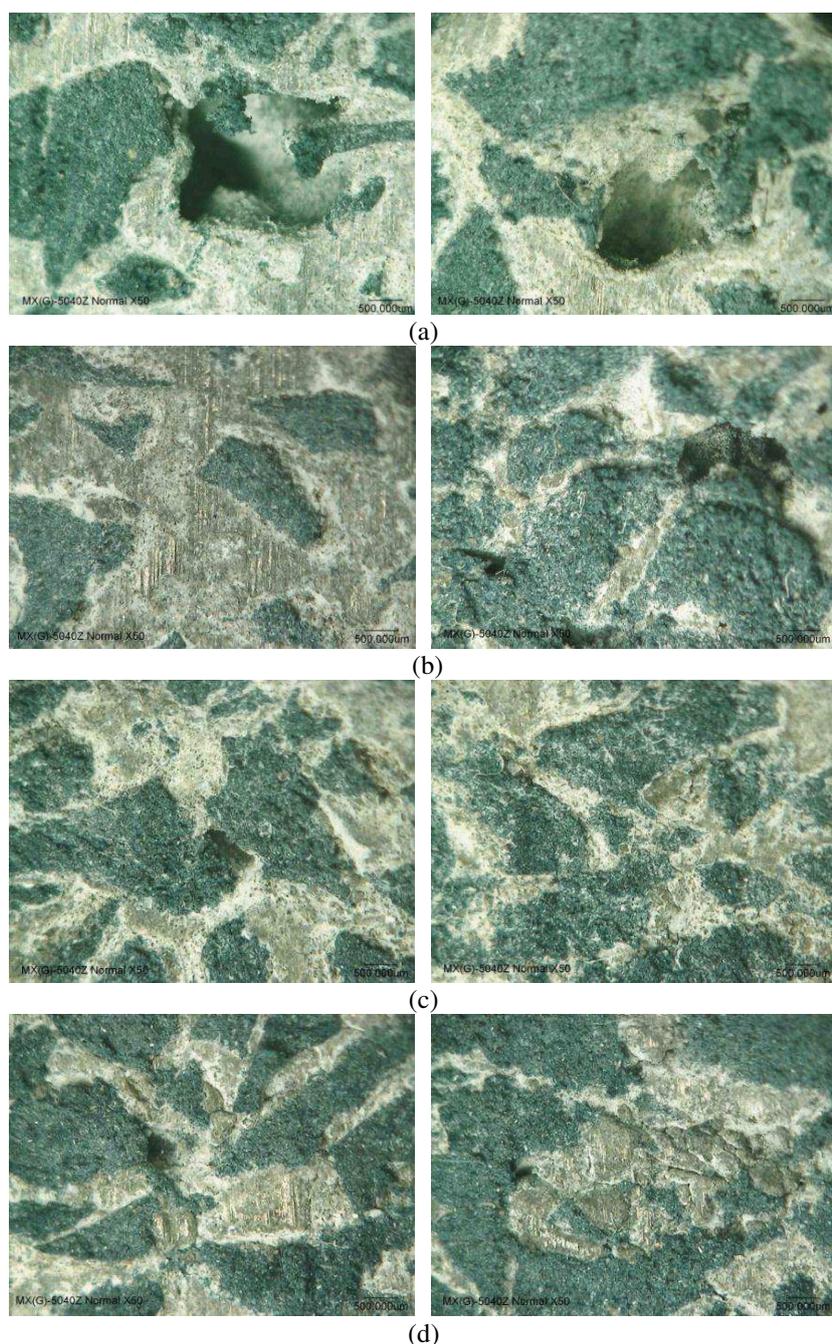


FIGURA 4.40: Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,5:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.

Observando as imagens do traço 1:0,25:0,4, notou-se um comportamento semelhante nos moldados com pressão (N1, N2 e N3). Ao ser usado o nível N3, essas partículas também apresentaram formato levemente achatado. É visível a existência de vazios no compósito moldado sem pressão (N0), porém em menor quantidade que no traço anterior.

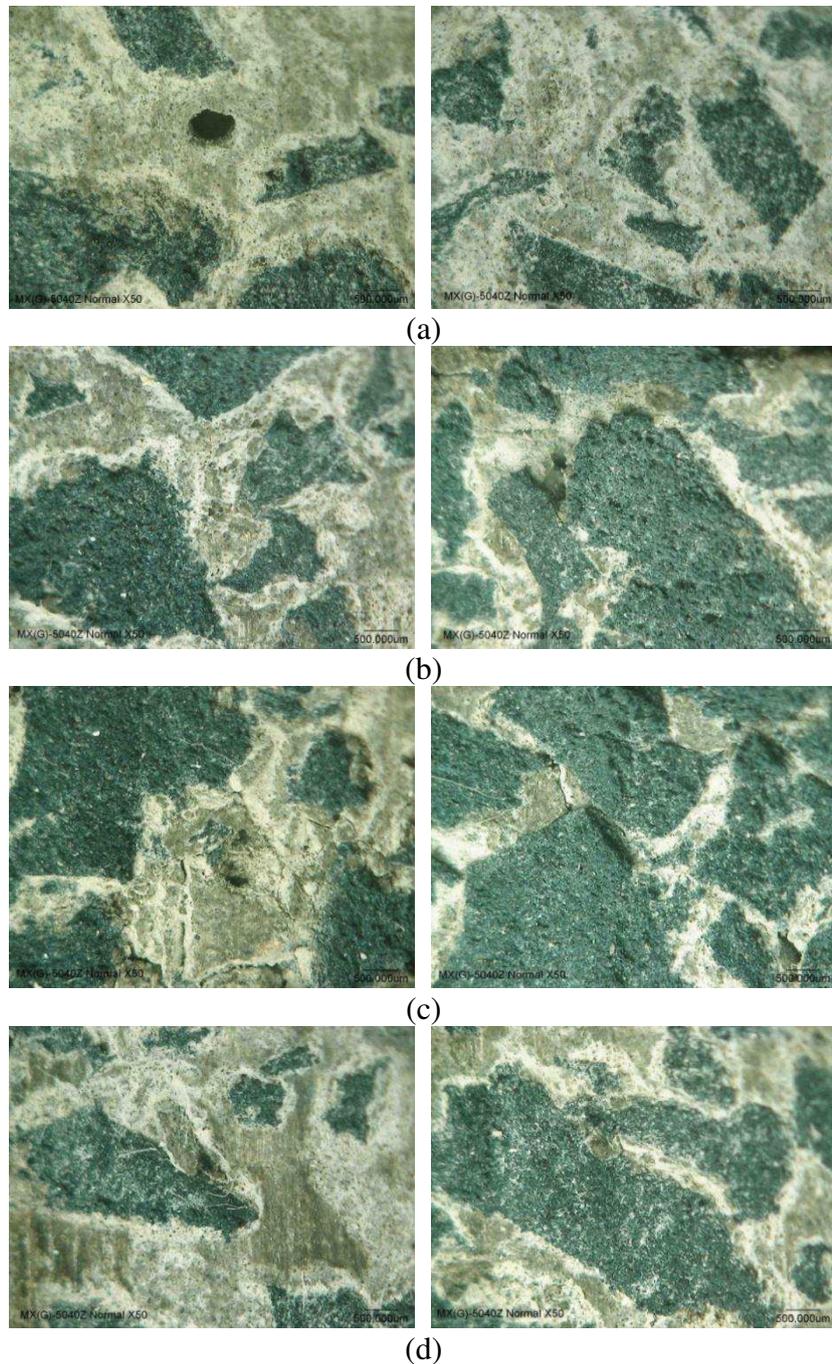


FIGURA 4.41: Matriz de cimento com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,25:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.

II - Compósito de gesso e resíduos de SBR.

Foram também avaliados compósitos com matriz de gesso e resíduo de SBR, nas mesmas condições dos compósitos com matriz de cimento e esse resíduo. O processo de moldagem desses compósitos apresentou uma maior dificuldade quando comparados com os moldados com cimento.

A figura 4.42 mostra corpos de prova moldados com matriz de gesso e resíduos de SBR com granulometria 345: (a) durante a cura (b) após ensaio de resistência à flexão.

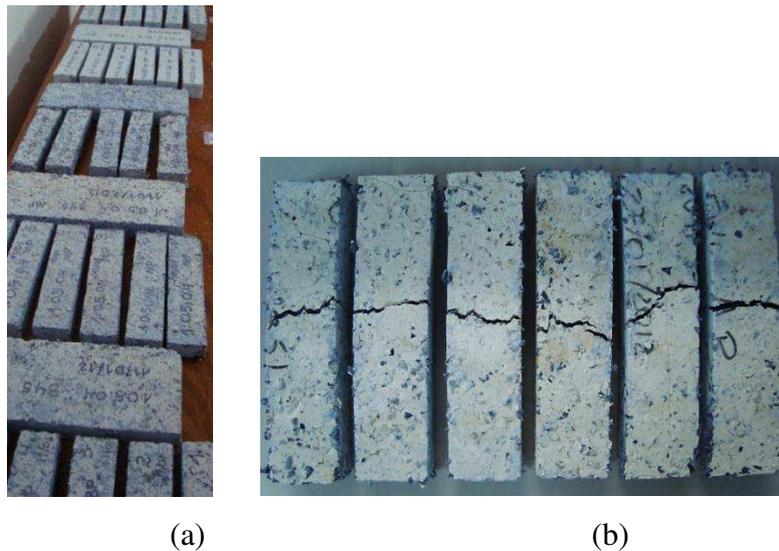


FIGURA 4.42: Corpos de prova moldados com matriz de gesso e resíduos de SBR com granulometria 345: (a) durante a cura (b) após ensaio de resistência à flexão.

i) Propriedades físico-mecânicas

Os resultados das propriedades, observados, encontram-se na Tabela 4.20:

TABELA 4.20: Resultados do estudo do compósito de gesso e resíduo de SBR, para utilização na elaboração de elementos construtivos leves.

Traço Gesso:resíduos de SBR	a/agl	Nível de Pressão de Moldagem	Resistência à Flexão (MPa)	Tenacidade (J)	Resistência à Compressão (MPa)	Densidade Aparente (Kg/m ³)	Expulsa sa a/mc	Massa Específica Seca (g/cm ³)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
1:1		N0	0,11 ± 0,015 aC	0,06 ± 0,022	0,71	451,8 ± 41,01 dC•	0	-		
		N1	0,10 ± 0,004 bC	0,11 ± 0,01		607,6 ± 17,7 cC•	0			
		N2	0,06 ± 0,019 cC	0,13 ± 0,02		655,0 ± 15,18 bC	+			
		N3	0,11 ± 0,008 dC	0,11 ± 0,02		850,8 ± 23,9 aC	++			
1:0,5	0,4	N0	0,56 ± 0,10 cB	0,29 ± 0,07	1,31	778,6 ± 26,70 cB	0	0,91 ± 0,03 bB	52,4 ± 1,80 cA	47,5 ± 2,16 aB
		N1	0,87 ± 0,12 aB	0,35 ± 0,05		933,4 ± 6,0 bB	+	1,09 ± 0,02 aA	34,5 ± 0,78 abB•	36,5 ± 0,37 dB•
		N2	0,82 ± 0,09 bB	0,41 ± 0,04		987,9 ± 13,5 aB	++	1,09 ± 0,45 aA	35,3 ± 4,9 aB	36,9 ± 3,16 cB
		N3	0,31 ± 0,012 dB	0,36 ± 0,05		995,4 ± 25,1 aB	+++	1,01 ± 0,01 aA	40,0 ± 3,5 bA	40,5 ± 2,74 bB
1:0,25		N0	2,09 ± 0,21 cA	0,29 ± 0,08	2,70	1081,1 ± 37,81 cA	0	1,03 ± 0,6 bA	45,0 ± 8,6 aB	46,5 ± 7,02 aA
		N1	3,00 ± 0,2 aA •	0,30 ± 0,02		1187,6 ± 17,79 bA	++	1,05 ± 0,21 aB	34,8 ± 0,53 cA	36,5 ± 1,07 dA
		N2	2,59 ± 0,21 bA	0,45 ± 0,23 •		1210,3 ± 25,62 bA	+++	1,03 ± 0,24 aB	35,8 ± 4,70 cA	36,7 ± 3,31 cA
		N3	2,05 ± 0,12 dA	0,31 ± 0,05		1256,3 ± 35,79 aA	++++	1,11 ± 0,06 aB	36,4 ± 4,73 bB	40,4 ± 5,65 bA

- Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (a,b,c,d), para um mesmo traço, não diferem entre si pelo teste de Tukey.
- Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (A,B,C,D), para o mesmo nível de pressão de moldagem, em diferentes traços, não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Os resultados do teste de Tukey foram realizados com 95% ou 99% de confiança

Avaliando-se as propriedades dos traços moldados com gesso, em relação à resistência à compressão simples, nota-se também que, quanto menor o teor de resíduos, maior essa resistência (Figura 4.43).

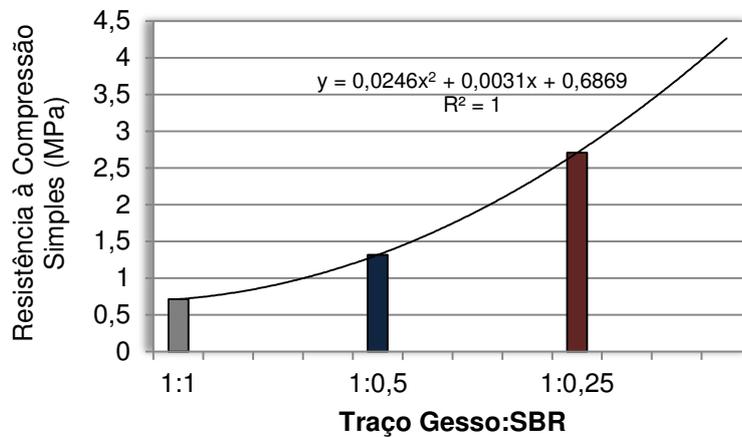


FIGURA 4.43: Resistência à Compressão simples da matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345.

Ao se moldar usando o traço 1:1, alcançou-se 0,71 MPa de resistência à compressão. Diminuindo-se o teor de resíduos em 50% (1:0,5), a resistência à compressão aumentou 84% (1,31 MPa), e, quando essa redução do teor de resíduos foi 75% (1:0,25), o aumento da resistência passou a ser 280% (2,7 MPa). O resultado da resistência à compressão desse compósito no traço 1:0,25:0,4 foi semelhante ao encontrado por OLIVEIRA (2009) trabalhando com gesso e EVA no traço 1:0,25:0,7 ou 1:0,20:0,8 ou 1:0,1:0,9. Outros pesquisadores, como BEZERRA (2002), LEAL (2004), PIMENTEL (2005), POLARI FILHO (2005), SOARES et al (2005 e 2008) e SILVA (2012) encontraram valores semelhantes, trabalhando com cimento e resíduos de EVA ou SBR (tabela 2.4)

Utilizando-se os quatro níveis de pressão de moldagem, observou-se que, o teor de resíduos teve grande influência na resistência à flexão dos compósitos. Como aconteceu com o compósito de matriz de cimento, moldando-se com matriz de gesso, quanto menor o teor de resíduos maior a resistência à flexão. Avaliando-se a influência do nível de pressão de moldagem, os melhores resultados foram atingidos pelo nível N1. Para o traço 1:1: o aumento do nível de pressão não influenciou na resistência à flexão. Apresentando grande dificuldade na moldagem, o traço 1:1 mostrou-se bastante frágil, não atingindo resistências à flexão significativas. Os outros ensaios não foram

possíveis com esse traço. Com o traço 1:0,25; moldando-se sem pressão (N0), conseguiu-se uma resistência à flexão de 2,09 MPa, superior ao encontrado por OLIVEIRA (2009), trabalhando com o mesmo traço, de gesso e EVA e relação água\gesso de 0,7 (1,7 MPa). OLIVEIRA (2009) conseguiu alcançar a resistência à flexão de 2 MPa, com traços 1:0,15:0,7 ou 1:0,10:0,8; e de 1,8 MPa, utilizando o traço 1:0,05:0,9; em compósitos formados por gesso e EVA. Na Figura 4.44 estão ilustradas as curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos gesso:SBR estudados, variando-se o nível de pressão de moldagem aplicados.

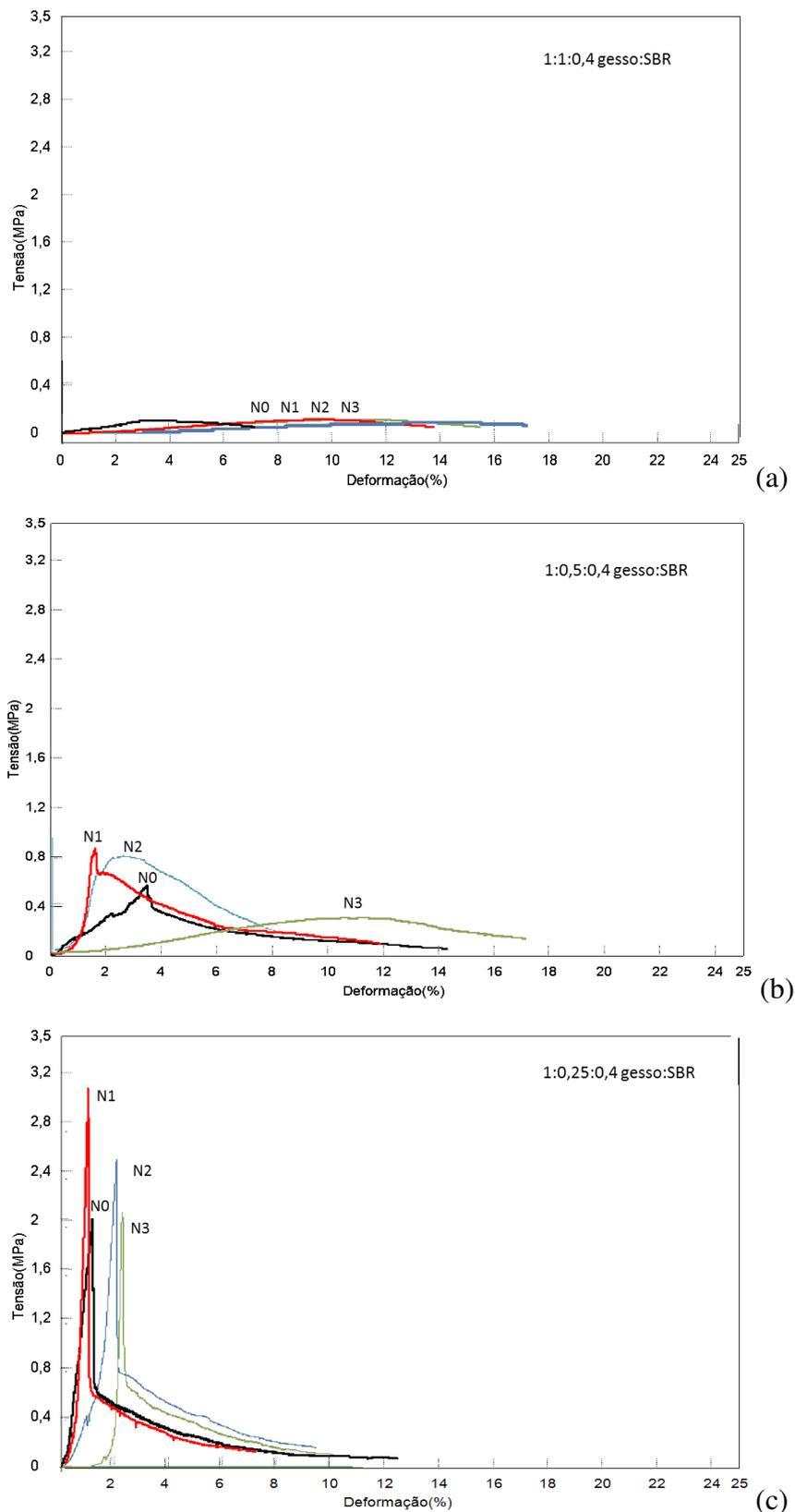


FIGURA 4.44: Curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos gesso:SBR estudados, variando-se o nível de pressão de moldagem aplicados (N0, N1, N2, N3): (a) 1:1:0,4 (b) 1:0,5:0,4 (c) 1:0,25:0,4

A densidade aparente do compósito de matriz de gesso e resíduo de SBR, tal como na matriz de cimento, diminui com o aumento do teor de resíduos de SBR. As pressões de moldagem mais altas provocaram um aumento na densidade do compósito.

Considerando as recomendações para concretos leves (tabela 2.1), em relação à massa específica seca dos compósitos de gesso e SBR estudados, todos podem ser considerados leves, independente dos teores de resíduo e níveis de pressão de moldagem adotados. Para o traço 1:0,25:0,4 moldado sem pressão (N0), a massa específica seca foi de $1030 \text{ kg}\text{m}^3$. OLIVEIRA (2009) encontrou o valor de massa específica de $968 \text{ Kg}\text{m}^3$ no traço 1:0,25:0,7 de gesso e EVA e $1031 \text{ Kg}\text{m}^3$ no traço 1:0,05:0,7.

Quanto à capacidade de absorção foi possível observar que, a alteração do teor de resíduos, assim como o aumento do nível de pressão de moldagem, influenciaram pouco nesses compósitos. Os corpos de prova moldados sem pressão apresentaram maiores capacidade de absorção.

Como aconteceu com os compósitos de matriz de cimento, ao se usar o gesso como aglomerante, levando-se em conta a capacidade de absorção, os menores resultados também foram alcançados nos compósitos moldados com nível de pressão N1. Novamente, ao serem utilizados os níveis de pressão de moldagem N2 e N3, devido à expulsão de água com aglomerante do interior dos compósitos (indicada por cruzes na Tabela 4.20), estes ficaram com uma maior quantidade de vazios, e, conseqüentemente maior capacidade de absorção. A figura 4.45 ilustra a relação entre essas propriedades.

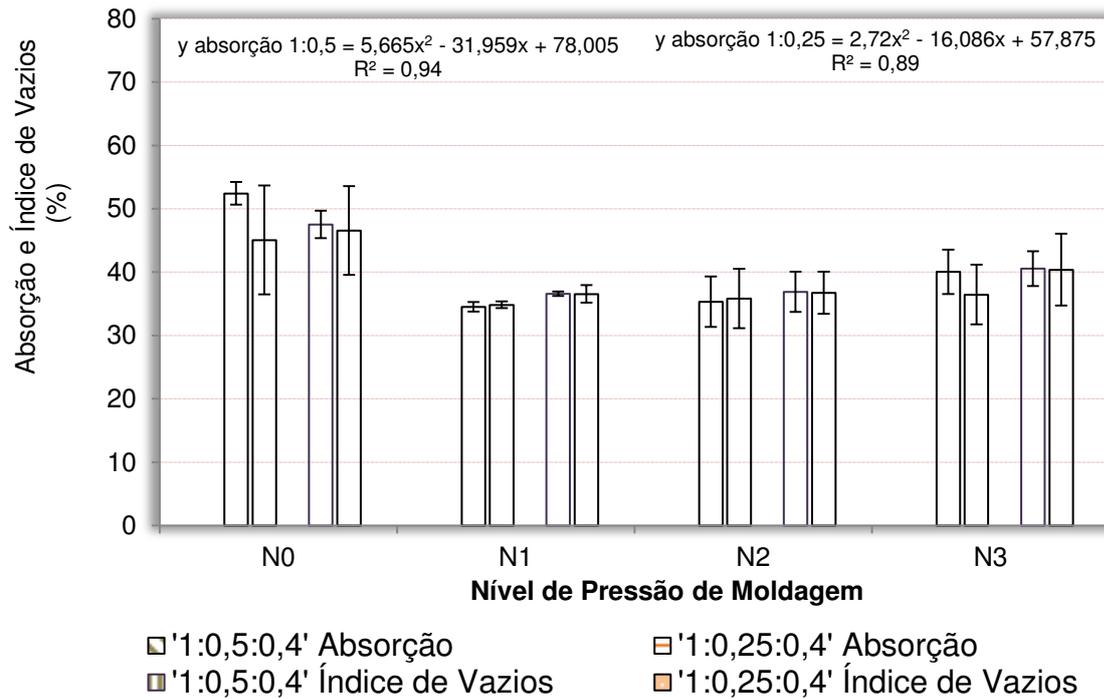


FIGURA 4.45: Absorção e Índice de Vazios da matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR.

Observou-se que ao ser aumentada a pressão de moldagem de N1 para N3, aumentou-se também o índice de vazios nos compósitos. Quando moldados sem pressão (N0), apresentaram maior capacidade de absorção e de índice de vazios.

Como com o compósito com matriz de cimento, os corpos de prova com gesso, moldados com nível de pressão N1, apresentaram também maior uniformidade (menores valores de desvio padrão).

A Figura 4.46 ilustra as características das propriedades observadas no compósito gesso:resíduos de SBR:

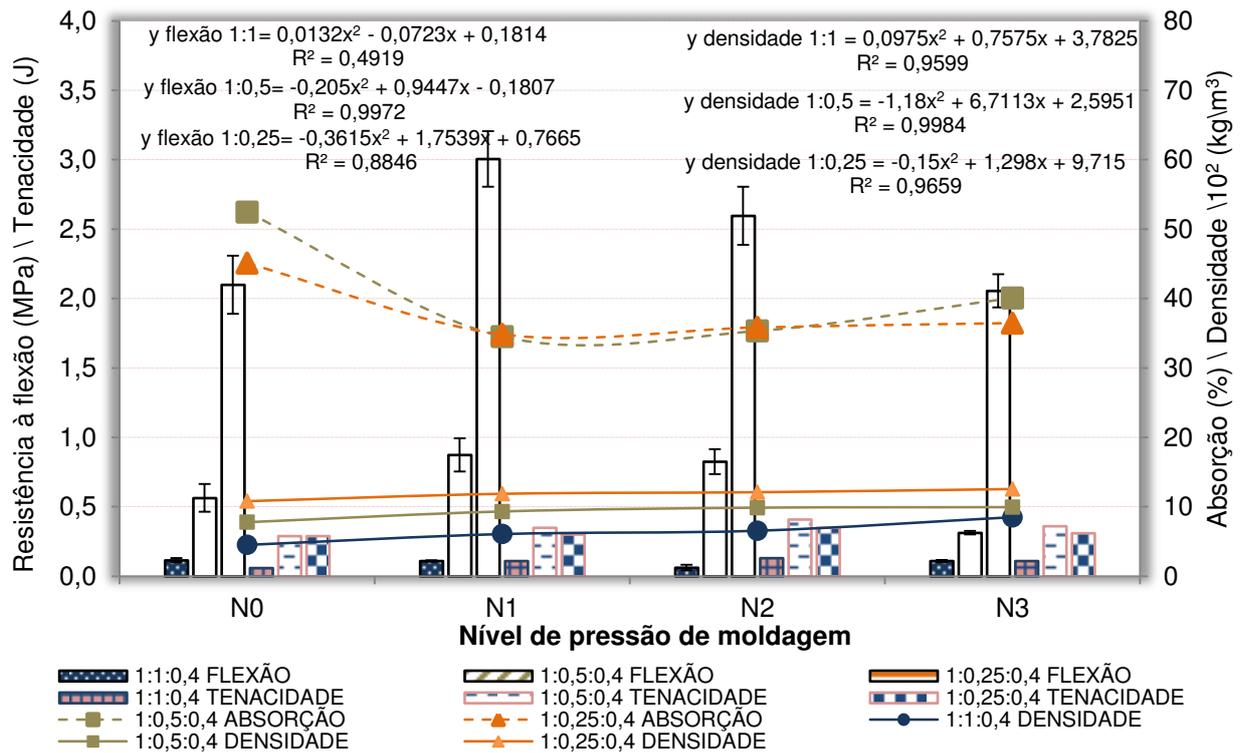


FIGURA 4.46: Resistência à Flexão, Tenacidade, Absorção e Densidade aparente da matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR.

ii) Incrementos observados, devido à variação do teor de resíduos e do nível de pressão de moldagem.

Considerando-se a variação dos teores de resíduos, para cada nível de pressão de moldagem, foram observados incrementos nas propriedades dos compósitos, conforme indicados na Tabela 4.21:

TABELA 4.21: Incrementos observados, para cada nível de pressão de moldagem, na resistência à flexão, na densidade aparente e na absorção dos compósitos de gesso e SBR, em decorrência da variação do teor de resíduos.

RESISTÊNCIA À FLEXÃO				
Elemento	Nível de pressão de moldagem			
	N0	N1	N2	N3
1:0,5:0,4 (MPa)	0,56	0,87	0,82	0,31
Incremento 1:0,25 \ 1:0,5 (%)	+ 273,2	+ 244,8	+ 215,8	+ 561,3
DENSIDADE APARENTE				
Elemento	Nível de pressão de moldagem			
	N0	N1	N2	N3
1:0,5:0,4 (Kg\m ³)	778,3	933,7	987,5	995,0
Incremento 1:0,25 \ 1:0,5 (%)	+ 38,8	+ 27,2	+ 22,6	+ 26,2
ABSORÇÃO				
Elemento	Nível de pressão de moldagem			
	N0	N1	N2	N3
1:0,5:0,4 (%)	52,4	34,5	35,3	40,0
Incremento 1:0,25 \ 1:0,5 (%)	- 12,4	+ 0,8	+ 1,41	- 8,82

Considerando-se a influência da pressão de moldagem, para os dois teores de resíduos utilizados, observaram-se incrementos nas propriedades dos compósitos, conforme Tabela 4.22:

TABELA 4.22: Incrementos observados, para cada teor de resíduos incorporado, na resistência à flexão, na densidade aparente e na absorção dos compósitos de gesso e SBR, devido a variação da pressão de moldagem utilizada.

RESISTÊNCIA À FLEXÃO		
Elemento	Traço	
	1:0,5:0,4	1:0,25:0,4
N0 (Kg\m ³)	0,56	2,09
Incremento N1 \ N0 (%)	+ 55,0 •	+ 43,5 •
Incremento N2 \ N0 (%)	+ 46,0	+ 23,9
Incremento N3 \ N0 (%)	+ 44,0	- 1,91
DENSIDADE APARENTE		
Elemento	Traço	
	1:0,5:0,4	1:0,25:0,4
N0 (Kg\m ³)	778,3	1081,08
Incremento N1 \ N0 (%)	+ 19,6 •	+ 9,8 •
Incremento N2 \ N0 (%)	+ 26,9	+ 11,9
Incremento N3 \ N0 (%)	+ 27,8	+ 16,2
ABSORÇÃO		
Elemento	Traço	
	1:0,5:0,4	1:0,25:0,4
N0 (Kg\m ³)	52,4	45,0
Incremento N1 \ N0 (%)	- 34,1 •	- 22,6 •
Incremento N2 \ N0 (%)	- 32,6	-20,4
Incremento N3 \ N0 (%)	- 23,6	- 19,1

Através dos valores dos incrementos nas propriedades dos compósitos, citados nas tabelas 4.21 e 4.22 observou-se:

- Ao se diminuir o teor de resíduo, a resistência à flexão e a densidade do compósito aumentaram. A capacidade de absorção não apresentou um comportamento uniforme, demonstrando certa dificuldade na realização desse ensaio, para esse compósito.

- O nível de pressão de moldagem N1 provocou um maior incremento na resistência à flexão, uma maior queda na capacidade de absorção e um menor incremento na densidade aparente dos compósitos.

iii) Fatores de eficiência (Fef) segundo ROSSIGNOLO (2003)

Os resultados obtidos com os cálculos adaptados do Fator Eficiência (Fef) segundo ROSSIGNOLO (2003) das propriedades, complementam o que foi observado (Tabela 4.23). Para a densidade aparente e para absorção, como aconteceu com os compósitos de matriz de cimento, esse fator foi denominado de “Fator de Densidade” e “Fator de Absorção”:

TABELA 4.23: Resultados dos fatores, segundo ROSSIGNOLO, das propriedades do compósito de gesso e resíduo de SBR para utilização na elaboração de elementos construtivos leves.

Traço Gesso:resíduos de SBR	a/agl	Nível de Pressão de Moldagem	Fator Eficiência da Resistência à Flexão (MPa.cm ³ /g)	Fator da Densidade	Fator de Absorção (%.cm ³ /g)	Fator do Índice de Vazios (%.cm ³ /g)
1:0,5	0,4	N0	0,62	8,55 •	57,64	52,25
		N1	0,80 •	8,56	31,68 •	33,57 •
		N2	0,76	9,06	32,41	33,85
		N3	0,31	9,85	39,67	40,16
1:0,25		N0	2,04	10,50 •	43,78	45,23
		N1	2,86 •	11,30	33,18 •	34,83 •
		N2	2,52	11,75	34,80	35,68
		N3	1,85	11,32	32,86	36,40

Através dos resultados, nota-se que o nível de pressão N1 tornou os compósitos mais eficientes.

A figura 4.47 ilustra o comportamento dos fatores eficiência das propriedades dos compósitos de gesso e resíduos de SBR

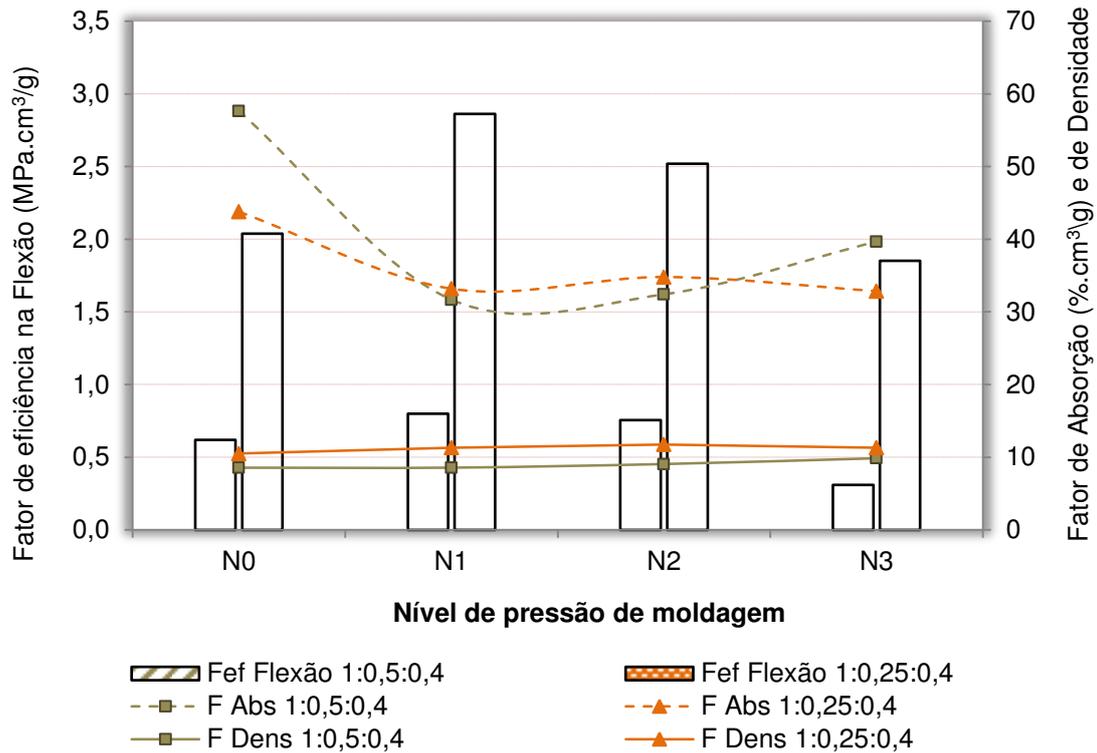


FIGURA 4.47: Resultados dos fatores, segundo ROSSIGNOLLO, das propriedades do compósito de gesso e resíduo de SBR para utilização na elaboração de elementos construtivos leves.

Comprova-se com a figura 4.52 que o aumento do nível de pressão de moldagem, a partir de N1, não influenciou significativamente a resistência à flexão e a absorção dos compósitos.

iv) Análise visual

Uma análise visual, em imagens ampliadas, proporcionou a observação do efeito da pressão de moldagem e dos teores de resíduos utilizados para esse compósito (Figuras 4.48, 4.49 e 4.50).

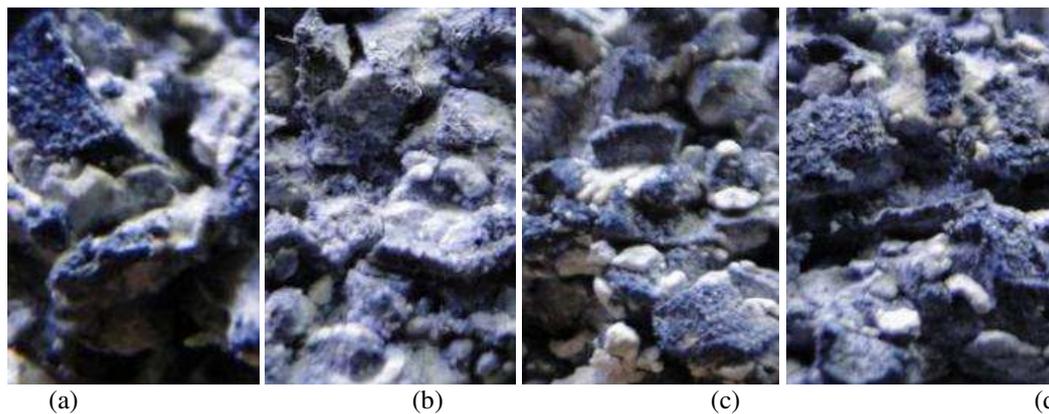


FIGURA 4.48: Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:1:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.

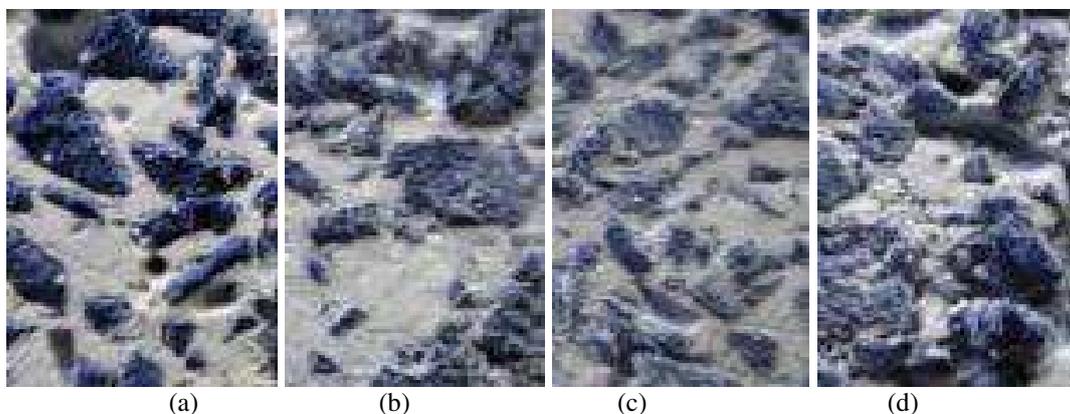


FIGURA 4.49: Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,5:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.

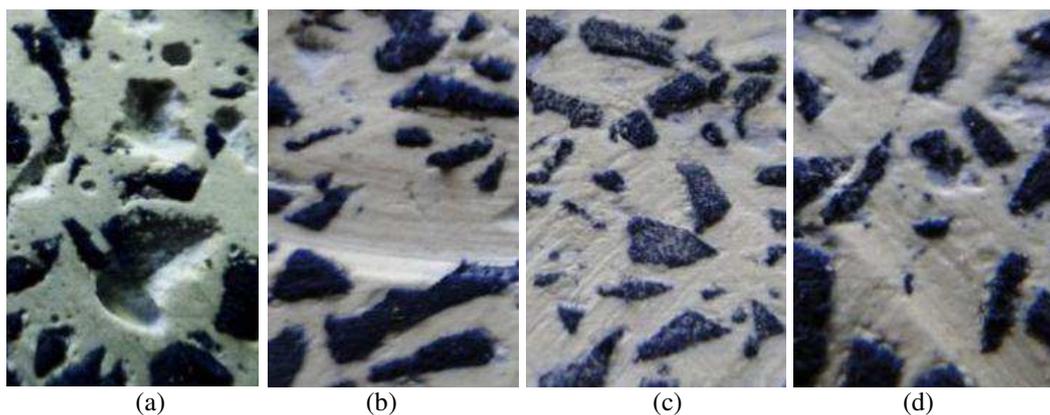


FIGURA 4.50: Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,25:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.

Através das fotografias, nota-se que o traço 1:1:0,4 se apresenta como uma estrutura frágil, com muitos vazios, para todos os níveis de pressão de moldagem. Os

outros traços possuem maior quantidade de vazios quando moldados com níveis de pressão N0 e N3. No microscópio ótico foram registradas imagens para complementar a análise visual (Figuras 4.51, 4.52 e 4.53).

Nas fotografias que representam o traço 1:1:0,4, notou-se a fragilidade e a existência de muitos vazios, justificando os resultados obtidos nos ensaios para avaliação de propriedades físicas e mecânicas desse traço.

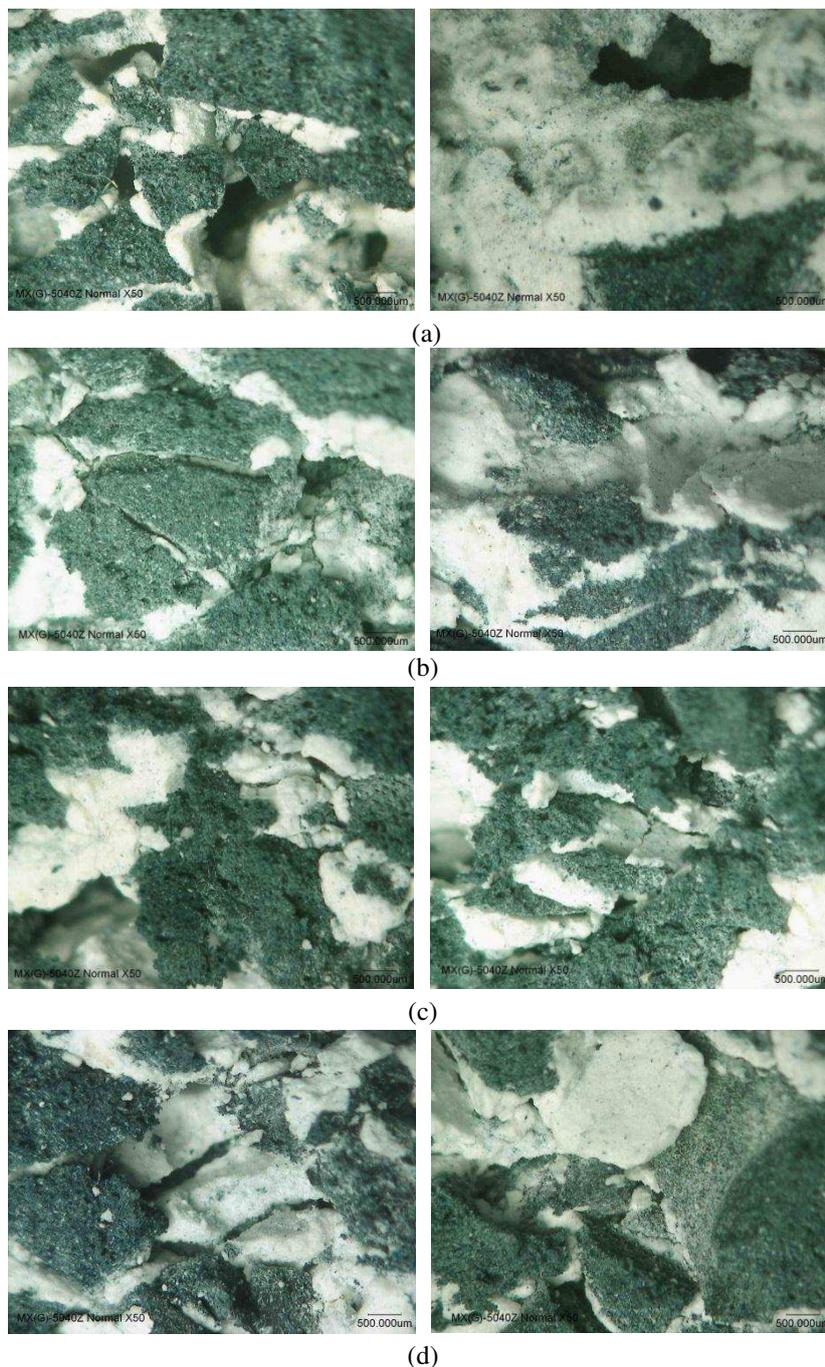


FIGURA 4.51: Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:1:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.

Nas imagens do traço 1:0,5:0,4, moldado com pressões de níveis N1 e N2, notou-se uma melhor acomodação das partículas do agregado. Ao ser usado o nível N3, essas partículas apresentaram-se mais próximas, com formato levemente achatado e pouca aderência ao aglomerante. É visível a existência de uma maior quantidade de vazios nos compósitos moldados sem pressão. As observações feitas nessas imagens justificam as características de suas propriedades físicas e mecânicas avaliadas.

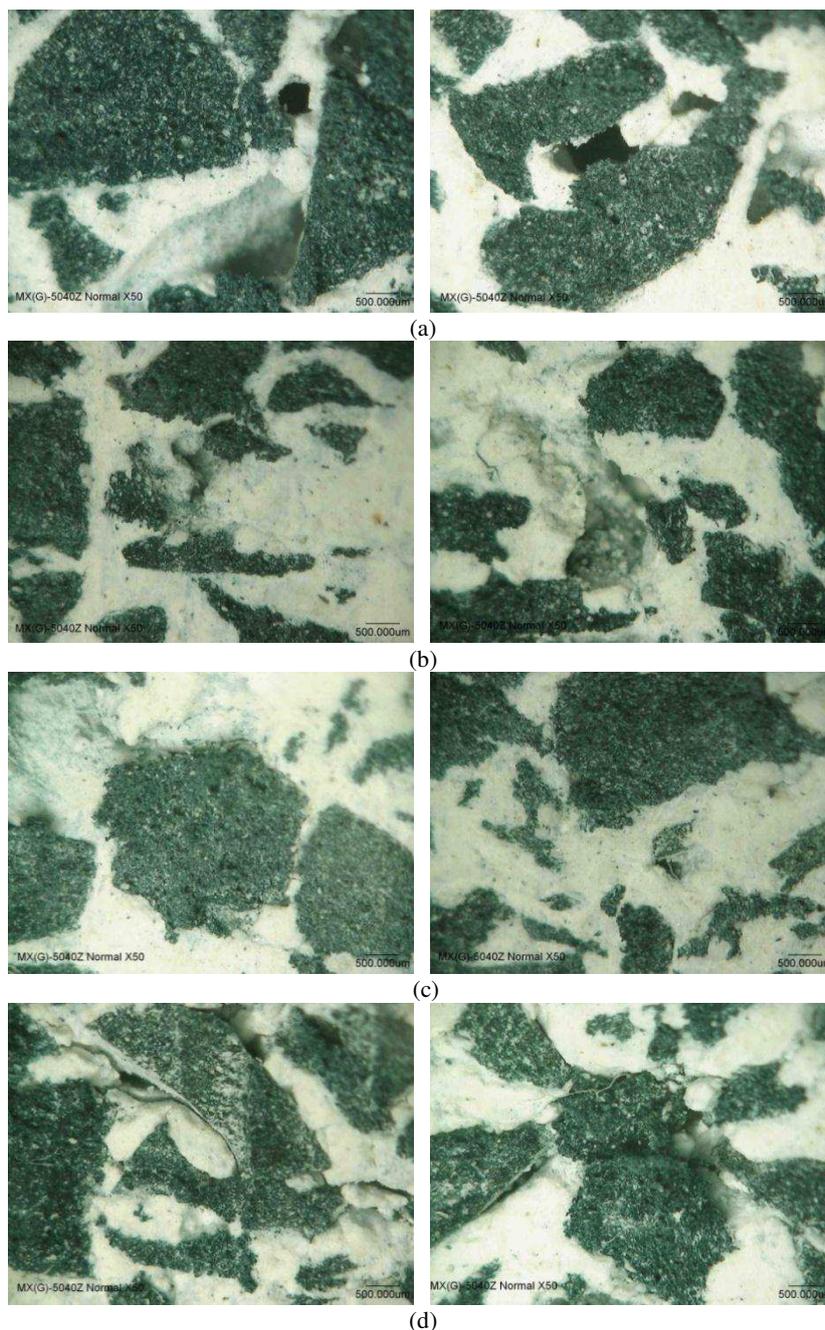


FIGURA 4.52: Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,5:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.

Através das imagens do traço 1:0,25:0,4, em relação às partículas do resíduo, notou-se um comportamento semelhante em todos os traços moldados. Comparando-se o moldado sem pressão, com os moldados com níveis de pressão N2 e N3, observou-se uma diferença na aparência do gesso. Com esses dois últimos, a considerável expulsão de água com aglomerante do composto, tornou essa matriz visivelmente mais frágil. Essas observações justificam as propriedades físicas e mecânicas avaliadas.

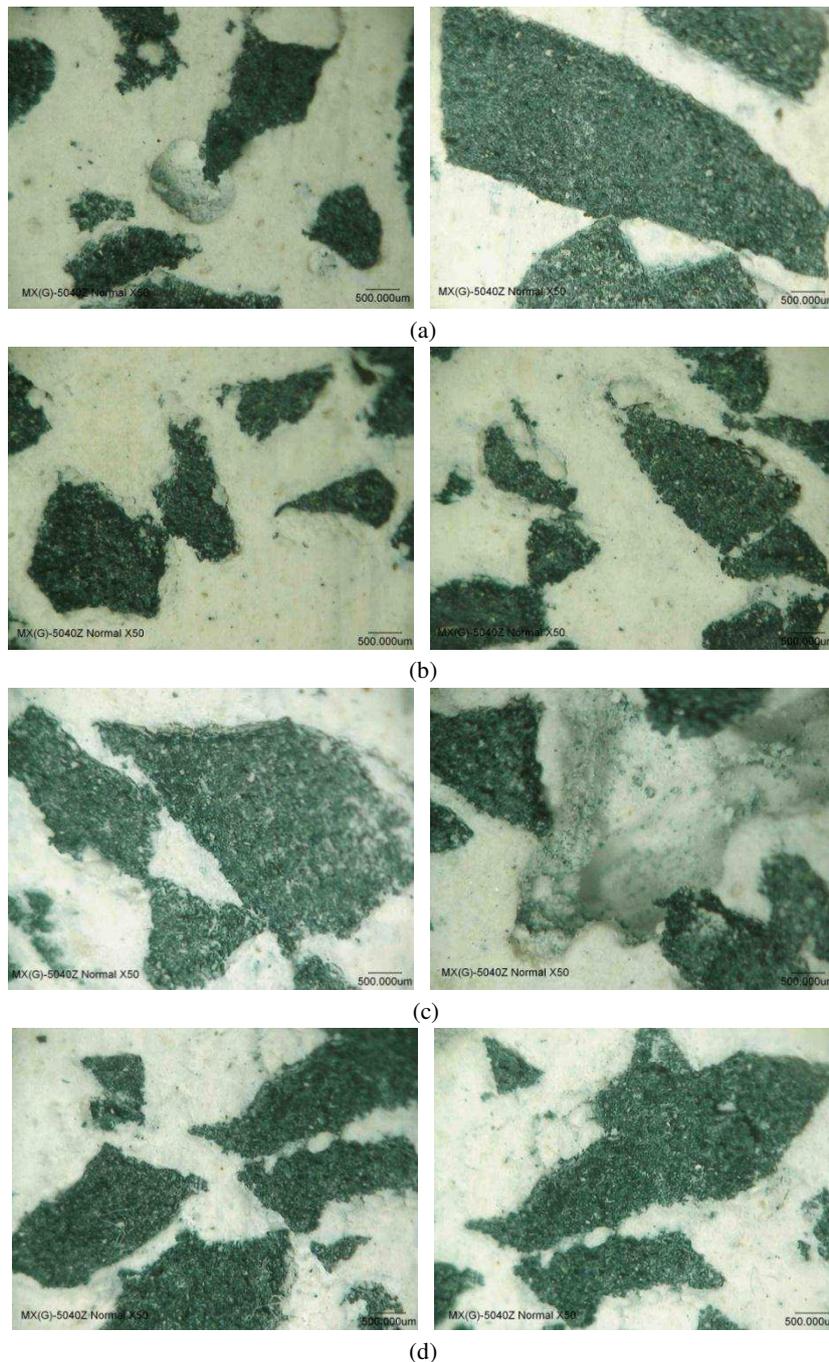


FIGURA 4.53: Matriz de gesso com incorporação de resíduo de SBR, na granulometria 345. Traço 1:0,25:0,4 (a) Pressão de moldagem N0, (b) Pressão de moldagem N1, (c) Pressão de moldagem N2, (d) Pressão de moldagem N3.

III – Otimização dos resultados***i) Compósitos cimento:resíduos de SBR x compósitos gesso:resíduos de SBR.***

Foi feita uma comparação entre propriedades físicas e mecânicas dos compósitos de cimento:resíduos de SBR e gesso:resíduos de SBR. As Figuras 4.54 e 4.55 ilustram essa comparação.

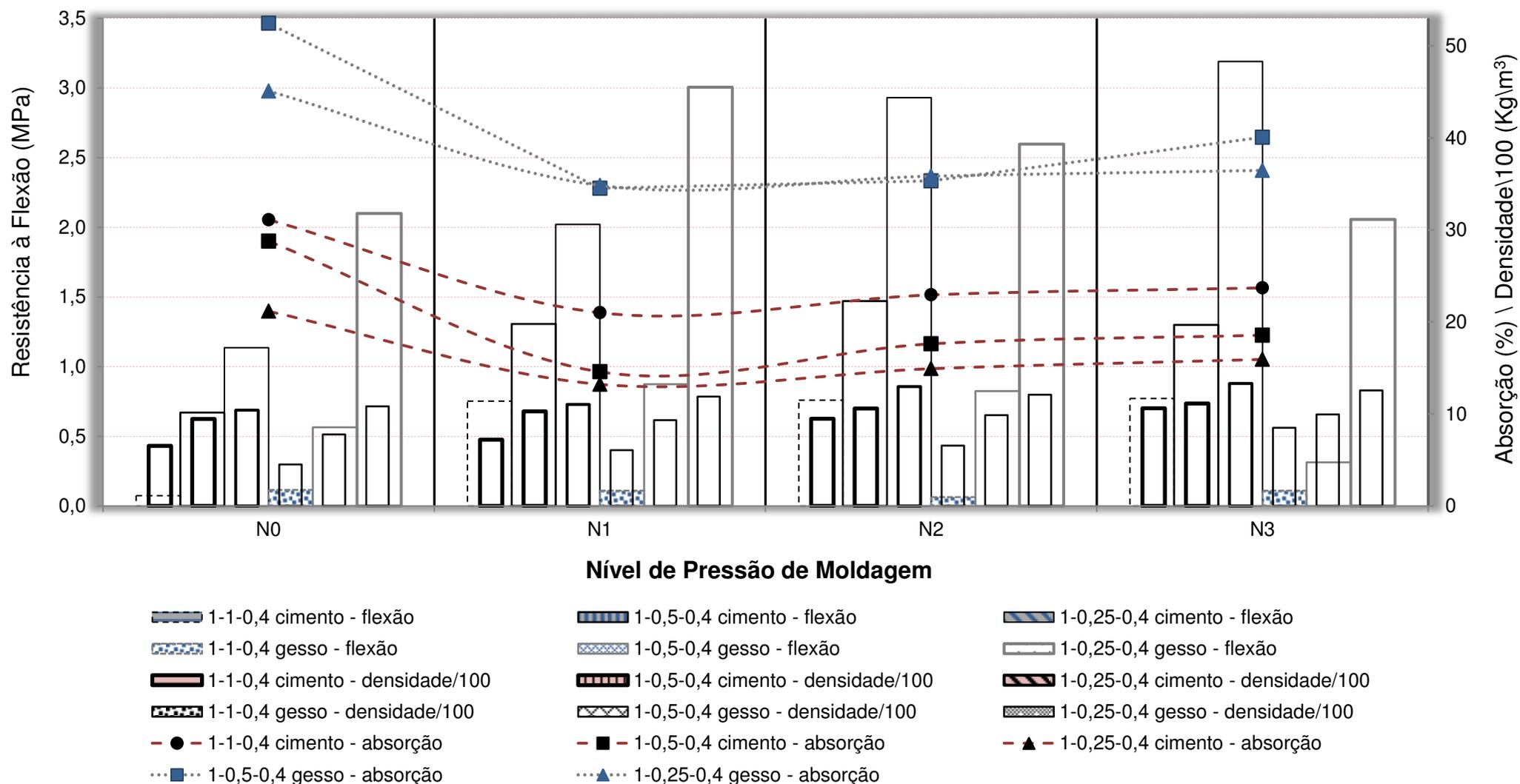


FIGURA 4.54: Comparação das propriedades dos compósitos cimento:resíduos de SBR e gesso:resíduos de SBR

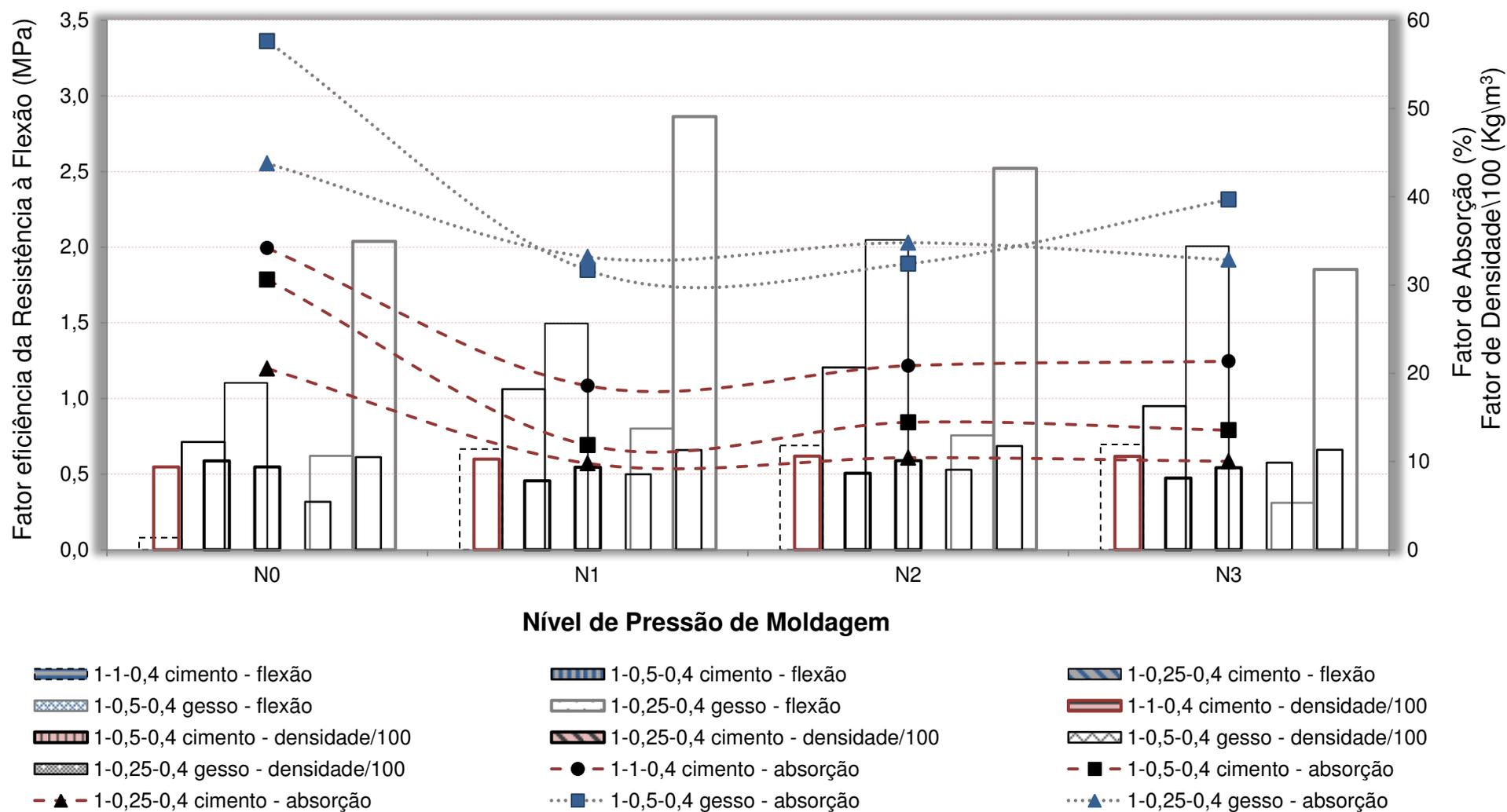


FIGURA 4.55: Comparação dos fatores de eficiência das propriedades dos compostos cimento:resíduos de SBR e gesso:resíduos de SBR

i.1) Resistência à Flexão

Os compósitos cimento:resíduos de SBR se mostraram mais eficientes quanto à resistência à flexão, quando moldados com pressão de nível N2 (0,4 MPa).

Para os compósitos com matriz de gesso, o nível de pressão de moldagem N1 (0,16 MPa) proporcionou maior eficiência quanto à resistência à flexão.

Para os traços com mesmo teor de resíduos (1:0,5), os compósitos contendo cimento foram mais eficientes que quando moldados com gesso.

Ao ser utilizado um menor teor de resíduos, os compósitos com matriz de gesso alcançaram maior eficiência, exceto quando moldados com pressão de nível N3.

i.2) Densidade Aparente

Para os compósitos cimento:resíduos de SBR, moldados com pressão, as densidades variaram de 721 a 1331 Kgm^3 e, para os de gesso:resíduos de SBR, de traços 1:0,5:0,4 e 1:0,25:0,4, também moldados com pressão, as densidades variaram de 933 a 1256 Kgm^3 . Esses valores, de acordo com a tabela 2.8, foram semelhantes aos de materiais como: borrachas sintéticas (1000 – 1500 Kgm^3), concreto leve com argila expandida (1500 – 1700 Kgm^3) e gesso projetado (1200 Kgm^3).

Quanto maior o teor de resíduos, menor a densidade aparente.

Essa propriedade também aumentou, proporcionalmente ao nível de pressão de moldagem aplicado.

Os compósitos com cimento apresentaram densidade aparente maior que os moldados com gesso, porém todos puderam ser considerados leves.

i.3) Capacidade de Absorção

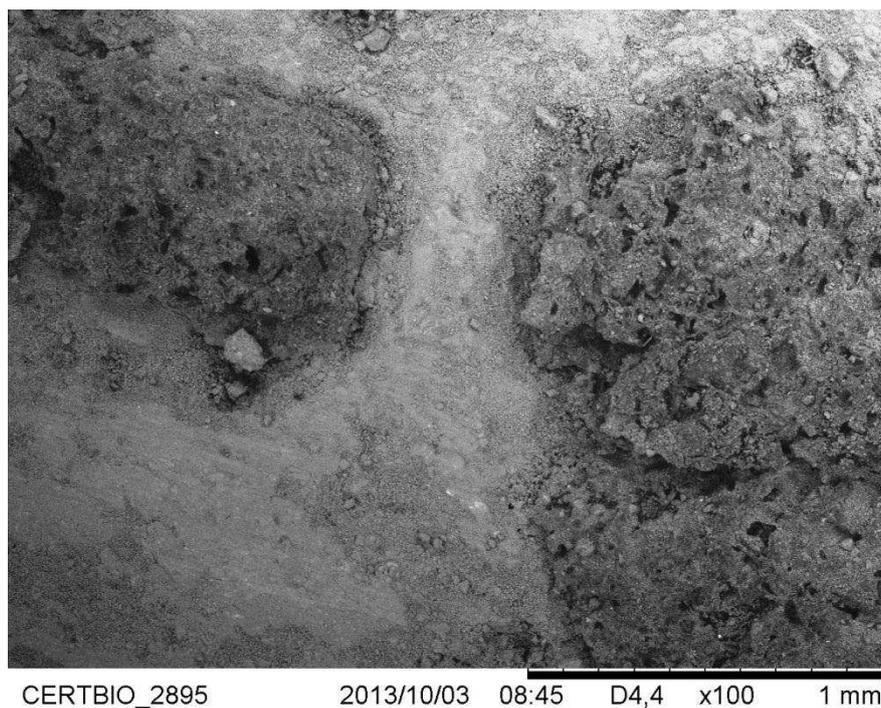
Considerando todos os teores de incorporação de resíduos e níveis de pressão de moldagem utilizados, os compósitos com matriz de cimento obtiveram menor capacidade de absorção que os elaborados com gesso. Todos os traços apresentaram menor fator de absorção quando moldados com pressão de nível N1.

Pensando-se em compósitos leves que possam incorporar uma maior quantidade de resíduo de SBR, possuindo assim baixa densidade, que tenham menor capacidade de absorção e de índice de vazios, com uma resistência à flexão suficiente para atender aos objetivos propostos; através dos resultados e análises das propriedades dos compósitos estudados, foi possível notar que:

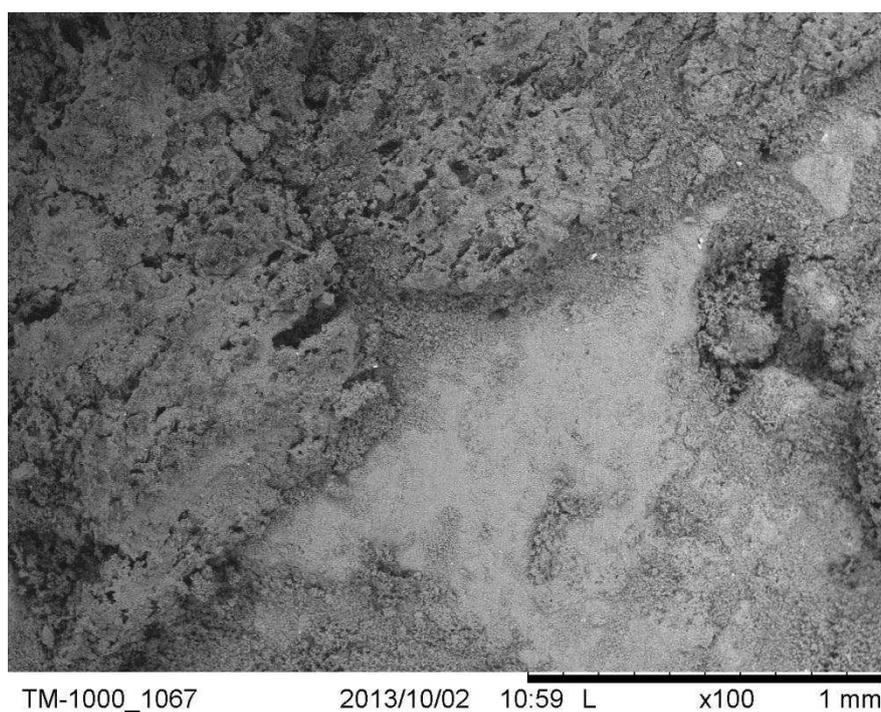
- Quando utilizado cimento como aglomerante, os traços 1:1:0,4 e 1:0,5:0,4 atendem aos requisitos do trabalho, sendo moldados com nível de pressão N1.

- Ao serem moldados com gesso, os traços 1:0,5:0,4 e 1:0,25:0,4 são adequados para serem usados na elaboração das estruturas que se pretende, também sendo utilizada a pressão de moldagem de nível N1.

Foram realizadas microscopias eletrônicas de varredura nos compósitos de traço 1:0,5 (gesso:SBR e cimento:SBR) e pressão de moldagem de nível N1. Observou-se uma maior interação do resíduo de SBR com o gesso, resultando numa melhor qualidade de interface entre esses materiais. (Figura 4.56)



(a)



(b)

FIGURA 4.56: Microscopia eletrônica de varredura nos compostos de traço 1:0,5 e pressão de moldagem de nível N1; utilizando-se cimento (a) ou gesso (b) como aglomerante.

ii) Compósitos com resíduos de SBR x respectivas matrizes

Pretendendo-se comparar com os compósitos que apresentaram melhores resultados, foram avaliadas a resistência à flexão, a tenacidade, a capacidade de absorção e a densidade, das pastas de cimento e de gesso, com fator água/aglomerante de 0,4, também moldadas com pressão de nível N1. Para calcular a capacidade de absorção foi utilizado o mesmo procedimento realizado nos compósitos de cimento:SBR e gesso:SBR, adaptando-se a norma NBR 9778, de acordo com SILVA (2012). Os resultados estão apresentados na Tabela 4.24.

TABELA 4.24: Propriedades físico-mecânicas das pastas de cimento e gesso, moldadas com fator água/agl de 0,4 e pressão de 0,16 MPa. Comparação com os compósitos com SBR, otimizados.

Matriz	a/mc	Resistência à Flexão (MPa)	Tenacidade (J)	Densidade Aparente (Kg/m ³)	Absorção (%)
Cimento	0,4	23,05	0,07	1767,0	26,98
1:0,5 cimento		1,30	0,94	1029,0	14,58
1:1 cimento		0,75	0,67	721,0	21,00
Gesso		8,73	0,04	1344,5	45,93
1:0,25 gesso		3,00	0,30	1187,0	36,90
1:0,5 gesso		0,87	0,35	933,0	36,60

Por ter sido considerada, com efeito comparativo, a 11ª pesagem das pastas, nos ensaios de absorção, adaptando-se a norma NBR 9778 conforme SILVA (2012), essas matrizes também apresentaram altos valores de capacidade de absorção.

OLIVEIRA (2009) verificou resistência à flexão de 3,8 MPa, em pastas de gesso com teor água/gesso de 0,7; de 3,1 MPa quando utilizou água/gesso de 0,8 e de 2,4 MPa com água gesso de 0,9. A referida pesquisadora não utilizou pressão de moldagem.

A Figura 4.57 ilustra o comportamento dessas propriedades, nas matrizes e compósitos observados.

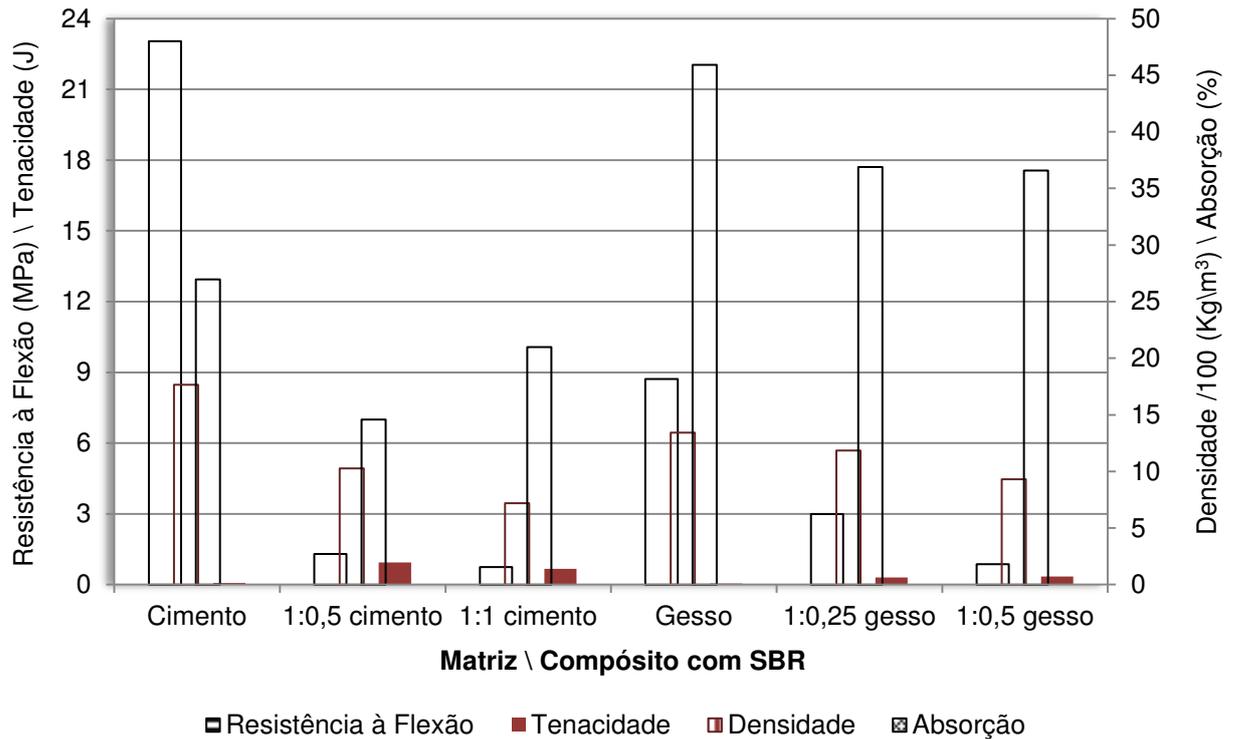


FIGURA 4.57: Propriedades físico-mecânicas das pastas de cimento e gesso, moldadas com fator λ_{gl} de 0,4 e pressão de 0,16 MPa. Comparação com compósitos com SBR.

O teor de resíduos de SBR incorporados provocou incrementos nas respectivas matrizes, de acordo com a Tabela 4.25:

TABELA 4.25: Incrementos observados, pela incorporação de resíduos de SBR nas matrizes de cimento e de gesso.

Compósito	Teor de incorporação de resíduos de SBR (%)	Resistência à Flexão (MPa)	Tenacidade (J)	Propriedade	
				Densidade Aparente	Absorção
1:0,5:0,4 cimento	50	- 94,36%	+ 1242,8% •	- 41,74 %	- 46,25 % •
1:1:0,4 cimento	100	- 96,74%	+ 857,1 %	- 59,19 % •	- 22,16 %
1:0,25:0,4 gesso	25	- 65,63% •	+ 650 %	- 11,67 %	- 24,23 %
1:0,5:0,4 gesso	50	- 90,03%	+ 775 %	- 30,58%	- 24,88 %

(•) Melhores valores de incrementos

Através desses resultados, nota-se que, o resíduo incorporado aumenta a tenacidade da matriz, e diminui a resistência à flexão, a capacidade de absorção e a

densidade dessas. Considerando-se o mesmo teor de incorporação de resíduos (50%), esses efeitos foram mais significativos na matriz de cimento.

Foram calculados os fatores de eficiência da resistência à flexão e da tenacidade, e, ainda os fatores de absorção e de densidade aparente, segundo ROSSIGNOLO (2003). Comparou-se os resultados (Tabela 4.26)

TABELA 4.26: Fatores de eficiência da resistência à flexão e da tenacidade, e, fatores de absorção e de densidade aparente, segundo ROSSIGNOLO (2003), das matrizes de gesso e cimento utilizadas.

Matriz	a/mc	Fef da resistência à flexão (MPa.cm ³ /g)	Fef da Tenacidade (J.cm ³ /g)	Fator da Densidade Aparente	Fator da Absorção (%.cm ³ /g)
Cimento	0,4	16,82 •	0,05	1289,7	19,69
1:0,5 cimento		1,06	0,76 •	1007,0	11,85 •
1:1 cimento		0,67	0,59	716,0 •	18,58
Gesso		6,71 •	0,03	1034,2	35,33
1:0,25 gesso		2,86	0,28	1130,0	33,18
1:0,5 gesso		0,80	0,32 •	856,0 •	31,68 •

(•) Melhores valores de eficiência, de acordo com o tipo de aglomerante utilizado.

Os resultados dos fatores confirmaram o que foi observado. A incorporação de resíduos de SBR incrementou a eficiência das matrizes, de gesso e de cimento, em relação à tenacidade, à densidade aparente e à capacidade de absorção.

iii) Modelos matemáticos obtidos através de análises estatísticas

As equações 3; 4; 5; 6; 7 e 8 representam modelos matemáticos obtidos por análise estatística multivariada, para o estudo da influência de fatores como nível de pressão de moldagem, tipo de aglomerante e teor de SBR, além da interação entre esses, nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos com SBR estudados.

Para essas equações utilizou-se a simbologia:

- Pressão – o nível de pressão de moldagem (MPa);
- Agl – o tipo de aglomerante utilizado (cimento ou gesso)
- Teor SBR – o teor de resíduos de SBR incorporados (%)

$$\text{Resistência à Flexão (MPa)} = 3,32 + 0,34*\text{Pressão} - 0,39*\text{Agl} - 0,054*\text{Teor SBR} + 0,0065*\text{Agl}*\text{Teor SBR} + 0,020*\text{Agl}*\text{Pressão} - 0,059*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} - 0,0209*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,77 \quad F = 8,43 \quad (\text{eq 3})$$

$$\text{Tenacidade (J)} = 0,37 - 0,27*\text{Pressão} + 0,036*\text{Agl} + 0,0018*\text{Teor SBR} + 0,0027*\text{Agl}*\text{Teor SBR} + 0,0078*\text{Agl}*\text{Pressão} + 0,020*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} - 1,1*10^{-4}*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,95 \quad F = 37,96 \quad (\text{eq 4})$$

$$\text{Densidade Aparente (Kg}\backslash\text{m}^3) = 12,95 + 1,32*\text{Pressão} - 0,47*\text{Agl} - 0,085*\text{Teor SBR} + 0,019*\text{Agl}*\text{Teor SBR} + 0,0040*\text{Agl}*\text{Pressão} - 0,10*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} - 0,0022*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,88 \quad F = 18,13 \quad (\text{eq 5})$$

$$\text{Massa Específica Seca (g}\backslash\text{cm}^3) = 1,17 + 0,096*\text{Pressão} + 0,21*\text{Agl} - 0,004*\text{Teor SBR} - 0,004*\text{Agl}*\text{Teor SBR} + 0,0051*\text{Agl}*\text{Pressão} - 0,17*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} - 3,44*10^{-4}*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,79 \quad F = 9,16 \quad (\text{eq 6})$$

$$\text{Absorção(\%)} = 22,3 + 27,25*\text{Pressão} - 11,39*\text{Agl} + 0,32*\text{Teor SBR} + 0,011*\text{Agl}*\text{Teor SBR} + 0,03*\text{Agl}*\text{Pressão} - 1,9*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} + 0,03*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,89 \quad F = 17,68 \quad (\text{eq 7})$$

$$\text{Índice Vazios(\%)} = 26,79 + 25,19*\text{Pressão} - 9,78*\text{Agl} + 0,18*\text{Teor SBR} - 0,012*\text{Agl}*\text{Teor SBR} + 0,098*\text{Agl}*\text{Pressão} - 1,4*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} + 0,0209*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,89 \quad F = 18,08 \quad (\text{eq 8})$$

As equações 9; 10; 11; 12 e 13 representam modelos matemáticos obtidos por análise estatística multivariada, para o estudo da influência de fatores como nível de pressão de moldagem, tipo de aglomerante e teor de SBR, além da interação entre esses, nos Fatores Eficiência das propriedades físico-mecânicas dos compósitos com SBR estudados.

Para essas equações utilizou-se a simbologia:

- Fef – Fator Eficiência
- Pressão – o nível de pressão de moldagem (MPa);
- Agl – o tipo de aglomerante utilizado (cimento ou gesso)
- Teor SBR – o teor de resíduos de SBR incorporados (%)

$$\text{Fef Resistência à Flexão (MPa cm}^3\text{/g)} = 3,06 + 0,53*\text{Pressão} - 0,83*\text{Agl} - 0,048*\text{Teor SBR} + 0,016*\text{Agl}*\text{Teor SBR} + 0,012*\text{Agl}*\text{Pressão} - 0,056*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} - 0,0017*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,82 \quad F = 10,89 \quad (\text{eq 9})$$

$$\text{Fef Tenacidade (J cm}^3\text{/g)} = 0,30 - 0,24*\text{Pressão} - 0,035*\text{Agl} + 0,0036*\text{Teor SBR} + 0,0040*\text{Agl}*\text{Teor SBR} + 0,0032*\text{Agl}*\text{Pressão} + 0,010*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} + 1,97*10^{-6}*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,95 \quad F = 37,96 \quad (\text{eq 10})$$

$$\text{Fef Densidade Aparente} = 11,32 + 0,50*\text{Pressão} - 2,18*\text{Agl} - 0,044*\text{Teor SBR} + 0,054*\text{Agl}*\text{Teor SBR} - 0,037*\text{Agl}*\text{Pressão} - 0,052*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} + 9,8*10^{-4}*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,75 \quad F = 7,43 \quad (\text{eq 11})$$

$$\text{Fef Absorção (% cm}^3\text{/g)} = 18,05 + 34,81*\text{Pressão} - 12,08*\text{Agl} + 0,46*\text{Teor SBR} + 0,016*\text{Agl}*\text{Teor SBR} - 0,0058*\text{Agl}*\text{Pressão} - 2,58*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} + 0,03*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,86 \quad F = 13,97 \quad (\text{eq 12})$$

$$\text{Fef Índice Vazios (% cm}^3\text{/g)} = 22,6 + 28,57*\text{Pressão} - 11,68*\text{Agl} + 0,31*\text{Teor SBR} - 0,023*\text{Agl}*\text{Teor SBR} + 0,027*\text{Agl}*\text{Pressão} - 1,9*\text{Teor SBR}*\text{Pressão} + 0,0305*\text{Pressão}*\text{Teor SBR}*\text{Agl} \quad R^2 = 0,88 \quad F = 16,84 \quad (\text{eq 13})$$

Considerando-se a equação 3, para se elevar a resistência à flexão dos compósitos, deveremos moldá-los com pressões mais altas e incorporar baixos teores de resíduos de SBR. A combinação entre o tipo de aglomerante e a pressão de moldagem é mais significativa, na elevação da resistência à flexão, que a interação entre o tipo de aglomerante utilizado e o teor de resíduo SBR. Através do modelo matemático, incorporando-se altos teores desse resíduo nos compósitos e moldando-os com altas pressões, a resistência diminui. Esse comportamento foi observado durante a avaliação das propriedades dos compósitos, em itens anteriores.

Em relação à tenacidade, o modelo matemático desenvolvido constata que, quanto menor o nível de pressão e maior o teor de resíduos, maior o valor dessa propriedade (equação 4). A interação entre o tipo de aglomerante utilizado e o teor de resíduo SBR é mais influente que a relação entre o tipo de aglomerante e a pressão de moldagem, na elevação da tenacidade. Incorporando-se altos teores desse resíduo nos compósitos e moldando-os com altas pressões, a tenacidade diminui. O modelo matemático também comprova o que foi observado em itens anteriores, para essa propriedade.

Quanto à densidade aparente, para atingirmos baixos valores, deveremos incorporar altos teores de SBR e moldar com baixas pressões (equação 5). A combinação entre o tipo de aglomerante utilizado e o teor de resíduo SBR é mais significativa que a combinação entre o tipo de aglomerante e a pressão de moldagem utilizada. Através do modelo matemático da massa específica seca, pode-se dizer que o comportamento dessa propriedade é semelhante ao da densidade aparente. Altos teores de SBR, combinados com altas pressões de moldagem, diminuem essas propriedades. Esse comportamento também foi observado na avaliação das propriedades físico-mecânicas dos compósitos.

Para que esses compósitos possuam baixa absorção, através do modelo matemático observa-se que, deverão ser incorporados baixos teores de resíduos de SBR e serem usadas, também baixas, pressões de moldagem (equação 7). A combinação entre o tipo de aglomerante e a pressão de moldagem utilizada é mais significativa que a combinação entre o tipo de aglomerante utilizado e o teor de resíduo SBR.

As equações matemáticas dos Fatores eficiência da Resistência à Flexão e do Índice de Vazios tiveram comportamento semelhante às das respectivas propriedades,

porém, a combinação entre o nível de pressão de moldagem, o teor de resíduos e o tipo de aglomerante, aumentaram os valores dos Fatores eficiência da tenacidade e da densidade aparente dos compósitos, ao contrário do que aconteceu com os valores dessas propriedades. A interação entre o tipo de aglomerante e o nível de pressão de moldagem diminuiu os valores dos Fatores eficiência da densidade aparente e da capacidade de absorção, também ao contrário do que aconteceu com essas propriedades.

IV - Determinação da condutividade térmica nos traços otimizados dos compósitos de cimento:resíduos de SBR e de gesso:resíduos de SBR.

Foi analisada a condutividade térmica dos compósitos, moldados com pressão de moldagem de nível N1, dos traços: 1:1:0,4 e 1:0,5:0,4 de cimento: resíduos de SBR e 1:0,5:0,4 e 1:0,25:0,4 de gesso:resíduos de SBR. Para comparação, também foi medida a condutividade térmica dos mesmos traços, moldados sem pressão (N0).

A Tabela 4.27 apresenta os valores encontrados:

TABELA 4.27: Condutividade térmica de compósitos cimento:SBR e gesso:SBR.

Compósito	agl	Nível de pressão de moldagem	Condutividade térmica (W/m°C)
1:1:0,4	cimento	N0	0,17 a BC
1:0,5:0,4			0,19 a ABC
1:1:0,4		N1	• 0,21 a AB
1:0,5:0,4			0,23 a A
1:0,5:0,4	gesso	N0	0,15 α C
1:0,25:0,4			0,16 α BC
1:0,5:0,4		N1	• 0,18 α ABC
1:0,25:0,4			0,20 α ABC

(•) Menores valores, considerando-se o tipo de aglomerante e o teor de resíduos incorporados, para o nível de pressão de moldagem N1.

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (a, α), para um mesmo tipo de aglomerante, não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (A,B,C,D), não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Os compósitos com maiores teores de resíduos apresentaram menores valores de condutividade térmica. Quando moldados sem pressão, o valor dessa propriedade

também foi menor. Estatisticamente, as condutividades térmicas dos compósitos moldados com cimento não apresentaram diferenças significativas, independentemente do teor de resíduos incorporados ou da aplicação de baixa pressão de moldagem. O mesmo aconteceu quando utilizado gesso como aglomerante.

Os valores de condutividade térmica, em $W/m^{\circ}C$, dos compósitos estudados, foram semelhantes ao de placas de concreto leve com vermiculita (0,19), aos de gesso com vermiculita (0,25 a 0,30), aos de painéis de madeira (0,05 a 0,24), aos de borrachas sintéticas (0,20 a 0,46), entre outros. Foram ainda, menores que a condutividade térmica de placas de gesso com ou sem fibras minerais (0,35) e de gesso celular (0,50) (Tabela 2.8).

OLIVEIRA (2009) encontrou valores de condutividade térmica de 0,22 $W/m^{\circ}C$ para placas de gesso puro; 0,30 $W/m^{\circ}C$ para gesso com vermiculita e 0,27 $W/m^{\circ}C$ para compósitos de gesso e EVA.

BENICHÓU e SULTAN (2005) citam que a condutividade térmica de um material é muito sensível a sua microestrutura, sendo influenciada por fatores como: tamanho médio do grão; dimensão, forma e distribuição dos poros; minerais de composição e grau de cristalinidade; justificando assim, a variação dessa propriedade, para o mesmo tipo de material, independentemente de sua massa específica ou densidade aparente.

A Figura 4.58 ilustra os resultados dessa propriedade, considerando a densidade aparente dos compósitos:

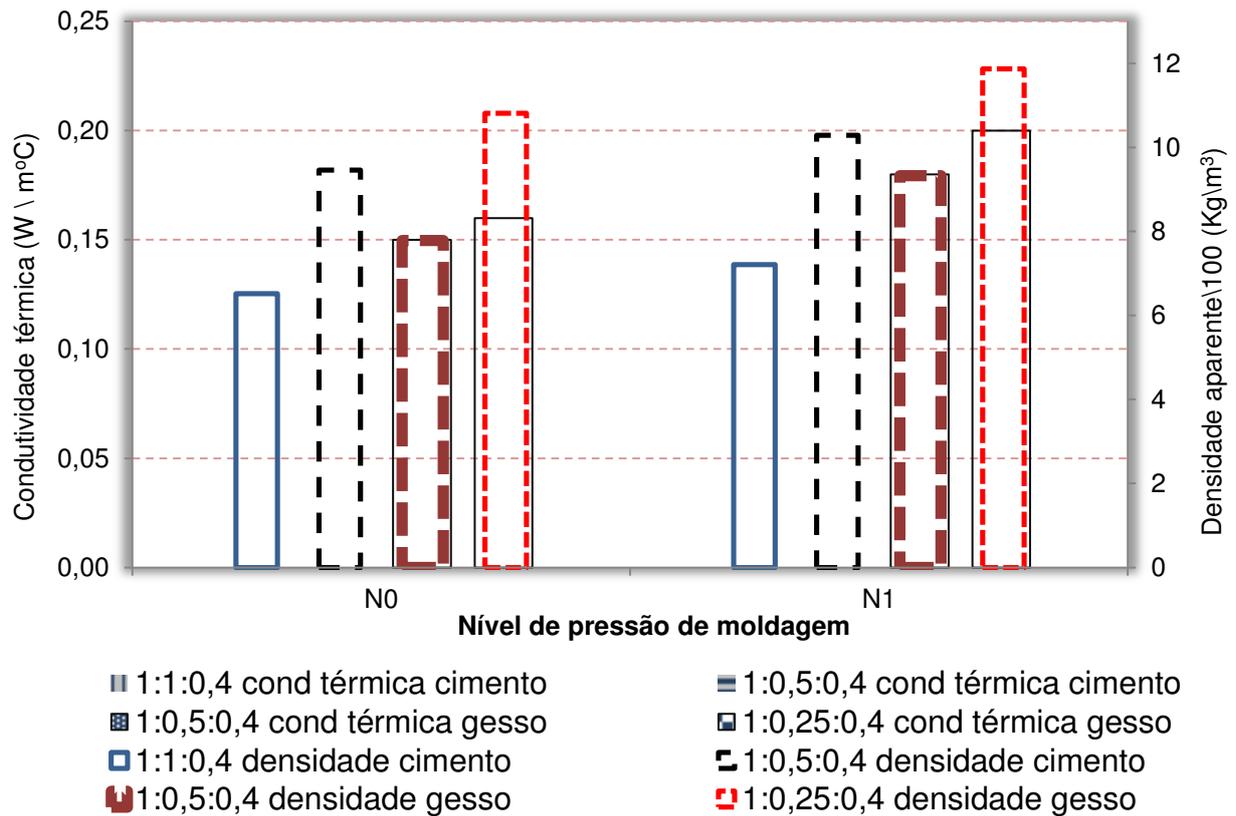


FIGURA 4.58: Condutividade térmica x Densidade aparente de compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, moldados sem pressão e com pressão N1.

Observou-se que, para o mesmo compósito, a aplicação de pressão de moldagem de nível N1 (0,16 MPa) elevou o valor da condutividade térmica. Esse incremento foi atribuído à mudança na estrutura e ao aumento da densidade no compósito, provocadas por essa pressão. Esse aumento não foi significativo, estatisticamente (Tabela 4.27)

Na Tabela 4.28 estão representados os valores desses incrementos.

TABELA 4.28: Valores dos incrementos na condutividade térmica dos compósitos com SBR, provocados pela aplicação de pressão de moldagem de nível N1.

Compósitos	Incrementos na condutividade térmica, provocado pela aplicação da pressão de moldagem N1 (%)
1:1:0,4 cimento:SBR	+ 11,17
1:0,5:0,4 cimento:SBR	+ 9,52
1:0,5:0,4 gesso:SBR	+ 6,67
1:0,25:0,4 gesso:SBR	+ 11,11

Considerando-se a adaptação dos cálculos de Fator de Eficiência segundo ROSSIGNOLLO (2003), visando-se o desenvolvimento de elementos construtivos para serem usados como isolamento térmico, almejam-se baixos valores de condutividades térmicas e, assim, de seus respectivos Fatores de Eficiência. Nesse trabalho, como com a Absorção, a Densidade e o Índice de Vazios, para a condutividade térmica, o Fator proposto por ROSSIGNOLLO (2003) será denominado Fator de condutividade térmica.

Para os compósitos avaliados, os Fatores de condutividade térmica estão apresentados na Tabela 4.29:

TABELA 4.29: Fatores de condutividade térmica dos compósitos com SBR, provocados pela aplicação de pressão de moldagem de nível N1.

Compósito	agl	Nível de pressão de moldagem	Fator de condutividade térmica ($W \cdot cm^3/g \cdot m^{\circ}C$)
1:1:0,4	cimento	N0	0,19
1:0,5:0,4			0,22
1:1:0,4		N1	0,17 ••
1:0,5:0,4			<u>0,19</u>
1:0,5:0,4	gesso	N0	0,16
1:0,25:0,4			0,17
1:0,5:0,4		N1	0,15 ••
1:0,25:0,4			0,19

(••) Melhores valores do Fator da condutividade térmica, considerando-se o mesmo tipo de aglomerante

Os compósitos mais eficientes, no que diz respeito a condutividade térmica, foram os de traços 1:1:0,4 cimento:SBR e 1:0,5:0,4 gesso:SBR, ambos moldados com pressão de nível N1. Os moldados com gesso possuem maior capacidade de isolar termicamente.

4.4 - ELABORAÇÃO DE ESTRUTURAS, FORMADAS PELOS COMPÓSITOS ESTUDADOS: SUGESTÕES DE TÉCNICAS DE MOLDAGEM E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E CONDUTIVIDADES TÉRMICAS.

Na intenção de se incrementar as propriedades dos compósitos com incorporação de resíduos de SBR estudados, foram elaboradas estruturas, revestindo-os.

Para os traços dos compósitos moldados com cimento que apresentaram características adequadas (1:1:0,4 e 1:0,5:0,4), utilizou-se como revestimento a mistura M 50 20 30, com 2,8% de superplastificante e fator λ_{mc} de 0,4, reforçada com 2% de fibras de sisal curtas. Para revestir os compósitos de gesso:resíduos de SBR: λ_{mc} , de traços 1:0,5:0,4 e 1:0,25:0,4; utilizou-se a mistura de gesso, com λ_{mc} de 0,7, e 2% de fibras de sisal.

Foram elaboradas estruturas revestidas, em uma e em duas faces (sanduíche).

4.4.1 - SUGESTÕES DE TÉCNICAS DE MOLDAGEM.

I - Estruturas revestidas em uma face.

Para elaboração de estruturas, revestindo-se os compósitos com resíduos de SBR em uma face, utilizou-se a pressão de moldagem de nível N1, por 24 horas. Colocou-se no molde da prensa, em primeiro lugar, o revestimento, e, em seguida o compósito com resíduos de SBR, prensando-se juntos (Figura 4.59 e 4.60).



FIGURA 4.59: Etapas da moldagem de estruturas, em forma de placas, de compósitos de cimento:resíduos de SBR, revestidos em uma face.



FIGURA 4.60: Etapas da moldagem de estruturas, em forma de placas, de compósitos de gesso:resíduos de SBR, revestidos em uma face.

Essa técnica de moldagem proporcionou uma melhor interação entre os dois compósitos, incrementando a qualidade da interface entre os mesmos.

Observou-se que, parte do revestimento penetrou em vazios do compósito com SBR (Figura 4.61).

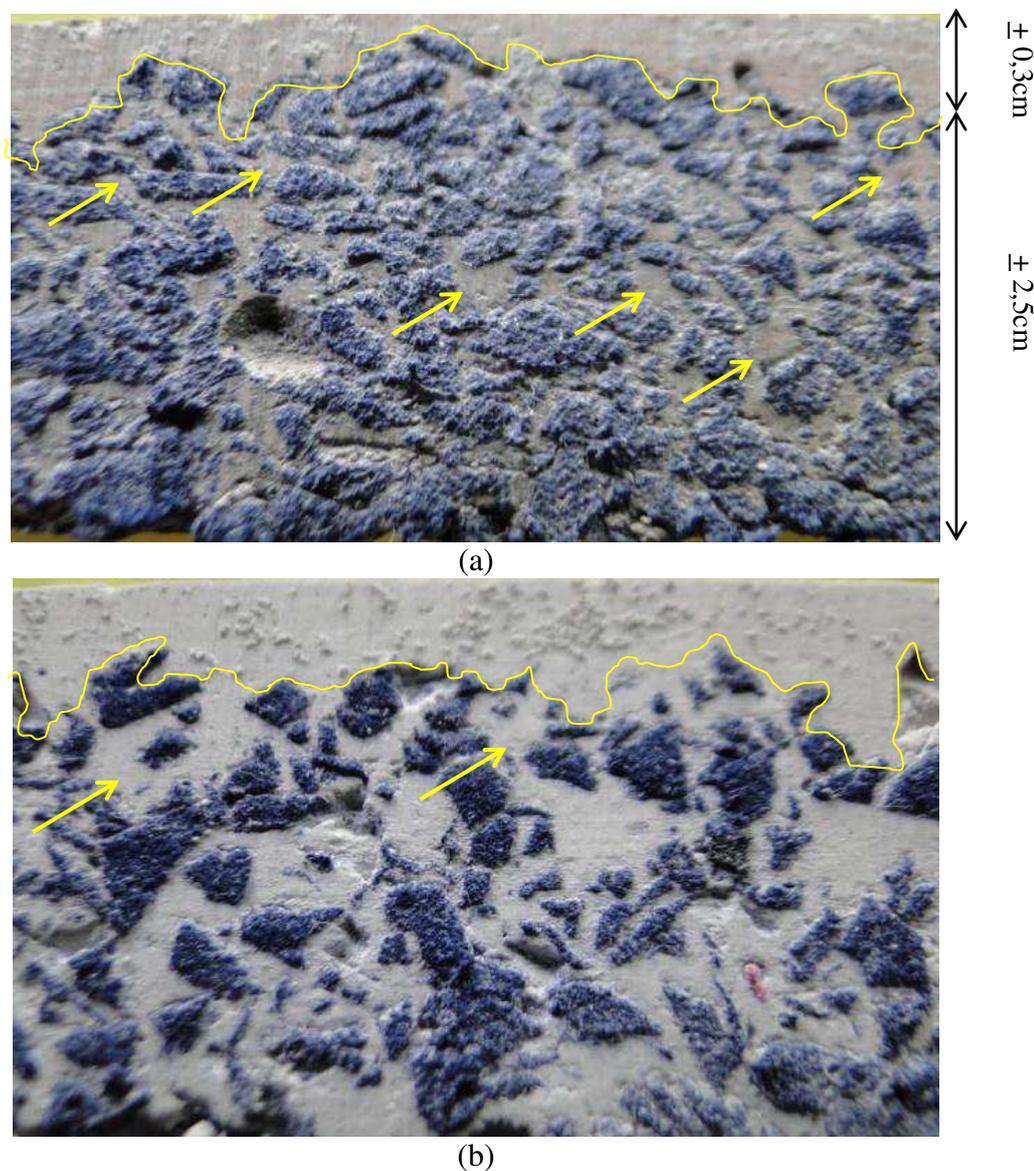


FIGURA 4.61: Estruturas revestidas em uma face: (a) compósito cimento:resíduos de SBR, revestido com M 50 20 30, fator a/mc 0,4; teor de 2,8% de superplastificante e 2% de fibras de sisal curtas; (b) compósito gesso:resíduos de SBR revestido com outro compósito formado por gesso, fator a/mc 0,7 e 2% de fibras de sisal curtas.

II - Estruturas sanduíche

II.1 - Técnica de moldagem A:

Para essa técnica de produção da estrutura sanduíche (revestida em duas faces), em uma primeira etapa realizou-se o procedimento tal como com as estruturas revestidas em uma face (colocou-se o revestimento no molde da prensa, e sobre esse, o compósito com resíduos de SBR). Após seis horas sob pressão de nível N1, adicionou-se o revestimento na face superior, aplicando-se novamente a mesma pressão de moldagem, por mais 24 horas (Figura 4.62).



FIGURA 4.62: Técnica A de moldagem de estruturas sanduíche - etapas

O revestimento na face inferior (1) apresentou melhor acabamento, com uma textura mais lisa. A figura 4.63 ilustra essa característica:

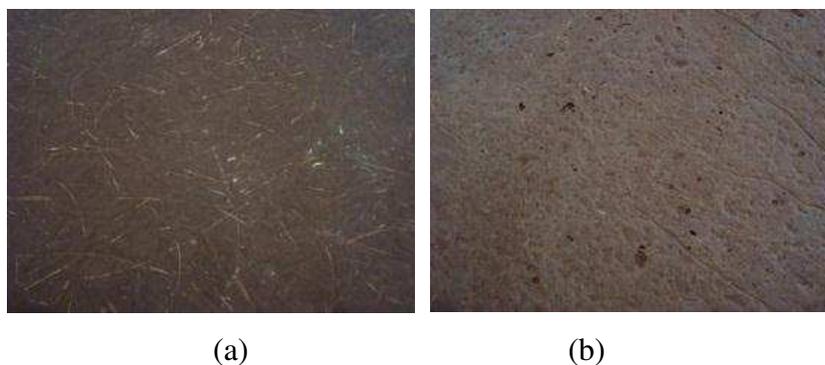


FIGURA 4.63 – Revestimentos do compósito cimento:resíduos de SBR revestido com M 50 20 30 reforçado com 2% de fibras de sisal, moldado com a técnica A: (a) face 1 e (b) face 2.

Notou-se que, nas estruturas sanduíche moldadas com essa técnica, ao ser colocado o revestimento na face superior (2), certa quantidade da matriz deste também penetrou no núcleo, porém numa proporção menor que no primeiro revestimento (face 1). As interfaces entre o núcleo e ambos os revestimentos apresentaram boa qualidade (Figura 4.64).

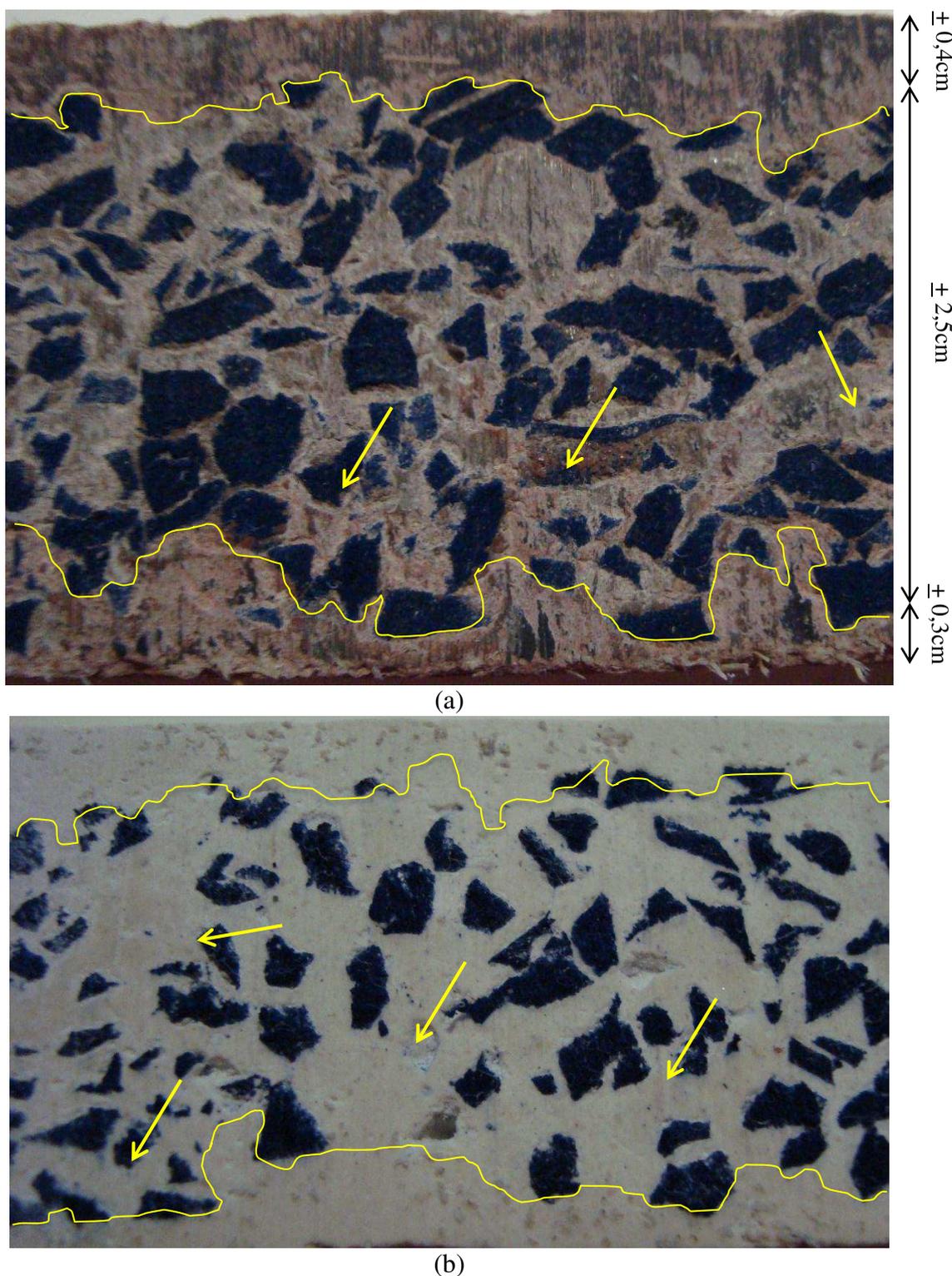


FIGURA 4.64 – Estruturas sanduíche elaboradas com a técnica de moldagem A: (a) compósito cimento:resíduos de SBR; revestido com M 50 20 30; fator água/material cimentício de 0,4; teor de 2,8% de superplastificante e 2% de fibras de sisal; (b) compósito gesso:resíduos de SBR revestido com gesso; fator água/gesso de 0,7; e 2% de fibras de sisal.

II.2 - Técnica de moldagem B:

Essa técnica de moldagem também foi iniciada com o procedimento realizado para as estruturas revestidas em uma face (colocou-se o revestimento no molde da prensa, junto com o compósito com resíduos de SBR). Após 24 horas sob pressão de nível N1, desmoldou-se a estrutura e emborcou-a sobre o revestimento da segunda face, em outro molde, aplicando-se novamente a mesma pressão de moldagem por mais 24 horas (Figura 4.65).



FIGURA 4.65: Técnica B de moldagem de estruturas sanduíche – etapas

O acabamento final das duas faces foi semelhante, apresentando textura lisa, com boa aparência.

Ao ser utilizada a técnica de moldagem B; o segundo revestimento não penetrou no núcleo da mesma forma que na técnica A. Apresentou uma maior espessura e limites definidos (Figura 4.66). A qualidade da interface entre o primeiro revestimento (face 1) e o núcleo foi melhor que a do segundo (face 2). Para os compósitos de gesso e SBR, moldados com traço 1:0,25:0,4, a qualidade da interface do segundo revestimento com o núcleo foi inferior às demais.

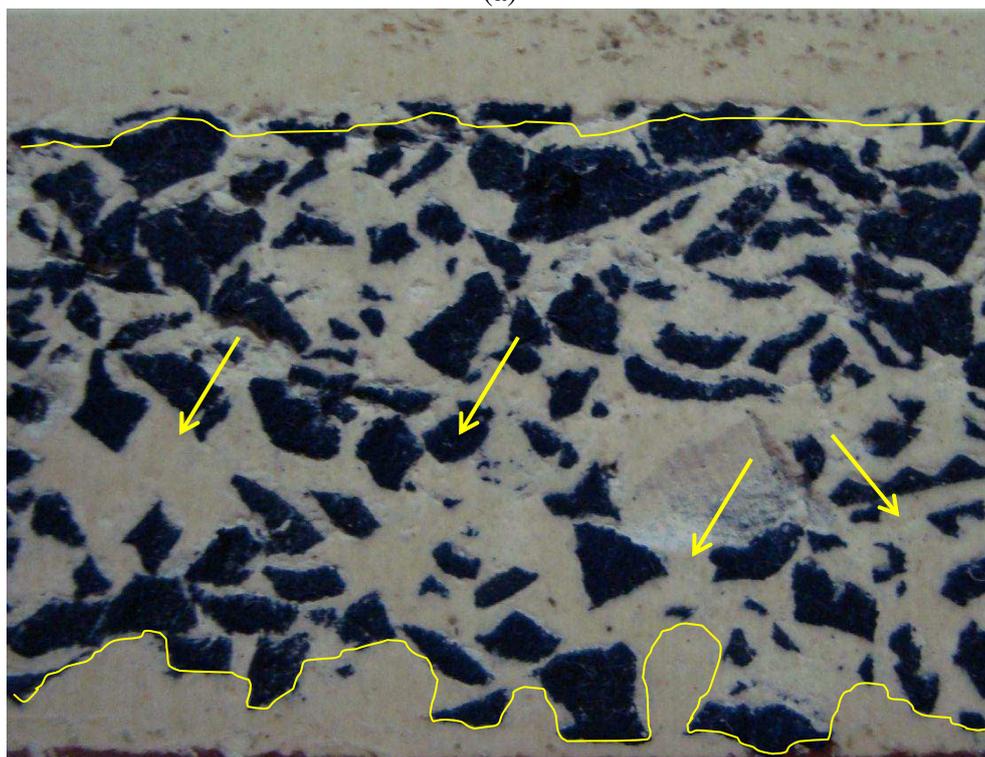
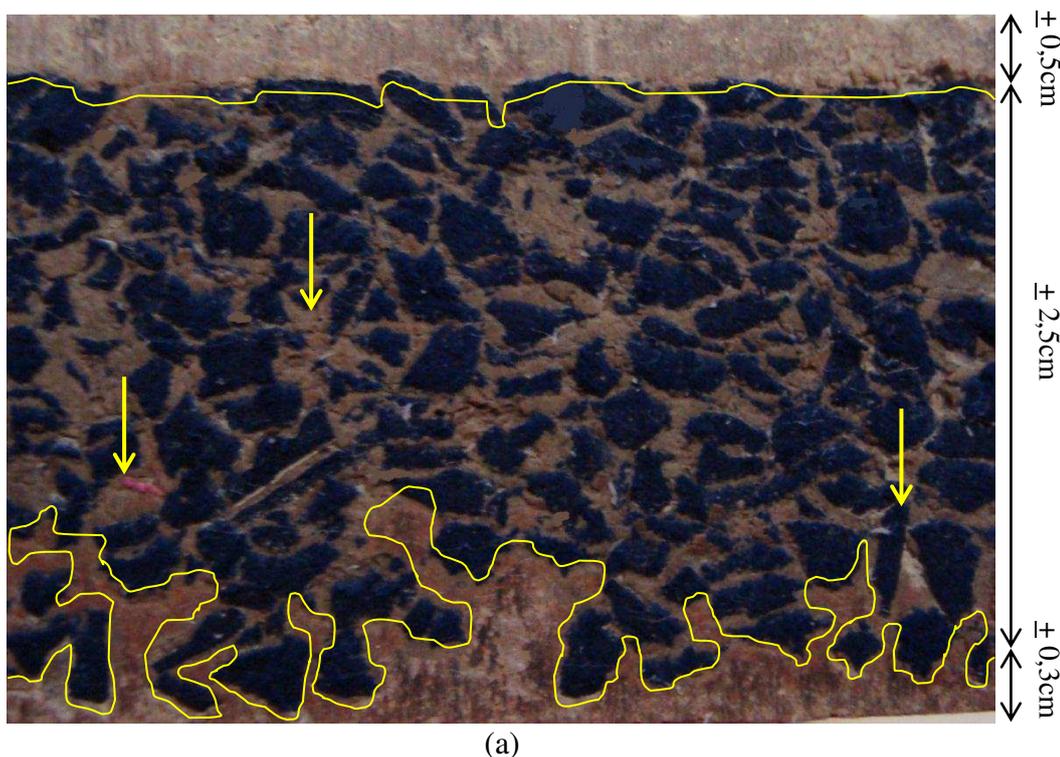


FIGURA 4.66 – Estruturas sanduíche elaboradas com a técnica de moldagem B: (a) composto cimento:resíduos de SBR; revestido com M 50 20 30; fator água/material cimentício de 0,4; com 2,8% de superplastificante e 2% de fibras de sisal; (b) composto gesso:resíduos de SBR revestido com gesso; fator água/gesso de 0,7 e 2% de fibras de sisal.

Foram realizados ensaios para determinação de propriedades físico-mecânicas dessas estruturas, como: resistência à flexão, tenacidade, absorção, índice de vazios, densidade aparente e massa específica seca, além da condutividade térmica.

4.4.2 - PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS

I – Estruturas revestidas em uma face

Utilizando a pressão de moldagem de nível N1, as estruturas revestidas em uma face foram moldadas em forma de placas, retirando-se das mesmas, os corpos de prova para ensaios (Figura 4.67 e 4.68).

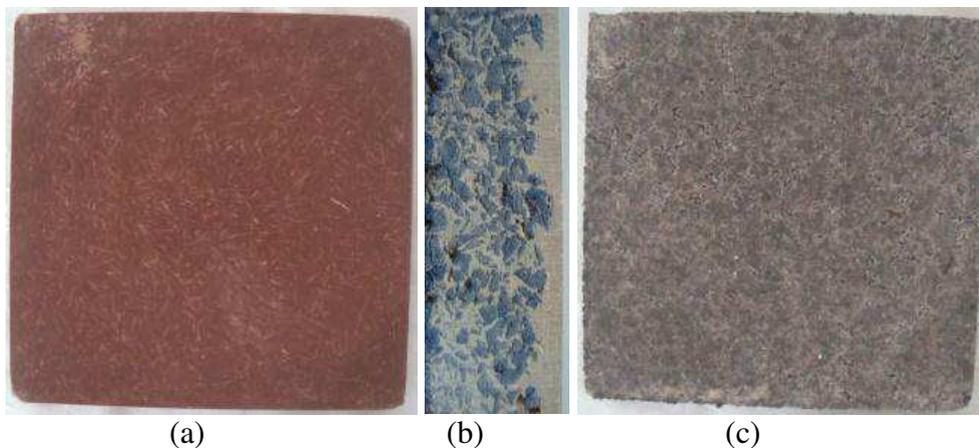


FIGURA 4.67 Estrutura em forma de placa de cimento:resíduos de SBR de granulometria 345, revestida em uma face com a mistura M 50 20 30, fator a/mc 0,4; 2,8% de superplastificante e 2% de fibras de sisal curtas (a) face revestida e (b) vista lateral (c) face sem revestimento.

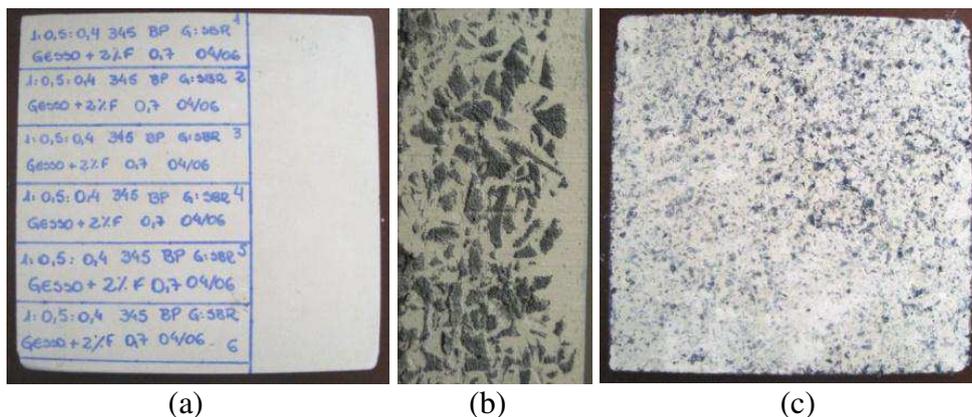


FIGURA 4.68: Estrutura em forma de placa de matriz de gesso com resíduos de SBR de granulometria 345, revestida em uma face com o compósito de gesso, fator a/mc 0,7 e 2% de fibras de sisal curtas (a) face revestida e (b) vista lateral (c) face sem revestimento.

A Figura 4.69 mostra os corpos de prova, dessas estruturas, confeccionados para o ensaio de flexão.

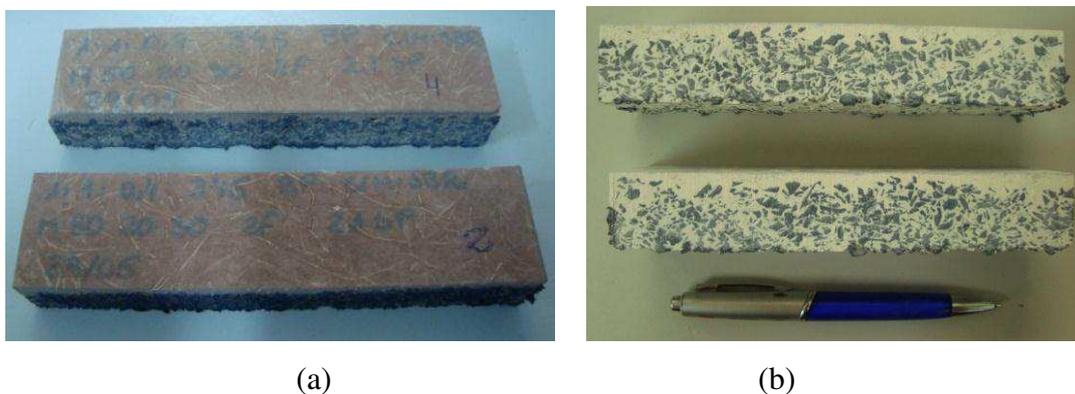


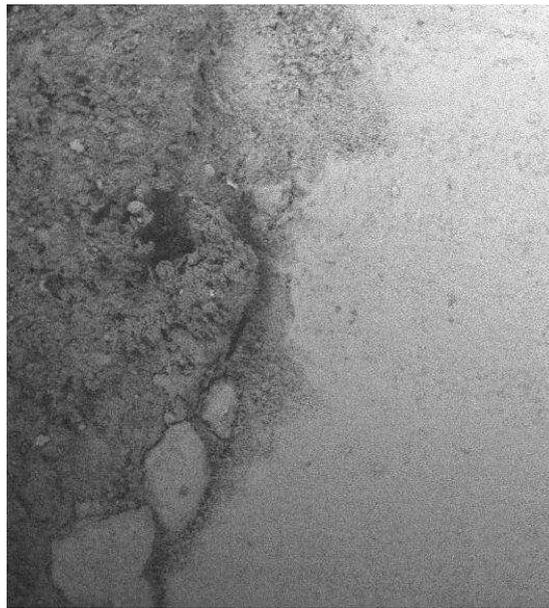
FIGURA 4.69: Corpos de prova para ensaio de flexão: (a) compósito cimento:resíduos de SBR, revestidos em uma face, com a mistura M 50 20 30, fator a/mc 0,4; 2,8 % de superplastificante e 2% de fibras de sisal curtas (b) compósito gesso:resíduos de SBR, revestidos em uma face com compósito formado por gesso, fator a/mc 0,7 e 2% de fibras de sisal curtas.

Na Figura 4.70 é possível notar a atuação da fibra de sisal e das partículas de resíduo de SBR, durante o ensaio de flexão.

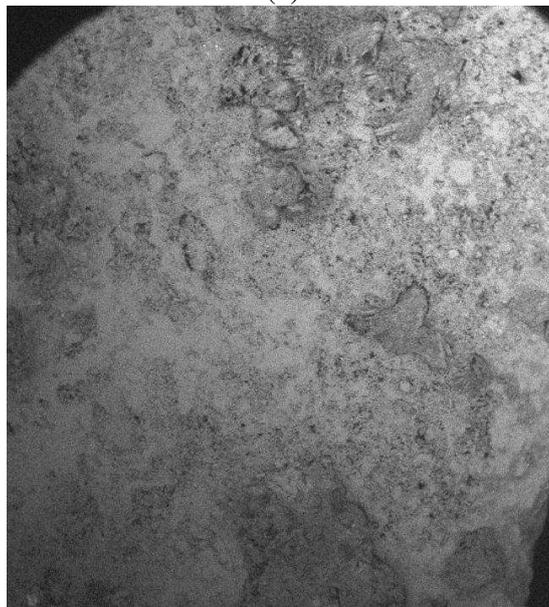


FIGURA 4.70: Ensaio de Flexão de compostos gesso:resíduos de SBR revestidos em uma face por outro composto formado por gesso, fator água\gesso de 0,7 e 2% de fibras de sisal.

Através da Microscopia Eletrônica de varredura (x50) observou-se uma maior interação entre o gesso e o resíduo de SBR. A Figura 4.71 ilustra o comportamento das interfaces entre o revestimento e os compósitos com esse resíduo. Notou-se que, partículas de SBR migram para o revestimento a base de gesso, assim como parte do material desse revestimento penetra com maior intensidade no interior do compósito gesso:SBR. A interface do compósito onde se utilizou cimento como aglomerante tem limites mais definidos.



(a)



(b)

FIGURA 4.71: Estrutura revestida em uma face. Interface entre o revestimento e o compósito com resíduo de SBR: (a) com cimento (b) com gesso

Os resultados da resistência à flexão, tenacidade, absorção, índice de vazios, densidade aparente e massa específica seca, para as estruturas revestidas em uma face, estão indicados na Tabela 4.30:

TABELA 4.30: Propriedades físico-mecânicas de compósitos cimento:resíduos de SBR e gesso:resíduos de SBR revestidos em uma face.

Estrutura	Resistência à Flexão (MPa)	Tenacidade (J)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Densidade Aparente (Kg/m³)	Massa Específica Seca (g/cm³)
1:1:0,4, cimento:SBR , revestido em uma face com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal	2,58 ± 0,17 b	2,3 ± 0,44 a	14,5 ± 1,7 a	19,07 ± 1,4 a	1192,2 ± 3,2 b	1,23 ± 0,3 a
1:0,5:0,4, cimento:SBR , revestido em uma face com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal	3,12 ± 0,01 aA	2,1 ± 1,20 aA	14,1 ± 2,0 aB	17,47 ± 1,2 bB	1194,5 ± 2,5 aA	1,26 ± 0,2 aA
1:0,5:0,4, gesso:SBR , revestido em uma face com gesso e 2% de fibras de sisal	2,7 ± 0,25 bA	2,3 ± 0,15 aA	37,1 ± 1,1 bA	40,25 ± 1,6 bA	998,3 ± 2,1 bB	1,08 ± 0,2 aB
1:0,25:0,4, gesso:SBR , revestido em uma face com gesso e 2% de fibras de sisal	3,16 ± 0,63 a	2,1 ± 1,8 a	38,9 ± 0,7 a	42,23 ± 1,2 a	1202,2 ± 1,2 a	1,08 ± 0,2 a

Para o mesmo aglomerante utilizado nos compósitos com SBR, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (a,b) não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Para o mesmo traço (1:0,5:0,4) dos compósitos com SBR, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (A,B) não diferem entre si pelo teste de Tukey

Os resultados do teste de Tukey foram realizados com 95% ou 99% de confiança.

Notou-se que, considerando-se as recomendações da tabela 2.1, as estruturas revestidas em uma face podem ser consideradas leves (massa específicas secas variando de 1080 a 1260 Kg/m³), com densidades aparente variando de 998,3 a 1202,2 Kg/m³. Placas cimentícias reforçadas com fios sintéticos (CRFS), produzidas industrialmente para serem usadas como divisórias e isolamento térmico, possuem densidades variando entre 1400 e 1700 Kg/m³ (Tabela 2.18).

Para as estruturas revestidas em uma face, com mesmo teor de resíduos de SBR incorporados (1:0,5:0,4), o tipo de aglomerante utilizado não provocou diferença estatisticamente significativa nas resistências à flexão observadas.

O tipo de aglomerante e o teor de resíduos não influenciaram, de forma significativa, a tenacidade das estruturas.

Na figura 4.72 estão ilustradas as curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, revestidos em uma face, estudados.

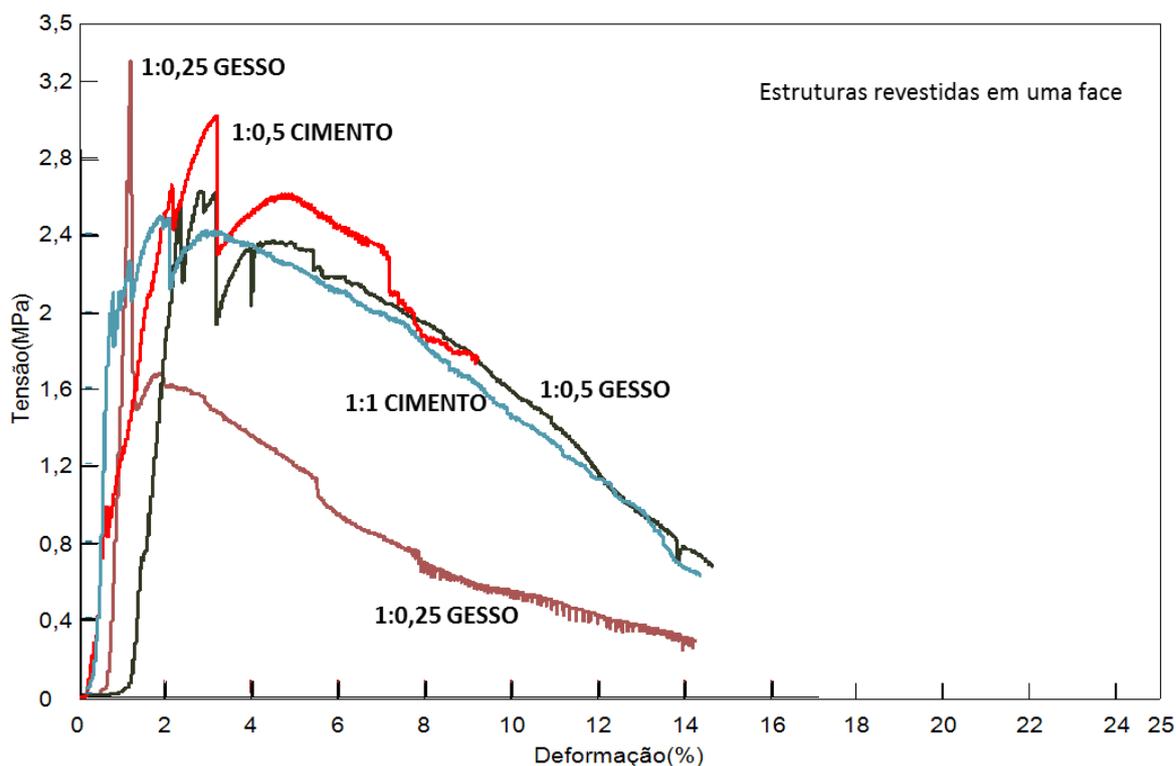
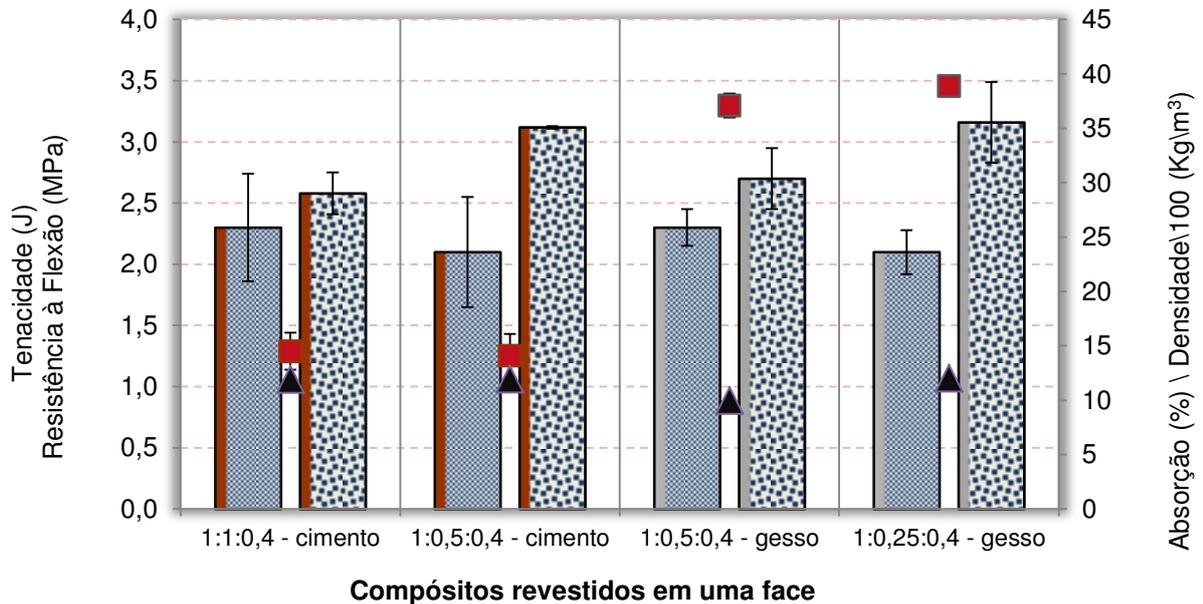


FIGURA 4.72: Curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, revestidos em uma face, estudados

A absorção e o índice de vazios apresentaram menor valor para a estrutura com compósito de cimento e resíduos de SBR. O teor de resíduos não influenciou estatisticamente a capacidade de absorção dessas estruturas.

Quando utilizado gesso como aglomerante, a absorção e o índice de vazios apresentaram altos valores, comparando-se os resultados alcançados.

A Figura 4.73 ilustra o comportamento das estruturas revestidas em uma face, formadas pelos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, estudados.



■ Tenacidade (J) ■ Resistência à flexão (MPa) ■ Absorção (%) ▲ Densidade/100 (Kg/m³)

FIGURA 4.73: Tenacidade (J), Resistência à flexão (MPa), Absorção (%) e Densidade/100 (Kg/m³) das estruturas revestidas em uma face, formadas pelos compósitos estudados

Observando-se os valores da capacidade de absorção e do índice de vazios dos compósitos revestidos em uma face, notou-se que, para o mesmo tipo de aglomerante, apesar de apresentarem diferenças significativas através do teste de Tukey, os resultados foram semelhantes independentemente dos teores de incorporação de resíduos de SBR, evidenciando o fato dos revestimentos preencherem vazios durante as moldagens (Figura 4.74).

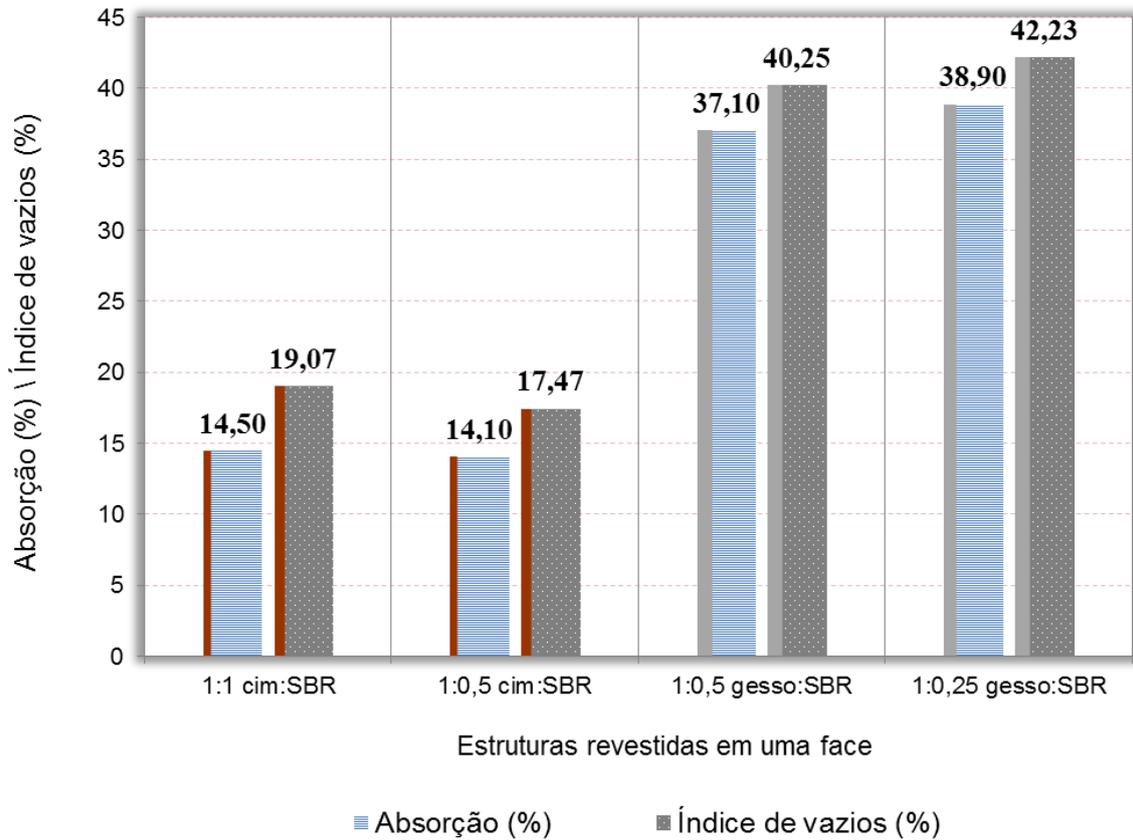


FIGURA 4.74: Absorção e Índice de vazios das estruturas elaboradas com compósitos de cimento:SBR e gesso:SBR, revestidas em uma face

Os compósitos de gesso e SBR, nos traços 1:0,5 e 1:0,25, já apresentavam valores de absorção e índice de vazios semelhantes. Ao serem revestidos, a capacidade de absorção aumentou. Esse fato pode ter ocorrido devido a características inerentes ao gesso e/ou por dificuldades na realização do ensaio.

A figura 4.75 ilustra os incrementos nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos após o revestimento em uma face.

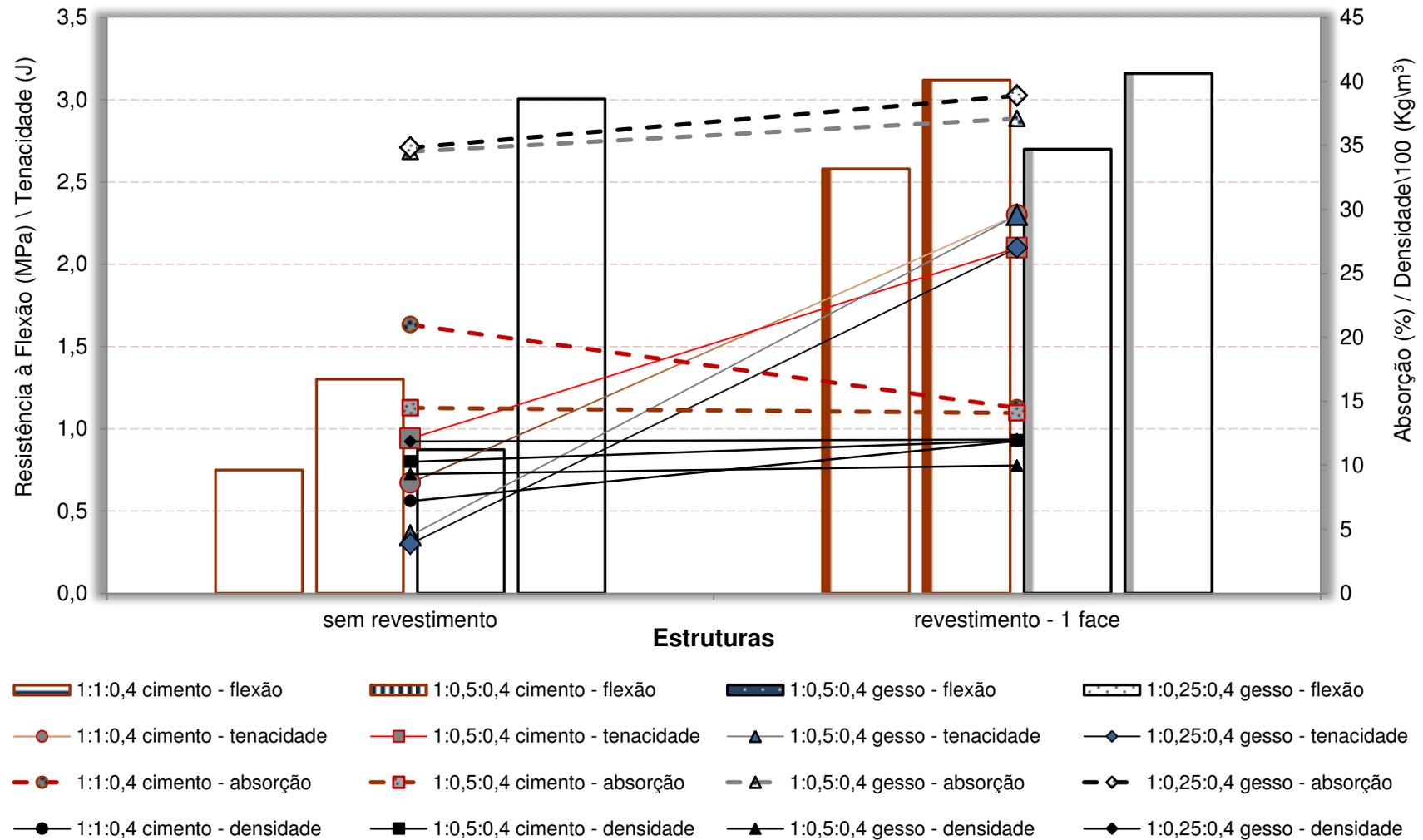


FIGURA 4.75: Comportamento da Tenacidade (J), da Resistência à flexão (MPa), da Absorção (%) e da Densidade (Kg/m³) dos compósitos com resíduos de SBR, após o revestimento em uma face

Através da figura pôde-se observar:

- A resistência à flexão dos compósitos foi incrementada com o revestimento. Considerando as estruturas com mesmo teor de resíduos (1:0,5), quando elaboradas com cimento possuem maior resistência à flexão que com gesso.

- As estruturas com gesso possuem menores valores de densidade aparente. Os revestimentos pouco influenciaram nessa propriedade, para os dois tipos de estruturas elaboradas.

- A estrutura que possui matriz de cimento apresentou menor capacidade de absorção.

- Os compósitos revestidos em uma face apresentaram valores semelhantes de tenacidade. Essa propriedade foi bastante incrementada após o revestimento.

i) Incrementos observados nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos com resíduos de SBR, provocados pelos revestimentos em uma face.

Os valores dos incrementos nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos de SBR, provocados pelos respectivos revestimentos em uma face, estão indicados na Tabela 4.31:

TABELA 4.31: Incrementos provocados pelos revestimentos em uma face, nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR

INCREMENTO (%) DEVIDO AO REVESTIMENTO EM UMA FACE				
Compósito	Resistência à flexão	Tenacidade	Absorção	Densidade Aparente
1:1:0,4 - cimento	+ 244,0	+ 243,2	- 30,9	+ 65,3
1:0,5:0,4 - cimento	+ 140,0	+ 123,4	- 3,30	+ 16,0
1:0,5:0,4 - gesso	+ 210,0	+ 557,1	+ 7,5	+ 7,3
1:0,25:0,4 - gesso	+ 5,3	+ 600,0	+ 11,7	+ 1,26

Analisando-se os valores desses incrementos, pôde-se observar:

- Foi considerável a contribuição dos revestimentos, para melhoria da resistência à flexão e da tenacidade dos compósitos.

- A capacidade de absorção dos compósitos com cimento e SBR diminuiu, ao contrário do que aconteceu com os compósitos de gesso e SBR.

- Os incrementos na densidade aparente foram maiores nos compósitos moldados com cimento.
- No traço 1:0,25:0,4, moldado com gesso, o revestimento incrementou a tenacidade, porém, a resistência à flexão e a densidade aparente não sofreram grande influência.

ii) Fatores de eficiência (Fef) segundo ROSSIGNOLO (2003).

Foram calculados os fatores de eficiência da resistência à flexão e da tenacidade, além dos fatores de absorção, índice de vazios e densidade das estruturas revestidas em uma face. Os resultados foram de acordo com a Tabela 4.32:

TABELA 4.32: Fatores eficiência da resistência à flexão e da tenacidade e fatores de absorção, índice de vazios e densidade, das estruturas elaboradas com compósitos revestidos em uma face.

Estruturas	Fator Eficiência da Resistência à Flexão (MPa. cm³/g)	Fator Eficiência da Tenacidade (J.cm³/g)	Fator de Absorção (%.cm³/g)	Fator do Índice de Vazios (%.cm³/g)	Fator da Densidade Aparente
1:1:0,4, cimento:SBR , revestido em uma face com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal	2,10	1,87 •	11,79	15,50	9,69
1:0,5:0,4, cimento:SBR , revestido em uma face com M 50 20 30 2% de fibras de sisal	2,48 •	1,67	11,19 •	13,87 •	9,48 •
1:0,5:0,4, gesso:SBR , revestido em uma face com gesso e 2% de fibras de sisal	2,49	2,13 •	34,2 •	37,1 •	9,22 •
1:0,25:0,4, gesso:SBR , revestido em uma face com gesso e 2% de fibras de sisal	2,92 •	1,94	35,9	39,0	11,10

(•) Estrutura mais eficiente, considerando-se o tipo de aglomerante utilizado no compósito com SBR.

Através da análise dos valores dos fatores de eficiência segundo ROSSIGNOLO (2003), pôde-se observar:

- Os compósitos de resíduos de SBR de traço 1:0,5:0,4, tanto com gesso, quanto com cimento, revestidos em uma face, foram os mais eficientes, embora a

diferença para os outros compósitos não tenha sido relevante, considerando-se valores absolutos.

- As estruturas revestidas em uma face elaboradas com compósitos de gesso, apesar de apresentarem menores valores de resistência à flexão do que as elaboradas com compósitos de cimento, alcançaram eficiência semelhante, no que diz respeito a essa propriedade. Essas estruturas foram mais eficientes em relação a tenacidade e a densidade aparente.

- As estruturas elaboradas com compósitos de cimento foram mais eficientes quanto à capacidade de absorção e índice de vazios, apresentando menores valores para tais propriedades.

iii) Condutividade térmica

Estão apresentados na Tabela 4.33, os resultados encontrados, das condutividades térmicas das estruturas revestidas em uma face.

TABELA 4.33: Condutividade térmica das estruturas revestidas em uma face

Estruturas	Condutividade térmica (W/m°C)
1:1:0,4, cimento:SBR , revestido em uma face com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal	0,25 • a
1:0,5:0,4, cimento:SBR , revestido em uma face com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal	0,29 aA
1:0,5:0,4, gesso:SBR , revestido em uma face com gesso e 2% de fibras de sisal	0,20 • aB
1:0,25:0,4, gesso:SBR , revestido em uma face com gesso e 2% de fibras de sisal	0,23 a

Para traços com mesmo aglomerante utilizado no compósito com SBR, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Para o mesmo traço (1:0,5:0,4), com diferentes aglomerantes, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (A,B) não diferem entre si pelo teste de Tukey

(•) Melhores valores de condutividade térmica, para cada tipo de estrutura revestida em uma face, elaborada.

Os resultados do teste de Tukey foram realizados com 95% ou 99% de confiança.

Através dos resultados, observou-se que, considerando-se o mesmo tipo de aglomerante utilizado no compósito com SBR, o teor de resíduos incorporados não influenciou significativamente na condutividade térmica das estruturas elaboradas.

Quando moldada com gesso, considerando-se o mesmo traço do compósito com SBR (1:0,5:0,4), a estrutura apresentou condutividade térmica 11,8% menor que a moldada com cimento.

A Figura 4.76 ilustra o comportamento da condutividade térmica dos compósitos quando revestidos.

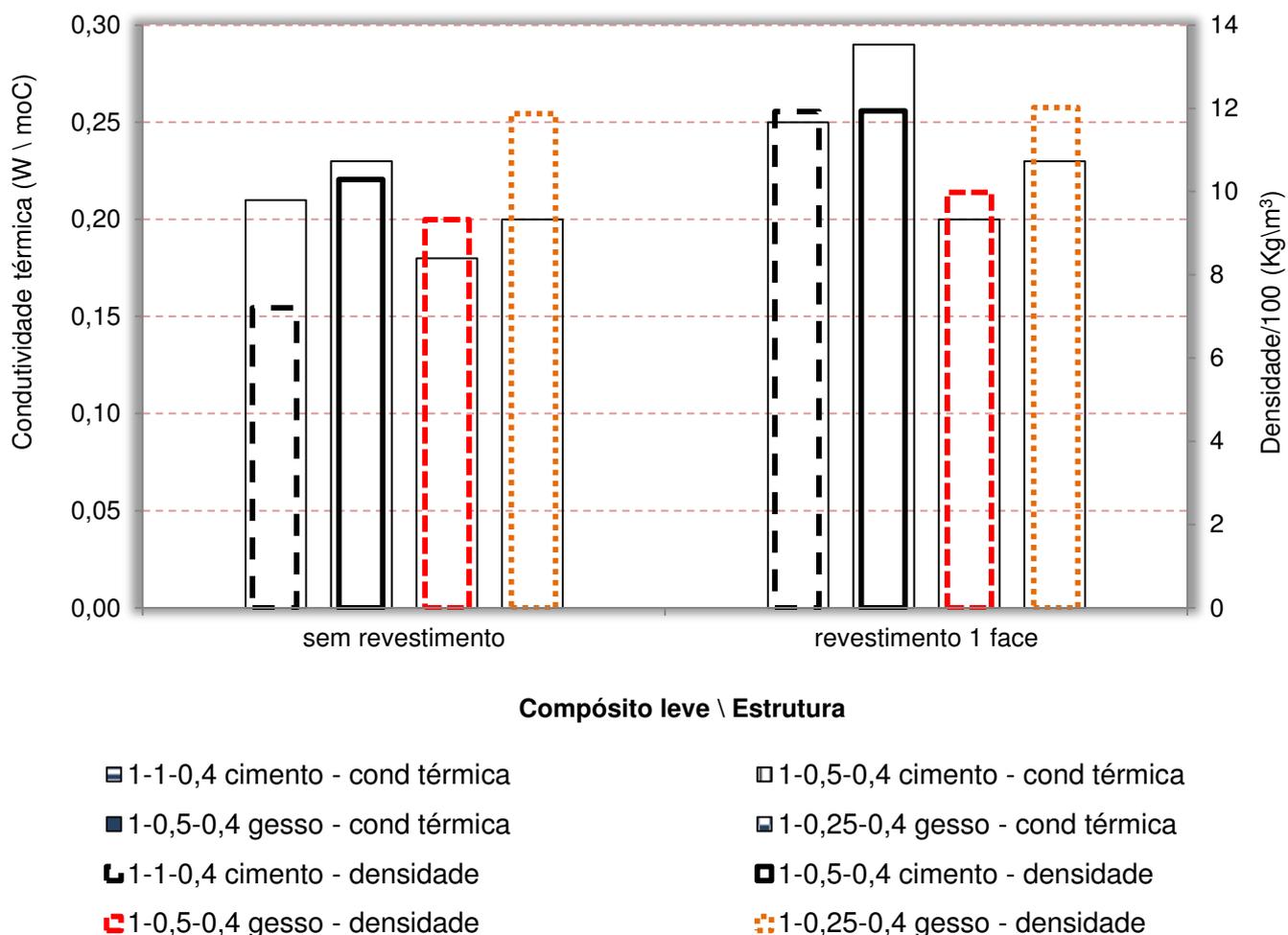


FIGURA 4.76: Condutividade térmica x densidade aparente dos compósitos sem revestimentos otimizados e das estruturas revestidas em uma face estudadas

Observou-se que o revestimento proporcionou um discreto incremento na condutividade térmica dos compósitos com SBR, que pode ser atribuído à mudança na microestrutura e ao aumento na densidade, provocados pelo preenchimento dos vazios existentes, nesses compósitos. Os valores desses incrementos estão quantificados na Tabela 4.34:

TABELA 4.34: Valores dos incrementos na condutividade térmica dos compósitos com SBR, provocados pelo revestimento em uma face.

Compósitos	Incrementos na condutividade térmica, provocado pelo revestimento em uma face (%)
1:1:0,4 cimento:SBR	+ 11,90 •
1:0,5:0,4 cimento:SBR	+ 12,60
1:0,5:0,4 gesso:SBR	+ 11,11 •
1:0,25:0,4 gesso:SBR	+ 11,50

(•) Menores incrementos

Os incrementos foram maiores nas estruturas com menores teores de resíduos.

As estruturas revestidas em uma face, formadas pelos compósitos estudados, apresentaram valores de condutividades térmicas semelhantes à de elementos construtivos validados, existentes no mercado, já citados no trabalho, como: Painéis EPS (0,22 W\ m°C – Figura 2.17) e tijolos isolantes (0,251 a 0,658 W\ m°C – Figura 2.19). Os valores dessa propriedade para essas estruturas foram ainda menores que as de outros elementos construtivos, como Placas CCFS (0,35 W\ m°C – Figura 2.25) e painéis em estrutura sanduíche com núcleos de PUR, PIR ou EPS (0,42 – 0,51 W\ m°C – Figura 2.16).

Como com os compósitos sem revestimentos, para medir a eficiência dessa propriedade, nas estruturas revestidas, foi calculado o Fator de condutividade térmica. Os valores estão apresentados na Tabela 4.34:

TABELA 4.35: Fator da condutividade térmica das estruturas revestidas em uma face.

Estruturas revestidas em uma face	Fator da condutividade térmica (Wcm ³ \g m °C)
1:1:0,4 cimento:SBR	0,20 • a
1:0,5:0,4 cimento:SBR	0,23 aA
1:0,5:0,4 gesso:SBR	0,18 • aB
1:0,25:0,4 gesso:SBR	0,21 a

Para traços com mesmo aglomerante utilizado no compósito com SBR, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Para o mesmo traço (1:0,5:0,4), com diferentes aglomerantes, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (A,B) não diferem entre si pelo teste de Tukey

(•) Melhores valores, de acordo com o tipo de aglomerante utilizado.

Os resultados do teste de Tukey foram realizados com 95% ou 99% de confiança.

Embora todas as estruturas revestidas em uma face possuam valores absolutos de condutividade térmica baixos e semelhantes, as moldadas com compósitos de SBR de traços 1:1:0,4 com cimento e 1:0,5:0,4 com gesso apresentaram menores valores de fator de condutividade térmica, indicando maior capacidade para serem utilizados como isolamentos térmicos.

II - Estruturas sanduíche

As estruturas sanduíche foram elaboradas com os compósitos de SBR como núcleos, através das técnicas A e B de moldagem. Os revestimentos foram as matrizes reforçadas com 2% de fibras de sisal.

II.1 - Moldadas com a técnica A

Na Tabela 4.36 estão indicados os valores das propriedades analisadas nas estruturas sanduíche, elaboradas com os compósitos estudados, moldadas através da técnica A.

TABELA 4.36: Propriedades analisadas nas estruturas sanduíche, elaboradas com os compósitos estudados, moldadas através da técnica A.

Estrutura	Resistência à Flexão (MPa)	Tenacidade (J)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Densidade Aparente (Kg/m ³)
1:1:0,4, cimento:SBR , revestido nas duas faces com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal - T A	2,9 ± 0,04 a	3,0 ± 0,9 a	11,6 ± 1,3 a	16,97 ± 0,9 a	12,2 ± 0,7 a
1:0,5:0,4, cimento:SBR , revestido nas duas faces com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal – T A	3,3 ± 0,6 aA •	2,4 ± 0,3 aA•	11,3 ± 1,8 aB •	16,34 ± 0,8 aB•	12,6 ± 0,9 aA
1:0,5:0,4, gesso:SBR , revestido nas duas face com gesso e 2% de fibras de sisal – T A	2,7 ± 0,04 aA	2,2 ± 0,9 aA	51,0 aA	48,97 aA	12,4 ± 0,8 aA•
1:0,25:0,4, gesso:SBR , revestido em uma face com gesso e 2% de fibras de sisal – T A	3,4 ± 0,65 a	2,2 ± 0,3 a	45,8 a	47,36 a	12,9 ± 1,1 a

Para traços com mesmo aglomerante utilizado no compósito com SBR, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (a,b) não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Para o mesmo traço (1:0,5:0,4), com diferentes aglomerantes, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (A,B) não diferem entre si pelo teste de Tukey

(•) Melhores valores, considerando-se as estruturas sanduíche com mesmo teor de incorporação de resíduos de SBR (1:0,5:0,4), independentemente do aglomerante utilizado.

Os resultados do teste de Tukey foram realizados com 95% ou 99% de confiança. Para os dois tipos de estruturas moldadas, a variação do teor de resíduos não influenciou de forma significativa as respectivas propriedades físico-mecânicas.

Considerando-se o mesmo teor de incorporação de resíduos de SBR nos compósitos usados como núcleos (traço 1:0,5:0,4), independentemente do aglomerante utilizado, através do teste de Tukey não houve diferença significativa entre algumas propriedades físico-mecânicas das estruturas como: resistência à flexão, tenacidade e densidade aparente. Na estrutura onde foi utilizado cimento como aglomerante observou-se maiores valores absolutos para essas propriedades, e ainda, menores capacidade de absorção e índice de vazios.

Na figura 4.77 estão ilustradas as curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, revestidos em duas faces através da técnica A de moldagem, estudados.

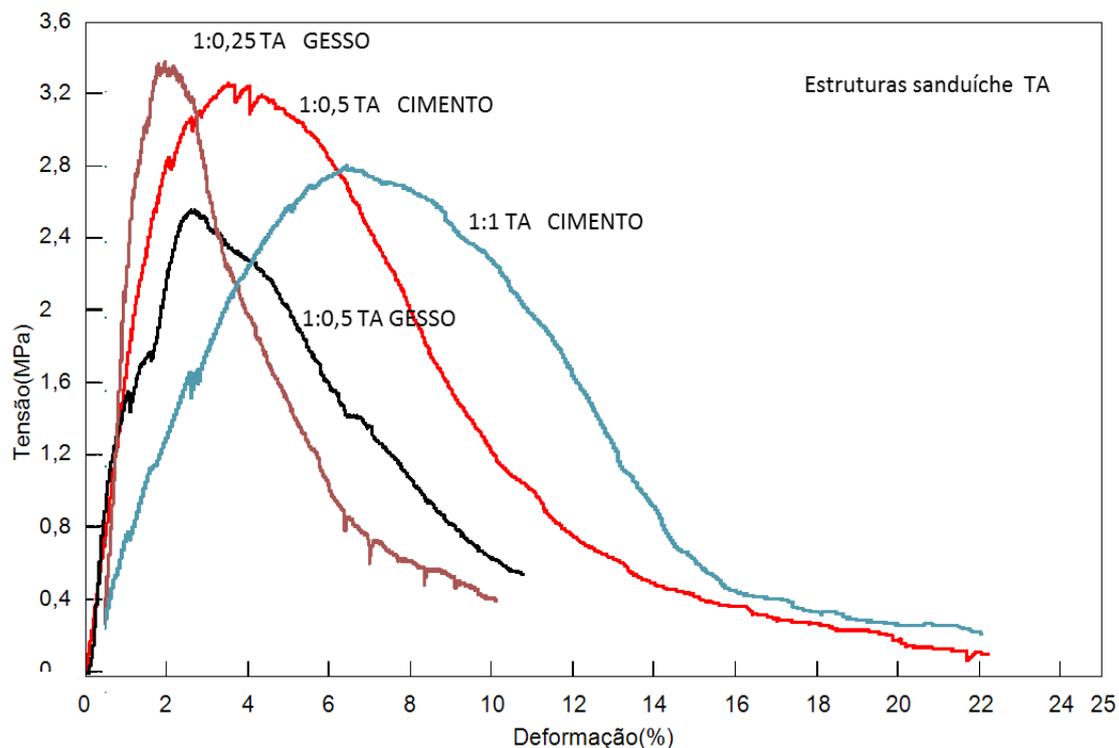


FIGURA 4.77: Curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, revestidos em duas faces através da técnica A de moldagem, estudados.

i) Incrementos observados, devido ao revestimento através da técnica A.

Relacionando-se essas estruturas sanduíche com os compósitos sem revestimentos e com as estruturas revestidas em uma só face, observou-se incrementos nas propriedades, de acordo com a tabela 4.37:

TABELA 4.37: Incrementos observados nas propriedades das estruturas sanduíche, elaboradas com compósito de cimento:SBR e gesso:SBR, moldadas com a técnica A; em relação aos mesmos compósitos, sem revestimentos e revestidos em uma face.

Propriedade	Em relação ao compósito	Incremento no compósito pelo revestimento nas duas faces - Técnica A			
		cimento:SBR		gesso:SBR	
		1:1:0,4	1:0,5:0,4	1:0,5:0,4	1:0,25:0,4
Resistência à flexão	Sem revestimento	+ 286,6	+ 153,8	+ 210,3	+ 12,9
	Revestido em uma face	+ 12,4	+ 5,8	0	+ 7,6
Tenacidade	Sem revestimento	+ 347,7	+ 196,3	+ 478,9	+ 633,3
	Revestido em uma face	+ 30,4	+ 14,3	- 4,4	+ 4,7
Absorção	Sem revestimento	- 44,7	- 22,1	+ 47,8	+ 31,6
	Revestido em uma face	- 20,0	- 19,8	+ 37,4	+ 17,73
Índice de vazios	Sem revestimento	- 27,7	- 8,76	+ 33,8	+ 29,5
	Revestido em uma face	- 11,0	- 6,5	+ 21,6	+ 12,1
Densidade Aparente	Sem revestimento	+ 69,6	+ 22,6	+ 32,9	+ 9,1
	Revestido em uma face	+ 2,4	+ 5,7	+ 24,2	+ 7,7

Observando os valores apresentados na tabela 4.37, notou-se que o revestimento nas duas faces provocou maiores incrementos no compósito cimento:SBR de traço 1:1:0,4 e no compósito gesso:SBR de traço 1:0,25:0,4

Como aconteceu com o revestimento em uma face, ao ser moldado em estrutura sanduíche através da técnica A, os compósitos com resíduos de SBR, utilizados como núcleos dessas estruturas, tiveram a resistência à flexão e tenacidade aumentadas consideravelmente. O revestimento nas duas faces também provocou um aumento na densidade do compósito, mas, ao serem levadas em conta as recomendações citadas na Tabela 2.1, a estrutura elaborada pôde ser considerada como leve.

Em relação à capacidade de absorção e índice de vazios, nos compósitos com cimento, essas propriedades foram bastante reduzidas, principalmente no traço com maior teor de resíduos. Nos compósitos com gesso, essas propriedades foram aumentadas, tal como quando se revestiu em uma face. Esse fenômeno pode ser explicado através de propriedades inerentes a esse aglomerante.

II.2 - Moldadas com a técnica B

As propriedades encontradas dos compósitos de SBR revestidos em duas faces, moldados através da técnica B, apresentaram os valores de acordo com a Tabela 4.38:

TABELA 4.38: Propriedades analisadas nas estruturas sanduíche elaboradas com os compósitos cimentícios estudados, moldadas com a técnica B

Estrutura	Resistência à Flexão (MPa)	Tenacidade (J)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Densidade Aparente (Kg/m ³)
1:1:0,4, cimento:SBR , revestido nas duas faces com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal - T B	2,6 ± 0,05a	3,1 ± 0,4 a	14,5 ± 2,0 a	14,88 ± 1,9 a	12,47 ± 1,2 a
1:0,5:0,4, cimento:SBR , revestido nas duas faces com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal – T B	3,2 ± 0,7 aA •	2,4 ± 0,2 aA •	14,1 ± 1,8 aB•	12,78 ± 1,6 bB•	12,67 ± 0,9 aA
1:0,5:0,4, gesso:SBR , revestido nas duas faces com gesso e 2% de fibras de sisal – T B	2,8 + 0,06 aA	2,2 ± 0,1 aA	49,7 aA	48,51 aA	12,48 ± 0,8 aA•
1:0,25:0,4, gesso:SBR , revestido nas duas faces com gesso e 2% de fibras de sisal – T B	3,4 + 0,10a	2,2 ± 0,4 a	42,2 b	45,40 a	12,85 ± 0,6 a

Para traços com mesmo aglomerante utilizado no compósito com SBR, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (a,b) não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Para o mesmo traço (1:0,5:0,4), com diferentes aglomerantes, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (A,B) não diferem entre si pelo teste de Tukey

(•) Melhores valores, considerando-se as estruturas sanduíche com mesmo teor de incorporação de resíduos de SBR (1:0,5:0,4), independentemente do aglomerante utilizado.

Os resultados do teste de Tukey foram realizados com 95% ou 99% de confiança. Para os dois tipos de estruturas moldadas, a variação do teor de resíduos não influenciou de forma significativa a resistência à flexão, a tenacidade e a densidade aparente.

Nas estruturas sanduíche com mesmo teor de incorporação de resíduos de SBR nos núcleos (traço 1:0,5:0,4), independentemente do aglomerante utilizado, como aconteceu quando se utilizou a técnica A de moldagem, com essa segunda técnica também não houve diferença significativa entre a resistência à flexão, tenacidade e densidade aparente. Ao ser utilizado cimento como aglomerante observou-se maiores

valores absolutos para essas propriedades, e ainda, menores capacidade de absorção e índice de vazios.

Na figura 4.78 estão ilustradas as curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, revestidos em duas faces através da técnica B de moldagem, estudados.

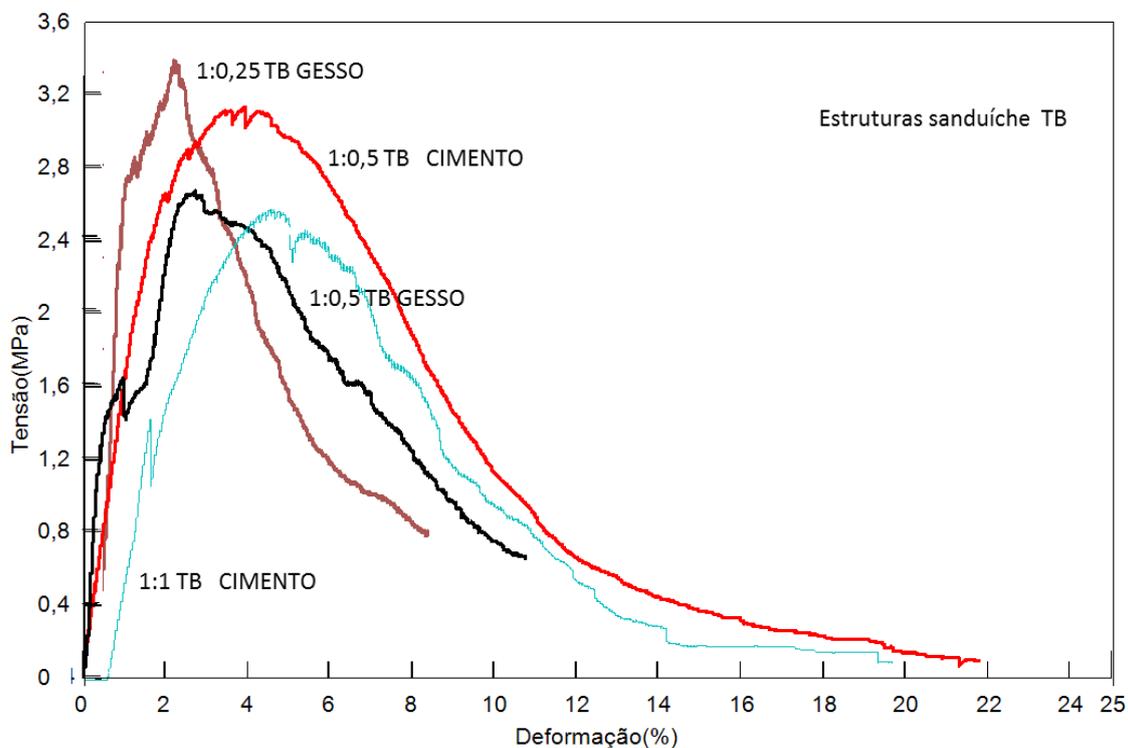


FIGURA 4.78: Curvas do ensaio de resistência à flexão, dos compósitos cimento:SBR e gesso:SBR, revestidos em duas faces através da técnica B de moldagem, estudados.

i) Incrementos observados devido ao revestimento através da técnica B.

Relacionando-se as estruturas sanduíche, moldadas com a técnica B, com os compósitos sem revestimentos, com as estruturas revestidas em uma só face e com as estruturas sanduíche moldadas com a técnica A, observou-se incrementos nas propriedades, de acordo com a tabela 4.39:

TABELA 4.39: Incrementos observados nas propriedades das estruturas sanduíche, elaboradas com compósito de cimento:SBR através da técnica B de moldagem; em relação aos mesmos compósitos sem revestimentos, revestidos em uma face e revestidos em duas faces através da técnica de moldagem B.

Propriedade	Em relação ao compósito	Incremento no compósito pelo revestimento nas duas faces - Técnica B			
		cimento:SBR		gesso:SBR	
		1:1:0,4	1:0,5:0,4	1:0,5:0,4	1:0,25:0,4
Resistência à flexão	Sem revestimento	+ 246,6	+ 146,1	+ 221,8	+ 12,9
	Revestido em uma face	+ 0,8	+ 2,56	+ 3,7	+ 7,5
	Revestido em duas faces – TA	- 10,3	- 3,0	- 3,7	0
Tenacidade	Sem revestimento	+ 362,7	+ 196,3	+ 478,9	+ 633,3
	Revestido em uma face	+ 34,8	+ 14,3	- 4,4	+ 4,7
	Revestido em duas faces – TA	+ 3,3	0	0	0
Absorção	Sem revestimento	- 48,6	- 32,4	+ 44,5	+ 21,2
	Revestido em uma face	- 25,5	- 30,5	+ 33,9	+ 8,48
	Revestido em duas faces – TA	- 6,9	- 13,3	- 2,54	- 7,86
Índice de vazios	Sem revestimento	- 36,6	- 28,6	+ 32,6	+ 24,1
	Revestido em uma face	- 21,9	- 26,8	+ 20,5	+ 7,5
	Revestido em duas faces – TA	- 12,3	- 21,8	- 0,93	- 4,13
Densidade Aparente	Sem revestimento	+ 73,2	+ 23,1	+ 33,8	+ 8,2
	Revestido em uma face	+ 4,6	+ 6,1	+ 25,0	+ 6,9
	Revestido em duas faces – TA	+ 2,1	+ 0,4	+ 0,6	- 0,8

De acordo com a tabela 4.39, os incrementos observados nos compósitos devido aos revestimentos através da técnica de moldagem B não tiveram a mesma uniformidade e foram menores que os provocados pela técnica A. Notou-se ainda que:

- Quando considerado os compósitos sem revestimentos, ao serem revestidos nas duas faces, através da técnica B, os maiores incrementos na resistência à flexão aconteceram nos traços com mais resíduos (1:1:0,4 cimento:SBR e 1:0,5:0,4 gesso:SBR).
- Ao serem consideradas placas já revestidas em uma face, a maior contribuição na resistência à flexão foi nos compósitos com menos resíduos (1:0,5:0,4 cimento:SBR e 1:0,25:0,4 gesso:SBR).

- Levando-se em conta a técnica A de moldagem, os incrementos foram nulos ou negativos, indicando que a primeira técnica foi mais eficiente no que se refere à resistência à flexão.

- Ao se observar a tenacidade, a técnica de moldagem B provocou maiores incrementos no compósito cimento:SBR de traço 1:1:0,4 e gesso:SBR de traço 1:0,25:0,4. O traço 1:0,5:0,4, moldado tanto com cimento quanto com gesso, apresentou os mesmos valores de incremento de que quando foi utilizada a técnica A de moldagem.

- Quanto à capacidade de absorção, para os compósitos com cimento, a técnica de moldagem B foi mais eficiente, reduzindo essa propriedade com mais intensidade que quando utilizada a técnica A. O traço 1:1:0,4 foi mais influenciado quando sem revestimento; nas outras situações, o traço 1:0,5:0,4 foi mais incrementado. O mesmo aconteceu com o índice de vazios. Nos compósitos com gesso e SBR, aumentou essas propriedades, tal como a técnica de moldagem A, porém com menor intensidade.

- A densidade das estruturas sanduíche moldadas com a técnica B foram um pouco maiores que as observadas quando se usou a técnica A de moldagem. Essas estruturas, como todas as outras, puderam ser consideradas leves, ao serem levadas em conta as recomendações citadas na Tabela 2.1. Os traços com menores teores de resíduos foram menos incrementados.

II.3 - Comparação entre as propriedades físico-mecânicas, das estruturas sanduíche elaboradas através das duas técnicas de moldagem sugeridas.

As Figuras 4.79 e 4.80 ilustram as características de propriedades físico-mecânicas das estruturas sanduíche, moldadas através das técnicas A e B:

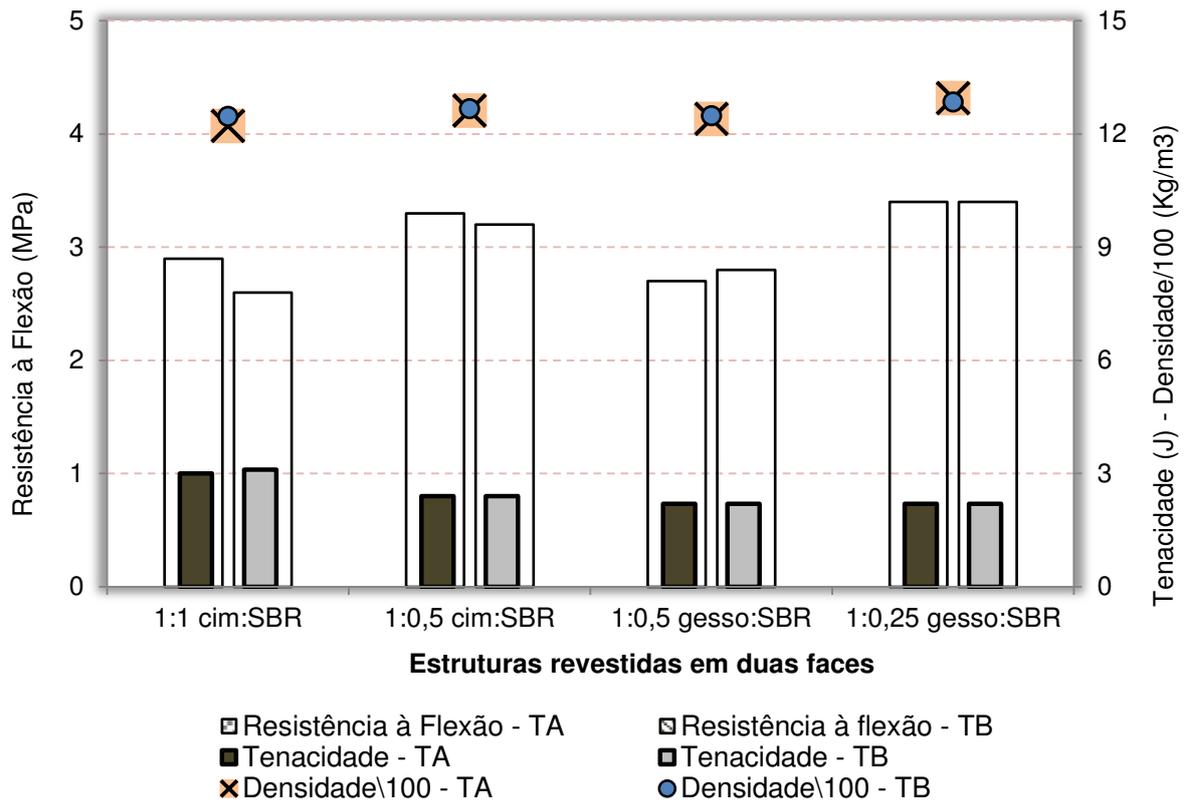


FIGURA 4.79: Resistência à Flexão, Tenacidade e Densidade Aparente das estruturas sanduíche moldadas através das técnicas A e B, utilizando os compósitos estudados

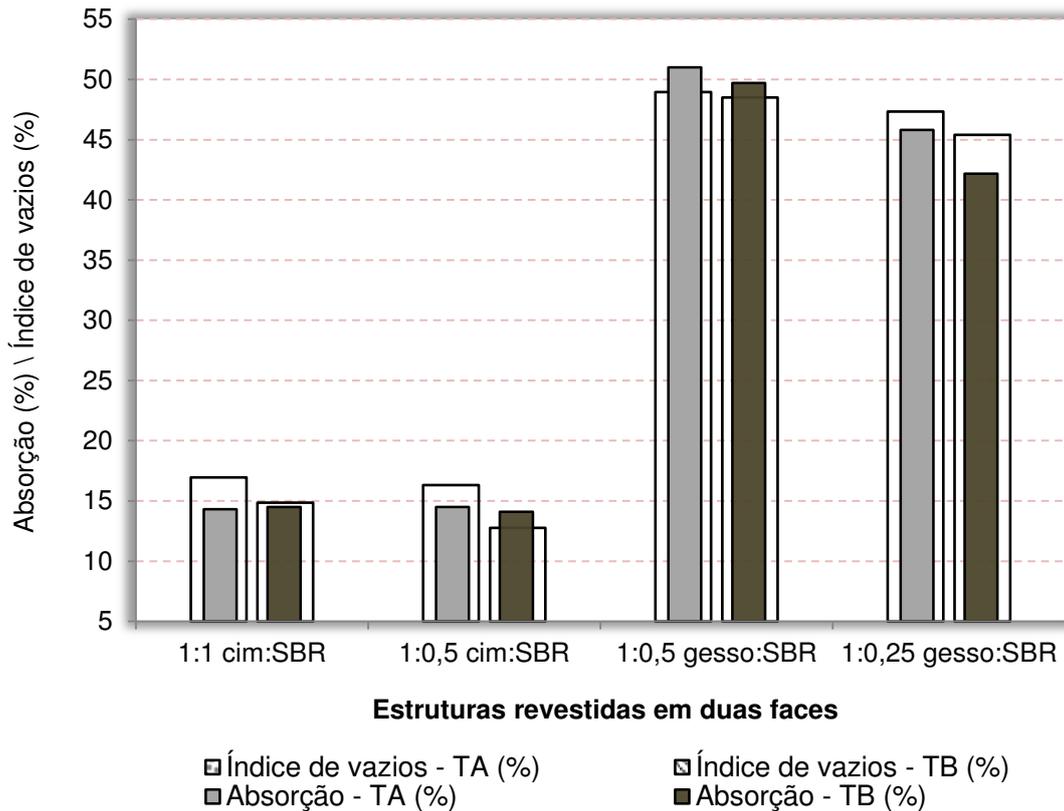


FIGURA 4.80 : Absorção e Índice de vazios das estruturas sanduíche moldadas através das técnicas A e B, utilizando os compósitos estudados

Através das figuras 4.79 e 4.80, pôde-se comprovar que:

- A resistência à flexão das estruturas moldadas com cimento através da técnica A apresentam valores levemente superiores. Para as estruturas sanduíche moldadas com gesso, a técnica B proporcionou maiores valores dessa propriedade.
- A tenacidade das estruturas, assim como a densidade aparente, não sofreu influência da técnica de moldagem, nem do aglomerante utilizado.
- A técnica B de moldagem foi mais eficiente para incrementar a capacidade de absorção e o índice de vazios dos compósitos.

i) Fatores de eficiência (Fef) segundo ROSSIGNOLO (2003) das estruturas sanduíche, elaboradas através das duas técnicas de moldagem.

De forma comparativa, os fatores eficiência da resistência à flexão e da tenacidade, e, os fatores de densidade, de absorção e de índice de vazios, segundo ROSSIGNOLO, das estruturas sanduíche elaboradas, estão listados na Tabela 4.40

TABELA 4.40: Fatores eficiência de propriedades físico-mecânicas das estruturas sanduíche elaboradas.

Compósito revestido em duas faces					
Propriedade	Técnica de moldagem	1:1:0,4 cimento	1:0,5:0,4 cimento	1:0,5:0,4 gesso	1:0,25:0,4 gesso
Fator eficiência da resistência à flexão	A	2,16	2,41	2,81	3,30 •
	B	1,98	2,41	2,89	3,15
Fator eficiência da tenacidade	A	2,24	1,75	2,29	2,14
	B	2,37 •	1,80	2,27	2,04
Fator de absorção	A	8,66	8,25	53,13	44,47
	B	8,24	7,37 •	51,24	39,06
Fator de índice de vazios	A	12,66	11,93	51,01	45,98
	B	11,36	9,61 •	50,01	42,04
Fator de densidade aparente	A	9,11 •	9,21	12,92	12,57
	B	9,52	9,52	12,87	11,90

(•) Maior eficiência, relativa à determinada propriedade.

Através dos resultados apresentados na tabela 4.40, é possível observar que:

- A técnica A de moldagem foi mais eficiente, ao serem consideradas a resistência à flexão das estruturas moldadas com compósitos de cimento:SBR de traço 1:1:0,4 e de gesso:SBR de traço 1:0,25:0,4. Quando moldadas utilizando compósito de SBR de traço 1:0,5:0,4, ao ser usado cimento como aglomerante, a técnica de moldagem não alterou a eficiência dessa propriedade, enquanto que, sendo utilizado gesso, a técnica B foi mais eficiente.
- Em relação à tenacidade, a técnica de moldagem pouco influenciou. Notou-se maior eficiência nas estruturas com compósitos com cimento moldadas com a técnica B, e, nas moldadas com compósitos com gesso através da técnica A.

- Quando utilizada a técnica B, as estruturas apresentaram menor valor de fator de absorção e de índice de vazios.
- Considerando-se a densidade aparente, a técnica A foi mais eficiente ao serem moldadas estruturas sanduíche com compósitos cimento:SBR. Ao ser utilizado gesso como aglomerante, a técnica B foi mais eficiente.
- Considerando todas as estruturas sanduíche moldadas, as que continham compósitos cimento:SBR foram mais eficientes.

III - Determinação das condutividades térmicas das estruturas sanduíche elaboradas

Foi medida a condutividade térmica dessas estruturas, cujos resultados estão apresentados na Tabela 4.41:

TABELA 4.41: Condutividade térmica das estruturas sanduíche, elaboradas

Estruturas	Técnica de moldagem	Condutividade térmica (W/m°C)	Fator da condutividade térmica (W.g/m ⁰ C.cm ³)
1:1:0,4, cimento:SBR, revestido nas duas faces com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal	A	0,27 a A	0,20
1:0,5:0,4, cimento:SBR, revestido nas duas faces com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal		0,33 a α A	0,24
1:0,5:0,4, gesso:SBR, revestido nas duas faces com gesso fator a\gesso 0,7 e 2% de fibras de sisal		• 0,25 a β A	0,20 •
1:0,25:0,4, gesso:SBR, revestido nas duas faces com gesso fator a\gesso 0,7 e 2% de fibras de sisal		0,28 a A	0,25
1:1:0,4, cimento:SBR, revestido nas duas faces com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal	B	0,26 b A	0,26
1:0,5:0,4, cimento:SBR, revestido nas duas faces com M 50 20 30 e 2% de fibras de sisal		0,33 a α A	0,27
1:0,5:0,4, gesso:SBR, revestido nas duas faces com gesso fator a\gesso 0,7 e 2% de fibras de sisal		• 0,25 a β A	0,26 •
1:0,25:0,4, gesso:SBR, revestido nas duas faces com gesso fator a\gesso 0,7 e 2% de fibras de sisal		0,29 a A	0,27

Para traços com mesmo aglomerante e mesma técnica de moldagem, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (a,b) não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Para mesmo traço (1:0,5:0,4), com diferentes aglomerantes e mesma técnica de moldagem, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (α,β) não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Para a mesma estrutura, com diferentes técnicas de moldagem, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (A,B) não diferem entre si pelo teste de Tukey.

(•) Melhores valores

Os resultados do teste de Tukey foram realizados com 95% ou 99% de confiança. Os valores da condutividade térmica variaram de 0,25 a 0,33 W/m°C.

Através dos resultados foi observado que:

- Ao ser utilizada a técnica A de moldagem, considerando-se o mesmo tipo de compósito que compõe o núcleo, a diferença entre os teores de resíduos incorporados não influenciou a condutividade térmica das estruturas sanduíche elaboradas. O tipo de aglomerante utilizado (gesso ou cimento), através do teste de Tukey, provocou diferenças significativas.

- Quando moldadas com a técnica B, também se considerando o mesmo tipo de compósito que forma o núcleo, a diferença entre os teores de resíduos de SBR incorporados influenciou a condutividade térmica, ao ser utilizado cimento como aglomerante. Quando usado gesso, essa diferença não foi significativa. Observando-se estruturas com mesmo teor de incorporação de resíduos de SBR (1:0,5:0,4), nota-se que o tipo de aglomerante utilizado também influenciou a condutividade térmica dessas.

- Avaliando-se a técnica de moldagem, ao serem observadas estruturas iguais, moldadas das duas formas, nota-se que, estatisticamente, não houve diferença significativa entre as condutividades térmicas.

A figura 4.81 ilustra as condutividades térmicas das estruturas sanduíche estudadas, associando-a a densidade aparente destas.

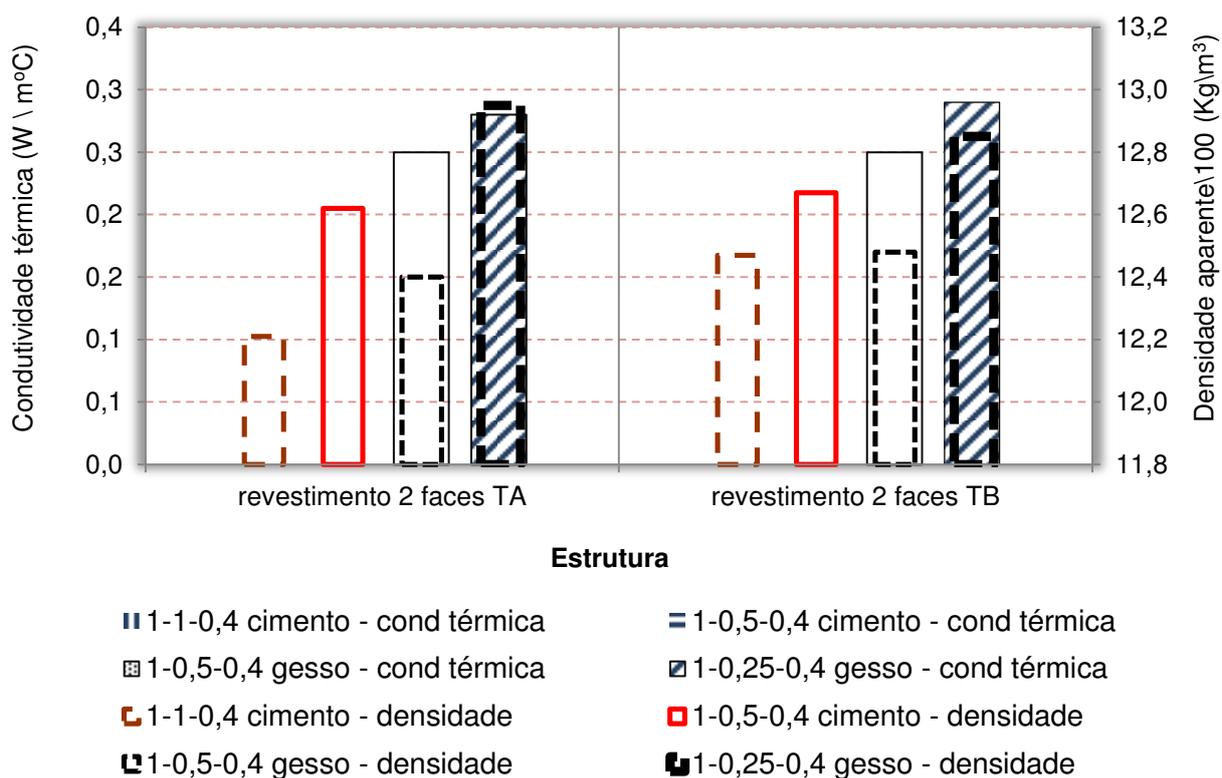


FIGURA 4.81: Condutividade térmica das estruturas sanduíche, elaboradas

Através da Figura 4.81 comprovou-se que, a técnica de moldagem não influenciou significativamente a condutividade térmica, nem a densidade aparente das estruturas sanduíche, elaboradas.

O segundo revestimento provocou incrementos na condutividade térmica dos compósitos com SBR. Na Tabela 4.42 estão apresentados os valores desses incrementos, em relação aos compósitos sem revestimentos e revestidos em uma face.

TABELA 4.42: Incrementos provocados na condutividade térmica dos compósitos, devido ao revestimento nas duas faces.

Incremento na condutividade térmica (%) devido ao revestimento na segunda face					
		TA	TB		
Em relação ao compósito					
Compósitos SBR - núcleo	Agl	sem revestimento	revestido em uma face	sem revestimento	revestido em uma face
1:1:0,4	Cimento	+ 28,57 •	+ 8,00 •	+ 23,80 •	+ 4,00 •
		+ 43,47	+ 13,79	+ 43,47	+ 13,79
1:0,5:0,4	Gesso	+ 38,88 •	+ 25,00	+ 38,88 •	+ 25,00 •
		+ 40,00	+ 21,73 •	+ 45,00	+ 26,08

(•) Menores valores de incrementos, considerando-se o tipo de aglomerante utilizado

Através dos incrementos, notou-se que, quando utilizado cimento como aglomerante, os menores valores foram observados nos compósitos com maior teor de resíduos incorporados.

Ao ser utilizado gesso como aglomerante, esse comportamento só foi diferente quando utilizada a Técnica A de moldagem, comparando-se com o compósito com SBR revestido em uma face.

4.5 – COMPARAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS E DAS ESTRUTURAS ELABORADAS

Através da Tabela 4.43, pode-se observar o efeito dos revestimentos nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos estudados:

Como observado em itens anteriores, para os compósitos cimento:SBR, os revestimentos aumentaram a resistência à flexão, a tenacidade e a densidade aparente, enquanto a capacidade de absorção foi diminuída.

Nos compósitos com gesso e resíduos de SBR, todas as propriedades tiveram seus valores aumentados, inclusive a capacidade de absorção.

TABELA 4.43: Propriedades físico-mecânicas dos compósitos e estruturas estudados

Propriedade	Estrutura \ compósito	1:1:0,4 cimento	1:0,5:0,4 cimento	1:0,5:0,4 gesso	1:0,25:0,4 gesso
Resistência à flexão	Sem revestimento	0,75	1,30 •	0,87	3,01
	Revestido em 1 face	2,58	3,12 •	2,70	3,16
	Revestido em 2 faces - TA	2,90	3,30 •	2,70	3,40
	Revestido em 2 faces - TB	2,60	3,20 •	2,80	3,40
Tenacidade	Sem revestimento	0,67	0,94 •	0,35	0,30
	Revestido em 1 face	2,30	2,10	2,30 •	2,10
	Revestido em 2 faces - TA	3,00	2,40 •	2,20	2,20
	Revestido em 2 faces - TB	3,10	2,40 •	2,20	2,20
Absorção	Sem revestimento	21,00	14,50 •	34,53	34,84
	Revestido em 1 face	14,50	14,10 •	37,10	38,90
	Revestido em 2 faces - TA	14,30	14,50 •	51,00	45,80
	Revestido em 2 faces - TB	14,50	14,10 •	49,70	42,19
Densidade aparente	Sem revestimento	7,21	10,29	9,33 •	11,87
	Revestido em 1 face	11,92	11,94	9,98 •	12,02
	Revestido em 2 faces - TA	12,21	12,62	12,40 •	12,95
	Revestido em 2 faces - TB	12,47	12,67	12,48 •	12,85
Condutividade térmica	Sem revestimento	0,21	0,29	0,18 •	0,20
	Revestido em 1 face	0,25	0,29	0,20 •	0,23
	Revestido em 2 faces - TA	0,27	0,33	0,25 •	0,28
	Revestido em 2 faces - TB	0,26	0,33	0,25 •	0,29

(•) Melhores valores, considerando o mesmo teor de incorporação de resíduos (mesmo traço do compósito com SBR) para os dois tipos de aglomerantes utilizados.

Considerando-se o mesmo teor de incorporação de resíduos, observou-se que, os compósitos e estruturas moldados com cimento possuem melhores valores absolutos para resistência à flexão, tenacidade e capacidade de absorção. Quando moldados com gesso, possuem melhores valores de densidade aparente e de condutividade térmica.

Na Tabela 4.44 comparou-se a eficiência dos compósitos e estruturas estudados.

TABELA 4.44: Eficiência das propriedades físico-mecânicas dos compósitos e estruturas estudados:

Propriedade	Estrutura \ compósito	1:1:0,4 cimento	1:0,5:0,4 cimento	1:0,5:0,4 gesso	1:0,25:0,4 gesso
Fator eficiência da resistência à flexão	Sem revestimento	0,67	1,06 •	0,80	2,86
	Revestido em 1 face	2,10	2,48	2,49 •	2,92
	Revestido em 2 faces - TA	2,16	2,41	2,81 •	3,30
	Revestido em 2 faces - TB	1,98	2,41	2,89 •	3,15
Fator eficiência da tenacidade	Sem revestimento	0,59	0,76 •	0,32	0,28
	Revestido em 1 face	1,87	1,67	2,13 •	1,94
	Revestido em 2 faces - TA	2,24	1,75	2,29 •	2,14
	Revestido em 2 faces - TB	2,37	1,80	2,27 •	2,04
Fator de absorção	Sem revestimento	18,58	11,85 •	31,68	33,18
	Revestido em 1 face	11,79	11,19 •	34,28	35,92
	Revestido em 2 faces - TA	8,66	8,25 •	53,13	44,47
	Revestido em 2 faces - TB	8,24	7,37 •	51,24	39,06
Fator de densidade aparente	Sem revestimento	6,38	8,37 •	8,56	11,30
	Revestido em 1 face	9,69	9,48	9,22 •	11,10
	Revestido em 2 faces - TA	9,11	9,21 •	12,92	12,57
	Revestido em 2 faces - TB	9,52	9,52 •	12,87	11,90
Fator da condutividade térmica	Sem revestimento	0,19	0,19	0,17 •	0,19
	Revestido em 1 face	0,20	0,23	0,18 •	0,21
	Revestido em 2 faces - TA	0,20	0,24 •	0,26	0,27
	Revestido em 2 faces - TB	0,20	0,25 •	0,26	0,27

(•) Melhores valores, considerando o mesmo teor de incorporação de resíduos para os dois tipos de aglomerantes utilizados.

Pôde-se notar que, diferentemente de quando observados os valores absolutos, quando utilizados os compósitos gesso:SBR, foi alcançada uma maior eficiência na resistência à flexão e tenacidade; enquanto que, em relação a capacidade de absorção e densidade aparente, os compósitos cimento:SBR foram mais eficientes.

Em relação à condutividade térmica, quando utilizado gesso como aglomerante, os compósitos sem revestimentos e revestidos em uma face foram mais eficientes. As estruturas sanduíche moldadas com cimento foram mais eficientes quanto a essa propriedade. As Figuras 4.82, 4.83 e 4.84 ilustram o comportamento das propriedades físico-mecânicas e da condutividade térmica, além das eficiências dessas propriedades, dos compósitos e estruturas estudados.

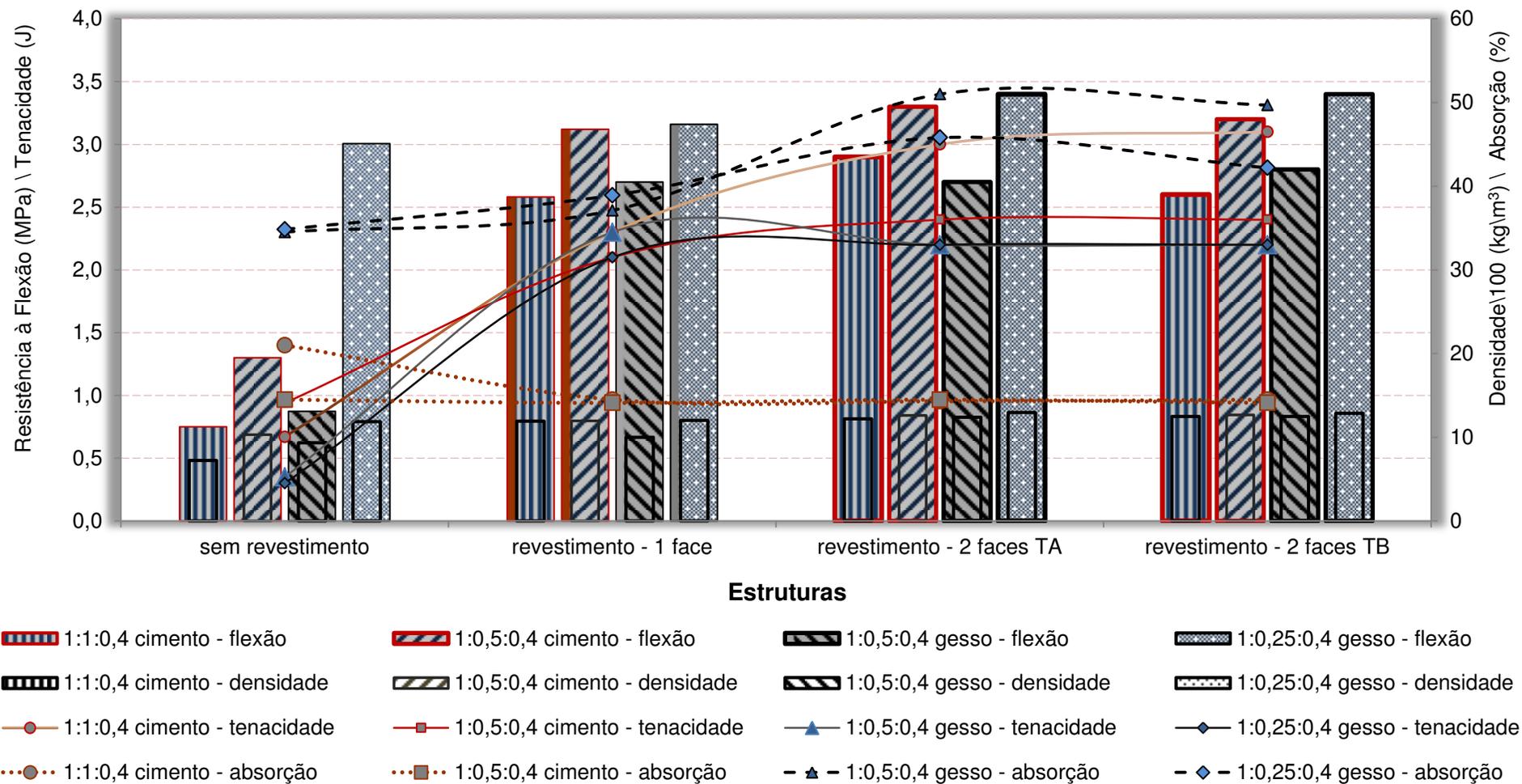


FIGURA 4.82: Propriedades físico-mecânicas das estruturas elaboradas

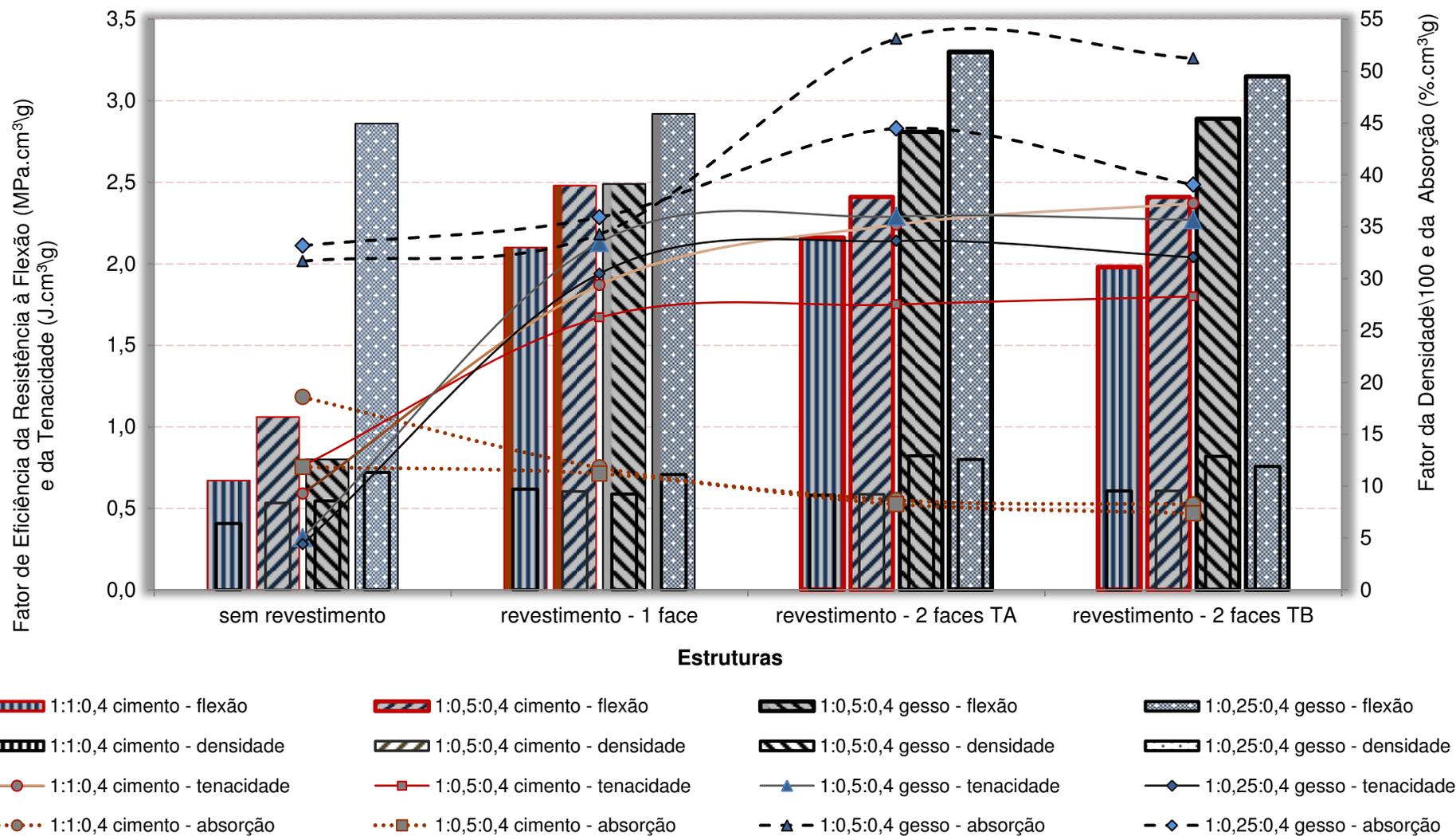


FIGURA 4.83: Fatores de Eficiência das propriedades físico-mecânicas das estruturas elaboradas

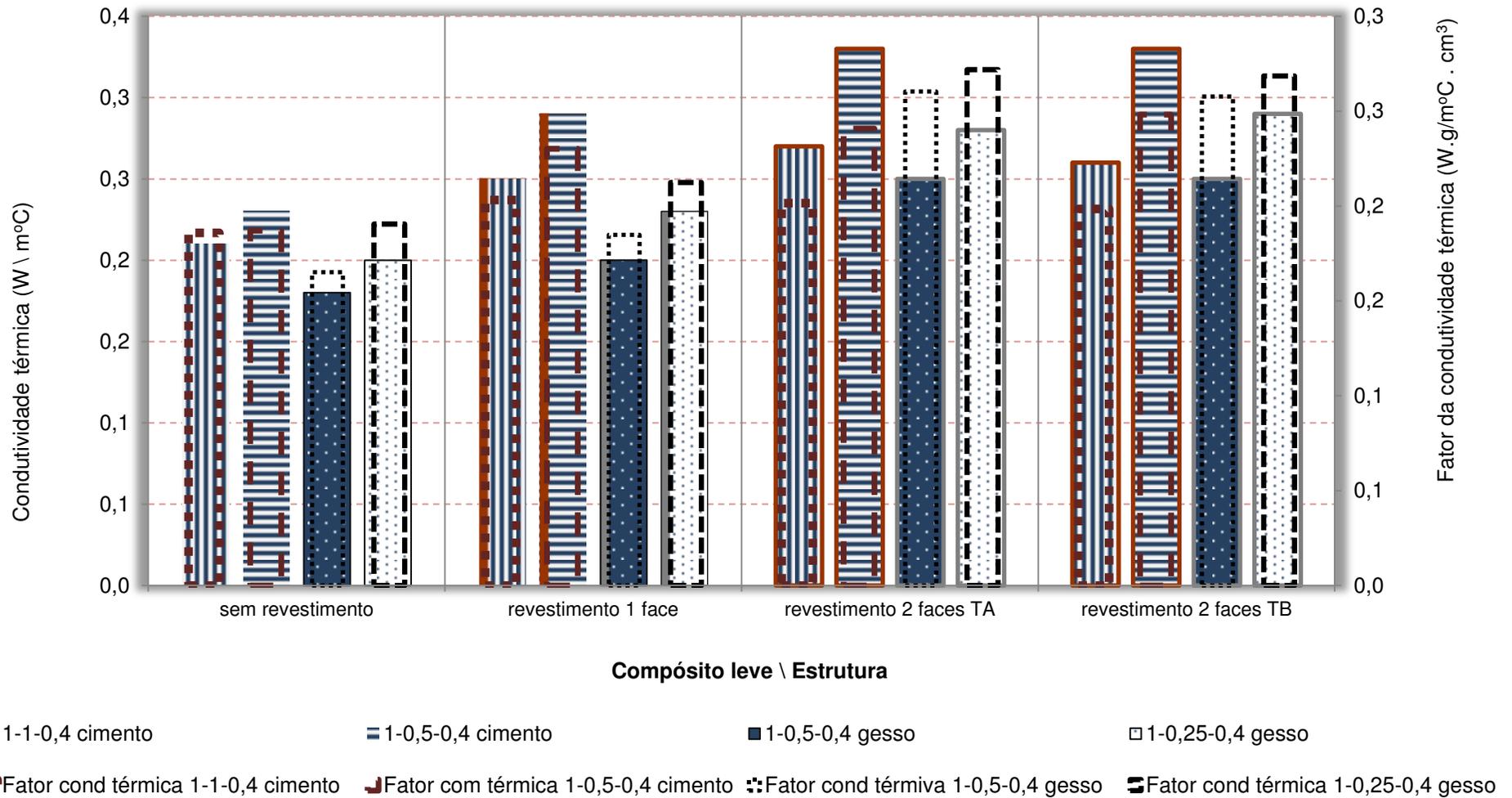


FIGURA 4.84: Comparação entre os valores das condutividades térmicas das estruturas estudadas

Através das Figuras 4.82; 4.83 e 4.84 notou-se que, todos os compósitos estudados e estruturas elaboradas puderam ser consideradas leves, possuindo capacidade de isolar termicamente.

A resistência à flexão, a tenacidade, a densidade aparente e a condutividade térmica dos compósitos com SBR aumentaram com revestimentos.

Ao serem revestidos em duas faces, os compósitos com gesso tiveram seu fator de condutividade térmica bastante aumentado, enquanto que, quando moldados com cimento esse efeito foi quase nulo.

Nos compósitos cimento:SBR, os revestimentos reduziram a capacidade de absorção, ao contrário do que aconteceu quando utilizado gesso.

As propriedades físico-mecânicas e a condutividade térmica dos compósitos e estruturas estudadas foram semelhantes à de elementos construtivos validados, existentes no mercado (Tabela 2.11).

4.6 - SUGESTÃO DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

De acordo com as estruturas elaboradas, podem ser desenvolvidos elementos construtivos em forma de placas, para uso como isolamento térmico, forros ou na construção de paredes divisórias:

4.6.1 – ESTRUTURAS REVESTIDAS EM UMA FACE

Através das estruturas revestidas em uma face, é possível o desenvolvimento de elementos construtivos para serem usados como isolamento térmico, em paredes de alvenaria, e na formação de forros também isolando termicamente as construções.

Foi demonstrado em itens anteriores, que essas placas moldadas com gesso possuem maior capacidade de isolar termicamente, além de maior eficiência quanto a essa propriedade (menores valores de condutividade térmica e do fator da condutividade térmica), além de menor densidade aparente. Quando utilizado cimento como aglomerante, as placas apresentaram maior resistência à flexão e tenacidade, e, menor capacidade de absorção. A escolha do tipo de placa para formação do revestimento térmico ou forro deverá ser feita de acordo com as necessidades da obra.

I – Placas com bordas que se encaixam

Tentou-se desenvolver elementos construtivos em forma de pequenas placas com bordas que pudessem ser encaixadas, e, assim, se fazer a montagem, montando-se painéis. Por existirem pequenos espaços nas bordas das fôrmas com encaixes, não foi possível o desenvolvimento desses elementos, utilizando-se a granulometria do resíduo e o fator água\material cimentício definidos durante o trabalho. Também não foi utilizada pressão de moldagem, em prensa, pois as entranhas da fôrma não possibilitaram essa técnica.

Portanto, o desenvolvimento desse elemento construtivo só foi possível sem a utilização de pressão de moldagem, com incorporação de resíduo de granulometria fina e um maior teor de água\material cimentício (Figura 4.85). Deverá ser feito um estudo mais aprofundado, para definição dessas variáveis.

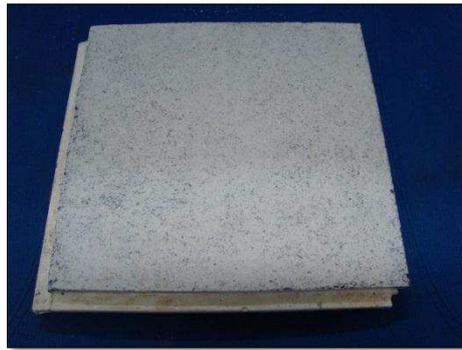


FIGURA 4.85: Elementos construtivos em forma de pequenas placas com bordas encaixáveis.

II – Placas quadradas

Descartada a hipótese do desenvolvimento de elementos construtivos encaixáveis, foram elaboradas placas quadradas, com dimensões médias de 25 cm x 25 cm x 2,8 cm, possibilitando o uso dos parâmetros definidos no trabalho (Figura 4.86 e 4.87).

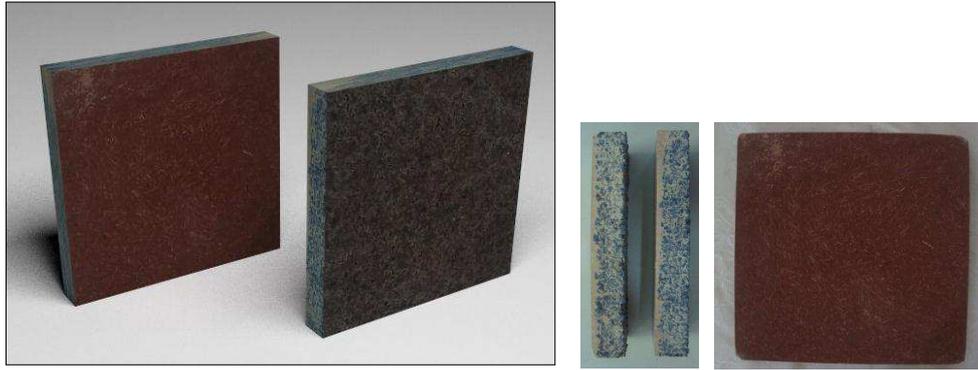


FIGURA 4.86: Elementos construtivos, em forma de placas, elaborados com compósitos de cimento e SBR, revestidos em uma face.



FIGURA 4.87: Elementos construtivos, em forma de placas, elaborados com compósitos de gesso e SBR, revestidos em uma face.

Pelo fato dessa estrutura possuir um bom acabamento, através do uso de corantes artificiais, elaborou-se também placas coloridas, considerando-se as várias cores do resíduo de SBR, que poderão ficar aparentes (Figura 4.88). Dessa forma, quando utilizadas na composição de forros ou revestimentos, dispensam o uso de pinturas, ou outro tipo de acabamento.

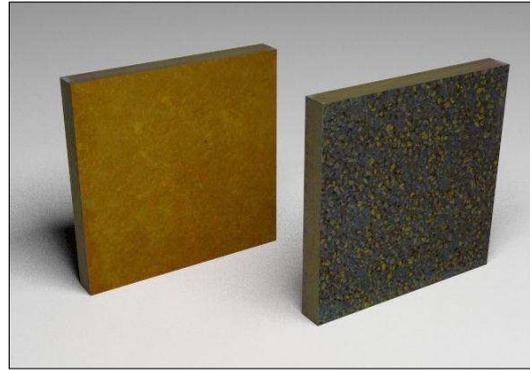


FIGURA 4.88: Elementos construtivos coloridos, em forma de placas, desenvolvidos com estruturas revestidas em uma face.

Para a montagem do revestimento térmico, foi sugerida a utilização de adesivos ou colas para pisos e revestimentos, à base de água, já existentes no comércio (ADESPEC). Esses materiais, geralmente possuem cura rápida, além de atenderem aos requisitos do LEED, servindo portanto, para o mercado de Green Buildings. O esquema de montagem do isolamento térmico, aderindo-se as placas revestidas em uma face, nas paredes, está indicado na Figura 4.89.

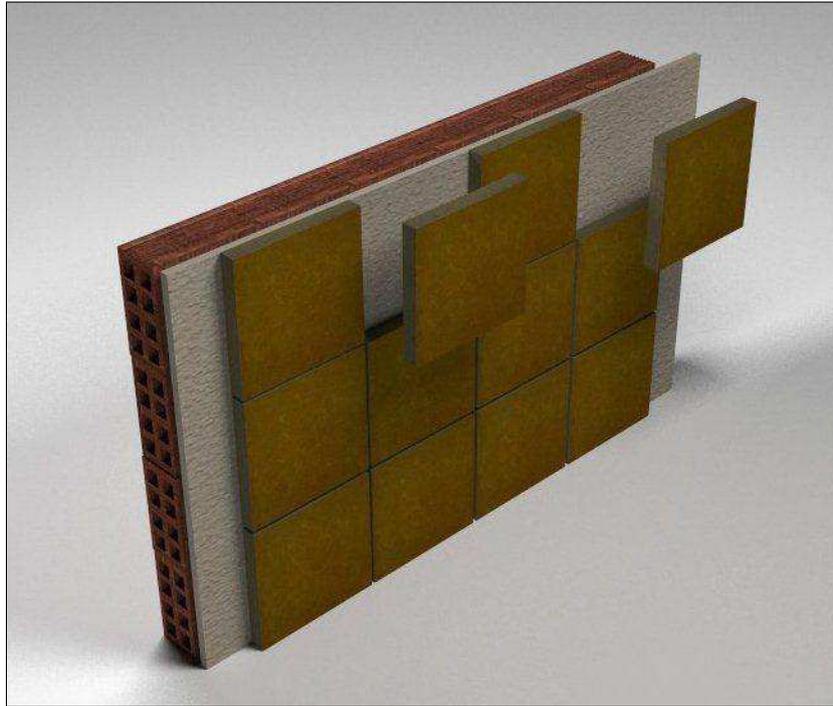


FIGURA 4.89: Parede com isolamento térmico formado pelas estruturas revestidas em uma face.

Para elaboração do forro, será proposto o uso de perfis de alumínio que darão suporte às placas, proporcionando o encaixe e junção dessas (Figura 4.90). Esses perfis deverão possuir arames, que serão presos a estrutura do telhado sustentando o forro.

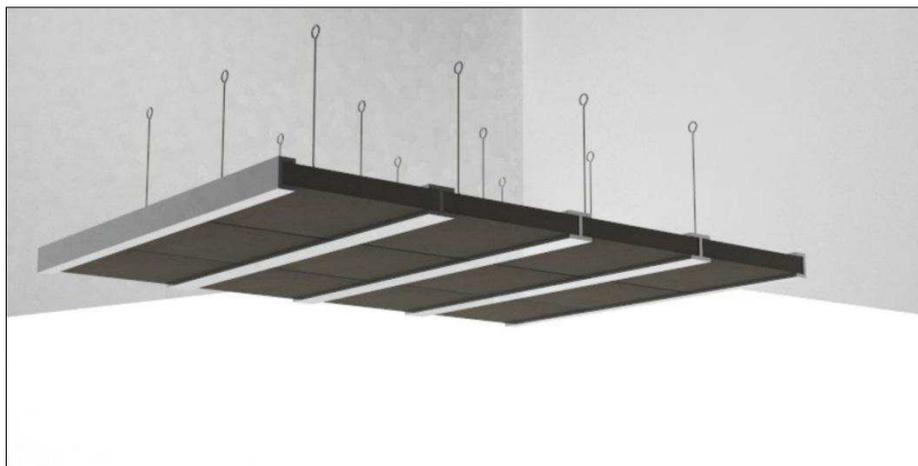


FIGURA 4.90: Forro formado pelas estruturas revestidas em uma face.

As placas revestidas em uma face foram mais eficientes como isolamento térmico perante as elaboradas em estrutura sanduíche; para essas últimas, também por

possuírem acabamento nas duas faces, foi sugerido o uso como elemento construtivo para formação de paredes divisórias.

4.6.2 – ESTRUTURAS SANDUÍCHE

Utilizando-se as estruturas sanduíche, é viável o desenvolvimento de elementos construtivos, também em forma de placas, com dimensões de 25 cm x 25 cm x 3,2 ou 3,3 cm, para serem usados na elaboração de paredes divisórias internas, também proporcionando isolamento térmico.

Como visto anteriormente, as placas com gesso em estrutura sanduíche têm maior capacidade de isolar termicamente, porém menor eficiência quanto a essa propriedade. As estruturas moldadas com cimento possuem maior resistência à flexão, apesar de menor eficiência quanto a essa propriedade, e menor capacidade de absorção. A escolha da estrutura sanduíche para a formação da parede divisória deverá ser feita de acordo com as necessidades de uso da mesma.

Como demonstrado em itens anteriores, ao ser utilizada a técnica B de moldagem, as placas terão as duas faces lisas, com bom acabamento final. Quando moldadas com a técnica A, as placas terão uma face lisa e outra rugosa, com diferentes características no acabamento.

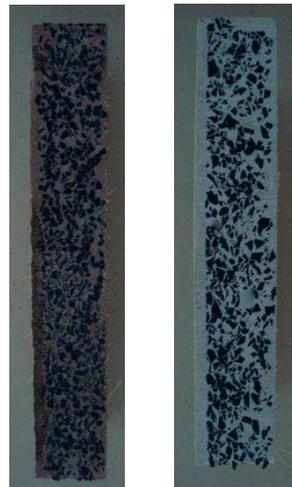


FIGURA 4.91: Vista lateral dos elementos construtivos, em forma de placas, desenvolvidos com estruturas sanduíche.

Como com as estruturas revestidas em uma face, também foram usados corantes artificiais nas estruturas sanduíche, para elaboração de placas coloridas, dispensando-se pinturas nas paredes divisórias formadas com essas placas (Figura 4.92).



FIGURA 4.92: Elementos construtivos coloridos, desenvolvidos com estruturas sanduíche.

Para construção da parede divisória interna, tal como para o forro, serão sugeridos perfis metálicos, que poderão ser fixados nas extremidades, nos quais se encaixarão as placas. Para uma melhor aderência entre essas placas, se faz necessário o uso de adesivos, colas ou argamassas (Figura 4.93).

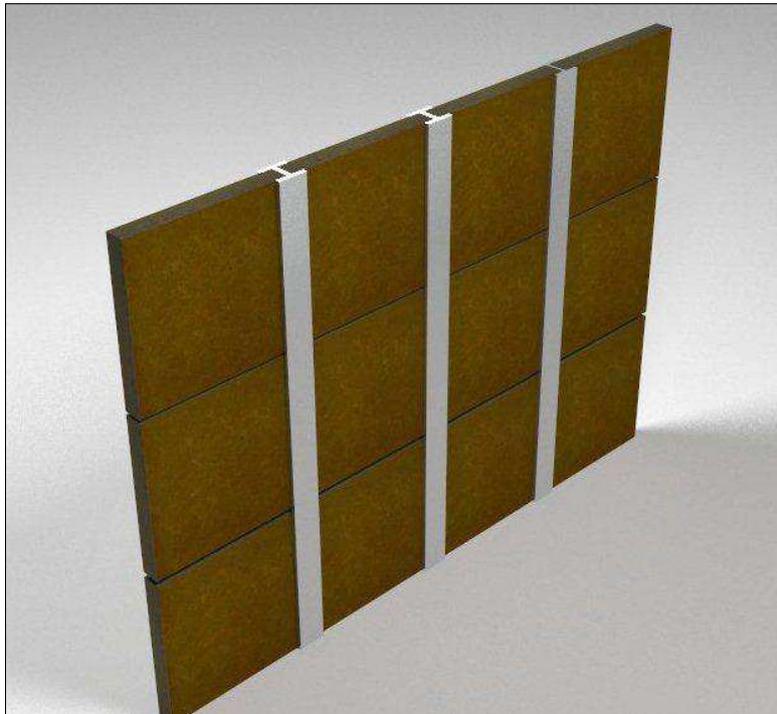


FIGURA 4.93: Parede divisória formada pelos elementos construtivos em estruturas sanduíche.

Todos os elementos construtivos sugeridos deverão ser usados na parte interna das construções, em locais distantes de umidade. Supõe-se que também possuam propriedades interessantes para serem utilizados como isolamentos acústicos e/ou eletromagnéticos, sendo necessários estudos posteriores.

Levando-se em conta a durabilidade dos elementos construtivos propostos, em relação ao compósito de revestimento formado por cimento e pozolanas, vários estudos já foram realizados, atestando seu bom desempenho. O mesmo aconteceu com os compósitos de cimento e SBR. No entanto, deverão ser feitas análises mais aprofundadas da durabilidade das estruturas elaboradas.

Devido ao preço relativamente elevado dos elementos construtivos destinados ao uso como isolamento térmico disponíveis no mercado, diante do fato dos produtos desenvolvidos no presente trabalho serem produzidos com resíduos, acredita-se que, sendo feita um estudo de custos, estes levarão vantagens, devido a esses aspectos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Através do estudo realizado, atendendo aos objetivos propostos, foi possível concluir que: compósitos com resíduos de SBR em matriz de cimento ou de gesso, revestidos com outros compósitos cimentícios, reforçados com fibras de sisal, podem ser utilizados na elaboração de estruturas destinadas ao desenvolvimento de elementos construtivos leves, que têm características de isolamento térmico.

Para cada etapa do trabalho experimental foram feitas conclusões:

Compósitos cimentícios reforçados com fibras de sisal

1 – Uma matriz cimentícia com reduzido teor de hidróxido de cálcio (0,16% da massa inicial) pôde ser produzida, substituindo-se 50% da massa do cimento por pozolanas existentes em nossa região (20% de resíduo cerâmico e 30% de metacaulinita comercial), possibilitando seu reforço por fibras de sisal.

2 – Quando reforçada com 2% de fibras de sisal curtas (25 – 30 mm), em massa, a matriz de cimento com reduzida quantidade de hidróxido de cálcio tornou-se um compósito com valores de tenacidade (0,81 J) e resistência à flexão (3,7 MPa) que permitiram seu uso como revestimento.

3 – Uma matriz de gesso reforçada por 2% de fibras curtas de sisal, em massa, também apresentou valores de tenacidade (1,1 J) e resistência à flexão (3,3 MPa) que viabilizaram seu uso como revestimento.

4 – Embora o compósito com gesso tenha apresentado maior tenacidade, o moldado com matriz de cimento e pozolanas foi mais eficiente quanto à resistência à flexão.

Compósitos formados por resíduos de SBR em matriz de cimento ou de gesso

5 - A incorporação de resíduo de SBR com granulometrias finas, na matriz de cimento, proporcionou baixos valores de resistência à compressão e à flexão, em compósitos com altos teores desse resíduo. Quando usadas granulometrias maiores do resíduo, os compósitos moldados com cimento, além de apresentarem maiores resistência à compressão e à flexão, ofereceram melhor trabalhabilidade. Dessa forma, não se fez necessário intensificar o processo de moagem do resíduo de SBR.

6 - O teor de água\cimento de 0,4 foi suficiente para proporcionar boa trabalhabilidade e hidratar o cimento durante a moldagem dos compósitos com resíduos de SBR com granulometrias maiores. Visando a aplicação de pressão de moldagem, teores mais altos foram descartados. Ao ser testado o fator de 0,3, não ocorreu a hidratação completa do cimento, apresentando condições de trabalhabilidade inferiores. O uso de superplastificante não modificou as características do cimento, no traço do compósito de cimento e SBR testado (1:1:0,3).

7 - Nos compósitos com resíduos de SBR, quanto menor o teor de incorporação desse resíduo, maior a resistência à compressão, à flexão e a densidade aparente, e, menor a capacidade de absorção. Os compósitos com maiores teores de incorporação de resíduos, moldados sem pressão, não apresentaram resultados favoráveis de resistência à flexão e capacidade de absorção, de acordo com os propósitos do trabalho.

8 - Ao ser aplicada pressão na moldagem de 0,16 MPa, ocorreu um aumento na resistência à flexão e na densidade dos compósitos com resíduos de SBR, ao mesmo tempo em que foi diminuída a capacidade de absorção e o índice de vazios. Essa pressão de moldagem foi suficiente para proporcionar incrementos apropriados. Todos os compósitos puderam ser considerados leves, de acordo com as recomendações observadas.

9 - Pressões de moldagem maiores que 0,16 MPa (0,4 e 0,8 MPa), provocaram expulsão de água com aglomerante do interior dos compósitos com SBR, causando desorganização na estrutura interna desses, proporcionando propriedades de qualidades inferiores aos moldados com a menor pressão. Esse fenômeno foi mais acentuado nos compósitos moldados com gesso.

10 - Quando utilizado cimento como aglomerante, nos compósitos com resíduos de SBR, os traços 1:1:0,4 e 1:0,5:0,4 atenderam aos requisitos do trabalho. Sendo gesso o aglomerante, os traços adequados foram 1:0,5:0,4 e 1:0,25:0,4. Os compósitos citados, moldados com pressão de 0,16 MPa, têm atributos suficientes para fazerem parte de estruturas leves, com fins de isolamento térmico.

11 – Ao ser avaliada a condutividade térmica dos compósitos que apresentaram propriedades físico-mecânicas adequadas aos propósitos do trabalho, foi verificado que, quanto maior o teor de resíduos de SBR, menor o valor da condutividade térmica. A aplicação de pressão de moldagem, de 0,16 MPa, elevou os valores dessa propriedade, mantendo-os baixos, semelhantes aos dos materiais utilizados como isolamentos térmicos, existentes no mercado.

Estruturas revestidas em uma face, formadas por resíduos de SBR em matriz de cimento ou de gesso e compósitos reforçados com fibras de sisal.

14 – Sendo utilizados compósitos cimentícios reforçados por fibras de sisal para revestir os compósitos com resíduos de SBR em uma face, a técnica que sugere que sejam moldados e prensados juntos, com pressão de 0,16 MPa, mostrou-se adequada, proporcionando boas características de acabamento e da interface entre os dois compósitos.

15 – Através da técnica de moldagem sugerida, parte da matriz dos compósitos com fibras de sisal, utilizados como revestimentos, penetrou nos vazios existentes no compósito com SBR, incrementando suas propriedades.

16 – O revestimento em uma face, dos compósitos com SBR, aumentaram a resistência à flexão e a tenacidade dos compósitos. A densidade aparente e a massa específica foram aumentadas, porém de acordo com as recomendações observadas, ainda puderam ser considerados leves.

17 – Após serem revestidos, o tipo de aglomerante utilizado e os teores de incorporação de resíduos, estatisticamente, não influenciaram de forma significativa, a tenacidade dos compósitos. Essa propriedade foi bastante incrementada com os revestimentos.

18 - A massa específica das estruturas revestidas em uma face não sofreu influência do teor de resíduos incorporados, apenas do tipo de aglomerante utilizado.

19 - A resistência à flexão dessas estruturas só foi influenciada pelo teor de resíduos de SBR. Quando moldadas com a mesma quantidade desses resíduos, as estruturas, independentemente do aglomerante ser cimento ou gesso, estatisticamente não apresentaram diferença significativa na resistência à flexão.

19 – A capacidade de absorção e o índice de vazios dos compósitos com cimento, após o revestimento em uma face, foram reduzidos, possuindo valores semelhantes. As estruturas com gesso tiveram essas propriedades aumentadas, tendo, também, valores semelhantes.

20 – As estruturas revestidas em uma face, quando moldadas com traço do compósito com SBR de 1:0,5:0,4, com cimento ou gesso, foram mais eficientes que as demais, segundo ROSSIGNOLLO (2003).

21 – As condutividades térmicas das estruturas revestidas em uma face foram semelhantes as dos elementos construtivos para isolamento térmico encontrados no mercado. Os valores observados, estatisticamente, não apresentaram diferenças significativas, levando-se em conta os teores de resíduo utilizados. As estruturas revestidas em uma face moldadas com gesso foram mais eficientes que as moldadas com cimento, em relação a essa propriedade.

Estruturas sanduíche, formadas por resíduos de SBR em matriz de cimento ou de gesso e compósitos reforçados com fibras de sisal.

22 - Foram sugeridas duas técnicas para moldagem de estruturas sanduíche (denominadas A e B), variando-se a forma e o tempo de prensagem, proporcionando diferenças nos acabamentos e nas características de interfaces entre o núcleo e os revestimentos. Com a primeira técnica (A) foram obtidas estruturas com características semelhantes nas interfaces, porém, faces com acabamentos diferentes. A segunda técnica (B) proporcionou acabamentos finais nas faces semelhantes, porém as interfaces apresentaram características diferentes.

23 – Em todas as estruturas, moldadas através das duas técnicas sugeridas, parte da matriz do primeiro revestimento penetrou no núcleo. Quando utilizada a técnica A de moldagem, ao ser feito o segundo revestimento, parte da matriz deste, também penetrou no núcleo. Com a técnica B, ao se revestir a segunda face, esse fenômeno foi mais discreto, proporcionando características diferentes na interface.

24 – Ao serem revestidos em duas faces através da técnica A, os compósitos com SBR apresentaram propriedades semelhantes estatisticamente. O teor de resíduos e o tipo de aglomerante não influenciaram de forma significativa a resistência à flexão, a tenacidade e a densidade aparente. O mesmo aconteceu quando moldados com a técnica B. Os incrementos observados nos compósitos devido aos revestimentos através da técnica de moldagem B foram inferiores aos provocados pela técnica A.

25 - A tenacidade foi estatisticamente semelhante, também independentemente da técnica de moldagem utilizada. Os valores de densidade aparente foram um pouco maiores quando se utilizou a técnica de moldagem B.

26 – Ao serem revestidos nas duas faces através da técnica B, os compósitos com SBR receberam maiores incrementos na resistência à flexão, quando incorporados maiores teores de resíduos (1:1:0,4 cimento:SBR e 1:0,5:0,4 gesso:SBR).

27 - Quanto à capacidade de absorção, para os compósitos com cimento, a técnica de moldagem B foi mais eficiente, reduzindo essa propriedade com mais intensidade que quando utilizada a técnica A. O mesmo aconteceu com o índice de vazios.

29 – As estruturas sanduíche elaboradas também apresentaram valores de condutividade térmica, semelhantes a elementos construtivos existentes no mercado, considerados como isolamentos térmicos. A diferença entre as técnicas de moldagem dessas estruturas não foi significativa para a condutividade térmica das mesmas. Apresentaram menor capacidade de isolamento térmico que as estruturas revestidas em uma face, ou sem revestimentos.

Sugestão de elementos construtivos

30 – Foram sugeridos elementos construtivos em forma de placas quadradas, revestidas em uma face, para serem utilizadas como revestimento térmico em paredes de alvenaria, ou na composição de forros que isolem termicamente. Para uso como forros, fez-se necessário o uso de perfis de alumínio para darem suporte e sustentação às placas.

31 – As estruturas sanduíche foram indicadas para o desenvolvimento, também, de placas quadradas, que serão utilizadas na construção de paredes divisórias

internas, com capacidade de isolar termicamente os ambientes. Também se faz necessário o uso de perfis de alumínio, para montagem e fixação.

32 – Todos os compósitos e estruturas elaboradas têm capacidade de serem sugeridos para o desenvolvimento de elementos construtivos leves, com características de isolamento térmico, resistência à flexão, tenacidade e capacidade de absorção, específicas, de acordo com as características de moldagem utilizadas. Conforme o uso a que se dispõe o elemento construtivo que se pretende desenvolver, deve-se utilizar critérios de escolha relacionados a essas características.

O presente estudo contribuiu para destinação adequada dos resíduos da indústria calçadista, agregando-o valor a este. Propôs novas perspectivas de investimentos, através do desenvolvimento de métodos alternativos de reaproveitamento da grande quantidade de resíduos que dispõem.

Também contribuiu para agregar valor ao resíduo das indústrias de cerâmica vermelha (telhas e tijolos) e à fibra de sisal.

CAPÍTULO 6

6.1 - TRABALHOS JÁ PUBLICADOS

6.1.1 - Capítulo de livro

DANTAS, C. P. ; LEAL, A. F. ; BARBOSA N. P. . PROPRIEDADES FÍSICO MECÂNICAS DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS LEVES COM RESÍDUOS DE CALÇADOS. In: Paula, M. O.; Tinôco, I. F. F.; Souza, C. F.; Baêta, F. C.. (Org.). Construções Rurais e Ambientes Protegidos: Inovações tecnológicas e ambiência na produção animal sustentável em condições de clima quente.. 1ed. VIÇOSA-MG: Ed. Universitária - UFV, 2013, v. 01, p. 245-249.

6.1.2 - Trabalho completo

DANTAS, C. P. ; LEAL, A. F. ; BARBOSA N. P. ; SILVA, C. G. . COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS LEVES COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CALÇADOS. In: CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2012, Joinville - SC. CBECIMAT, 2012.

6.1.3 – Aceito para periódico

DANTAS, C. P.; LEAL, A. F.; BARBOSA, N. P.; MARDEN, S. R. . LIGHT CEMENTITIOUS COMPOSITES WITH WASTES FROM THE FOOTWEAR INDUSTRY. In: NOCMAT – Non Convencional Materials, 2013, João Pessoa – PB. NOCMAT 2013.

6.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1 – Avaliação da durabilidade, das propriedades acústicas e eletromagnéticas das estruturas elaboradas nesse trabalho. Sugestão de formas de elementos construtivos. Estudo de custo. Viabilização da produção industrial

2 – Estudo de diferentes composições de granulometrias do resíduo da indústria calçadista, e teores de água\aglomerante adequados, para elaboração de compósitos cimentícios leves, destinados ao desenvolvimento de elementos construtivos para diversos fins. Avaliação de técnicas de produção.

3 – Estudo de diferentes materiais que possam ser utilizadas como revestimentos de compósitos com resíduo da indústria calçadista, proporcionando um melhor isolamento deste.

4 – Avaliação de diferentes tipos de matrizes que possam incorporar resíduos da indústria calçadista, na formação de compósitos leves.

CAPÍTULO 7**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

_____. *”Projeto de estruturas de concreto: procedimento”*. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2004

_____. *“Agregado em estado solto – determinação da massa unitária”*, NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982.

_____. *“Agregados - determinação da composição granulométrica”*, NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.

_____. *“Agregados leves para concreto isolante térmico”*. NBR 7213. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *“Argamassa e concreto endurecido: determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica”*, NBR 9778. Rio de Janeiro, 1987.

_____. *“Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto.”*, NBR 5739. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *“Materiais pozolânicos – determinação de atividade pozolânica com cimento portland – índice de atividade pozolânica com cimento”*, NBR 5752. Rio de Janeiro, 1992.

_____. *“Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto”*, NBR 5738. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *“Níveis de ruído para conforto acústico”*, NBR 10152. Rio de Janeiro, 1987.

_____. *“Resíduos sólidos”*, NBR 10004. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 15220-2. Rio de Janeiro, 2005

ACI 213R-87, *Guide for structural lightweight aggregate concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1: Materials and general Properties of Concrete*, 27 pp. (Detroit, Michigan, 1994).

ANJOS, M. R. O. dos. *“Avaliação de borrachas SBR utilizadas em solas de calçados de uso da Marinha do Brasil.”* Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2007.

ANJOS, M A. S. *“Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz.”* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, pp.346-349, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. Disponível em: <http://www.abramat.org.br> . Acessado em abril/2013

ADESPEC – ADESIVOS ESPECIAIS. Disponível em: <http://www.adespec.com.br>. Acessado em junho\2013.

AZIZ M. A., PARAMASIVAM P. and LEE S. L., *“Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction”*. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, V. 3, No 2. Singapura,1981.

BARBOSA, N. P. *“Considerações sobre materiais de construção convencionais e não convencionais”* - (2005).

BAUER L.A. F. *“Materiais de construção. Novos materiais para construção civil.”* Brasil: vol. 15ª Edição LCT, 1995.

BENICHÓU, N., SULTAN, M. A. *“Thermal properties of lightweight-framed construction components at elevated temperatures”*. Fire and Materials pp 165-179. 2005.

BEZERRA, A. J. V. *“Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA - etileno acetato de vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural”*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 2002. 115p.

BOABAID NETO, C. *“Transferência de Calor (tcl) - Isolamento Térmico - Volume II”* - Curso Técnico – módulo 2.” INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. Santa Catarina, 2009.

BRAZILIAN FIBRES. Disponível em www.brazilianfibres.com.br . Acessado em abril/2012

BRAZILIAN FOOTWARE. Brasil: fornecedor de calçados para o mercado internacional. Notícias. Disponível em: < <http://www.brazilianfootwear.com.br> . Acessado em abril/2012.

CAGED/MTE: Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/caged/> . Acessado em abril/2013

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. Disponível em: <http://www.cbic.org.br>. Acessado em abril/2013.

CAMÕES, A. “*Influência da presença de adições minerais no comportamento do betão fresco em composições com incorporação de superplastificante.*” Revista UM - Departamento de Engenharia Civil - Universidade do Minho, Portugal, Número 23, 2005.

CATAI, R. E.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F. “*Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico.*” 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – UTFPR. Foz do Iguaçu - PR, 2006. 12p.

CONSTRUPOR. Disponível em: <http://www.construpor.com> . Acessado em: abril/2012.

DE LARRARD, F. et al. (1997), “ The AFREM method for the mix-design of high performance concrete. *Materials and Structures*, v. 30, p. 439-446, Aug.-Sep.

FARIAS FILHO J. de, TOLEDO FILHO R. D. & LIMA P. R. L., *Efeito da argila calcinada sobre a durabilidade de argamassas reforçadas com fibras curtas de sisal* - Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.10, p.1109–1114, Campina Grande, 2010

FÁTIMA MOROSINE, WANDERLEY CONCÍLIO, HILDEBRANDO MARTINS DE OLIVEIRA JUNIOR, LUCIANO CORDEIRO DE ALBUQUERQUE, *Gestão ambiental dos resíduos sólidos industriais da São Paulo Alpargatas S.A de Campina Grande - Paraíba*, 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - Joinville - Santa Catarina - 14 a 19 de Setembro 2003

FECOMÉRCIO. Disponível em: <http://www.fecomercio.com.br> . Acessado em 12 março de 2013

FERREIRA NETO, M. F.; BERTOLI, S. R. “Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal”. Revista Ambiente Construído. Porto Alegre – RS. v. 10, n. 4, p. 169-180. 2010.

FORZA DO BRAZIL. Disponível em: <http://www.forzadobrasil.com> . Acessado em abril/2012.

FRANÇA P. X. N.; LEITE V. D.; PRASAD S. “Análise dos Impactos Socioambientais das Micro e Pequenas Indústrias de Calçados Instaladas na Cidade de Campina Grande.” Revista Econômica do Nordeste, v. 38, nº 3, jul-set. p 442-445, Fortaleza.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.. “Manual do Conforto Térmico”. São Paulo - Brasil - 5ª edição. Studio Nobel. 2001.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Disponível em: <http://portal.fgv.br> . Acessado em abril/2012.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. Disponível em: <http://www.vanzolini.org.br> . Acessado em junho\2013.

GAGLIARDO, D. P.; MASCIA, N. T. “Análise de estruturas sanduíche: parâmetros de projeto.” Revista Ambiente Construído, vol.10, n.4, pp. 247-258. 2010 .

GARAY, A. C.; SAMPERT, F.; MOREIRA, V.; SOUZA, J. A.; AMICO, S. C. “Avaliação de Diferentes Núcleos e Faces em Materiais Compósitos Sanduíche para Aplicações Marítimas”. Anais do 11º Congresso Brasileiro de Polímeros – Campos do Jordão, SP – 16 a 20 de outubro de 2011.

GARLET, G. & GREVEN, H. A. “Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria calçadista na construção civil.” Anais do Workshop sobre Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. ANTAC - PCC /USP, São Paulo, 1996

GARLET, G. “Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.” Dissertação (Mestrado) – UFRGS. Porto Alegre, 1998. 146p.

GONÇALVES, J. P., “*Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental e contendo argila calcinada e areia artificial*”. Tese (Doutorado) - PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

GUEDES, R. C. “*Projeto e construção de uma câmara reverberante em escala reduzida para a caracterização acústica de materiais absorventes*”. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará – Instituto tecnológico. Pará. 2007.

INDICADORES SRV. Disponível em: <http://www.indicadores.srv.br>. Acessado em abril/2013.

INFORMATIVO ECONÔMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL: DESEMPENHO E PERSPECTIVAS– Ministério do Trabalho e Emprego – Banco de Dados. Brasília - DF Dezembro/2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> . Acessado em abril/2013.

ISOESTE. Disponível em: <http://www.isoeste.com.br> . Acessado em abril/2012.

ISOREVEST. Disponível em: <http://www.isorevest.com.br> . Acessado em abril/2012.

JOHN, V. M. “*Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.*” Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000 113p.

KARSMIECZAK , C. S. KERN, A. P. SANTOS, . I. S. S. et al. “*Resíduos de contrafortes termoplásticos provenientes da indústria coureiro-calçadista*”. Coletânea Habitare, Utilização de resíduos na construção habitacional, v. 4. 2000. pp. 124-175

LABRINCHA J.; SAMAGAIO A., VICENTE R.; LEITÃO F., VICENTE J., TIAGO S. – “*Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro - Sub Projecto de Isolamento Térmico - 1º Relatório de Progresso*” - Universidade de Aveiro e AVEIRODOMUS – Aveiro Portugal. Março de 2006.

LEAL, A. F. “*Utilização de resíduos das indústrias de cerâmicas e de calçados na elaboração de materiais e produtos à base de cimento portland reforçados com fibras de sisal.*” Tese (Doutorado) - UFCG. Campina Grande, 2004. 128 p.

LIMA E TOLEDO FILHO, R.T. - “*Uso de metacaulinita para incremento da durabilidade de compósitos à base de cimento reforçados com fibras de sisal*”. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, 2008.

LIMA FILHO, M. R. F. – “*Avaliação do desempenho mecânico de protótipo executado com Blocos EVA: Estudo de impactos horizontais em alvenarias e suas interações com outros elementos da construção.*” Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB. 2008

LYRA, M. L. DE.- “*Blocos Intertravados de concreto com resíduos de copolímero de etileno-acetato de vinila – EVA - para pavimentação de calçadas e passeios públicos.*” Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa, 2007. 118p

MARQUES A., SILVA J., GASPAR C. “*Isolamento térmico e acústico*”. Universidade Fernando Pessoa – FCT. Portugal, 2010.

MARTERBLOCK . Disponível em: <http://www.masterblock.pt> . Acessado em abril/2012.

MASSAROTTO M., CRESPO J. S da., ZATTERA A. J., ZENI M. – “*Caracterização do pó de SBR-r a partir de resíduos de SBR provenientes da indústria calçadista*” - 17º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR.

MELO FILHO, J.A. “*Desenvolvimento e caracterização de laminados cimentícios reforçados com fibras longas de sisal*”. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ. 2005.

MELO FILHO, J.A., SILVA, F.A., TOLEDO FILHO, R.D., FAIRBAIRN, E.M.R. “*Effect of Reinforcement Ratio and Molding Pressure on the Mechanical Performance of Short Sisal FRC*”. In: 4th International Conference on Science and Technology of Composite Materials, Rio de Janeiro – RJ, 2007.

MELO, A. B.; LIMA FILHO, M. R. F. “*Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA* – Revista Ambiente Construído, v. 9, n. 4, p. 141-155. Porto Alegre, out./dez 2009

- MELO, N. R. F.; MORAIS, M. V. G. NUNES, M. A. A.; OLIVEIRA, A B. S. “*Construção de um tubo de impedância educacional – ensaios experimentais de caracterização vibro acústica*”. 2nd Pan-American and Iberian Meeting on Acoustics. Cancun, Mexico. 2010.
- MENDONÇA, P. T. R. “*Materiais Compostos & Estruturas-Sanduiche: projeto e análise*”. Manole. Barueri, SP: 2005.
- MOTTA, L. A. DE C.; AGOPYAN, V. JOHN, V. M. “*Caracterização de Fibras Curtas Empregadas na Construção Civil*”. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia de Construção Civil; BT/PCC/450. 23 p. São Paulo, 2007.
- MOURA, L. M.; LAMBERTS, R.; PHILIPPI, P. C. et al. “*Protótipo nacional de um equipamento para medição de condutividade térmica de materiais de construção.*” Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído.1993.
- MTE: Ministério do Trabalho. NR -15 Atividades e operações insalubres. 2008. 82 p.
- OLIVEIRA, M. P. de. “*Materiais compósitos "a base de Gesso contendo EVA (etileno acetato de vinila) e Vermiculita: otimização de misturas e propriedades termomecânicas*”. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa: 2009. 197p.:
- PAGLIUSO M. R. R. e FERREIRA O. P. “*Argamassa com partículas de borracha derivada da reciclagem de pneus inservíveis*” — 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa – Portugal. 18 e 19 de Março de 2010.
- PIMENTEL, U. H. O. “*Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas geometrias – Bloco EVANG.*” - Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2005. 139p
- POLARI FILHO, R. S – “*Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: Bloco EVA - uma alternativa às alvenarias das construções.*” - Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2005. 88p

POLARI FILHO, R. S.; MÉLO, A. B. ; BARBOSA, N. P. “*A reciclagem de resíduos da indústria de calçados (EVA) na execução de painéis de vedação na construção civil: avaliação de desempenho.*” II Encontro Temático Meio Ambiente E Educação Ambiental - João Pessoa, 9 a 11 de junho de 2003.

PORTAL BRASIL - Disponível em www.brasil.gov.br . Acessado em novembro de 2012.

RAMOS, J. “*Alternativas para o projeto ecológico de produtos*”. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2001.

RIOS F. R. A., SILVA V. R. DA, SOARES E. A., LEAL A. F., NASCIMENTO J. W. B. do. “*Incorporação do sbr na confecção de compósitos de matriz cimentícia*” - Revista Educação Agrícola Superior - v.24, n.1, p.13-19, 2009.

RIOS, F. R. A. “*Incorporação de resíduos de calçados (SBR) na produção de compósitos leves*”. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008. 71p

ROCHA J. C.; CHERIAF M. “*Aproveitamento de resíduos na construção*”.- Porto Alegre, ANTAC, Coletânea Habitare - vol. 4 - 272p. 2003.-

ROCHA, F. M. D. de – “*Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: Bloco EVA - Intertravamento e racionalização das alvenarias*” - Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa, 107p. 2008.

ROLIM A. M. A “*Reciclagem de Resíduos de EVA da Indústria Calçadista*”.- Anais do V Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. São Paulo, 17 a 19 de nov., 1999.

ROSSIGNOLO, J.A.. “*Concreto leve de alto desempenho modificado com SBR para pré-fabricados esbeltos. Dosagem, Produção, Propriedades e Microestrutura*”. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 211p. 2003.

SANTIAGO, E. Q. R. “*Utilização de agregados de EVA e RCD para a obtenção de concretos leves*”. Dissertação (Mestrado). Ciências em Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2008. 168 f.

SANTOS, W. N. dos. “*Métodos transientes de troca de calor na determinação das propriedades térmicas de materiais cerâmicos: II - o método do fio quente*” Revista Cerâmica - Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de S. Carlos, SP. 2005. pp 371-380.

SERRANO, C. L. R. “*Uso do Resíduo de SBR proveniente da Indústria de Calçados em composições de SBR*”. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA I. F. “*Viabilidade de aplicação do resíduo sólido polimérico (sbr) da indústria calçadista na confecção de elementos construtivos*”. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 138p. 2012.

SILVA, F. A. “*Durabilidade e propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados por fibras de sisal*” Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE. Rio de Janeiro. 254p. 2009.

SILVA, F. A.; MELO FILHO, J. A.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. “*Mechanical behavior and durability of compression moulded sisal fiber cement mortar laminates (SFCML)*”. 1st International RILEM Conference on Textile Reinforced Concrete (ICTRC), pp. 171-180, Aachen, Germany., 2006a.

SILVA, F.A.; TOLEDO FILHO, R.D.; FAIRBAIRN E.M.R. “*Accelerated aging characteristics of sisal fiber-cement based composites made with a CH free cementitious matrix*”. Brazilian Conference Non-Conventional Materials and Technologies in Ecological and Sustainable Construction – Brasil Nocmat, 2006b.

SILVA, P. E. “*Incorporação de resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Vinil Acetato) em tijolos prensados de terra crua.*”. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande. 81p. 2003.

SOARES A. E.; LEAL A. F.; CARDOSO J. A. F.. “*Argamassas leves produzidas com resíduos de calçados e de cerâmicas*” – Universidade Federal de Campina grande, Relatório final PIBIC / CNPQ / UFCG, 2008.

SOARES FILHO, R. P.; MELO, A. B.; FEITOZA, M. M.; et al. “*Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: Bloco EVA, uma alvenaria alternativa às alvenarias das construções*” 47º Congresso Brasileiro do Concreto. Recife- PE. 2005.

SUDENE. Disponível em <http://www.sudene.gov.br> . Acessado em Abril/2012.

TOLEDO FILHO R. D., ENGLAND G. L. e GHAVAMI K. “*Comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras naturais. Relação tensão-deformação experimental e processo de fratura*” - Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. I, p.79-88. Campina Grande,1997.

TOLÊDO FILHO, R. D. “*Natural fibre reinforced mortar composites: experimental characterisation*” Tese (Doutorado) - DECPUC-Rio / DEC Imperial College, Rio de Janeiro, 1997.

TOLEDO FILHO, R.D., SCRIVENER, K., ENGLAND, G.L., GHAVAMI, K. “*Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites*”, Cement and Concrete Composites, v. 22, pp. 127-143. 2000.

TOLEDO FILHO, R.D., SILVA, F.A., FAIRBAIRN, E.M.R., MELO FILHO, J.A., , “*Durability of Compression Molded Sisal Fiber Reinforced Mortar*”. Construction & Building Materials, v 23, , Pages 2409–2420. 2009.

TOLEDO FILHO, R.D.; GHAVAMI, K.; ENGLAND, G.L.; SCRIVENER, K. “*Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability*”, Cement and Concrete Composites, V. 25, pp. 185-196. 2003,

VALOR SETORIAL - CONSTRUÇÃO CIVIL/setembro/2011 – Disponível em: <http://www.valoronline.com.br> . Acessado em abril/2012.

VIEIRA, de A., J., R. “*Desenvolvimento de painéis confeccionados a partir de fibras de coco para controle acústico de recintos*” Dissertação (Mestrado) – Instituto de Tecnologia – Universidade Federal do Pará. 264p. 2008.

WATANABE, L. T. Reportagem em *Téchne* 111 - junho de 2006

ZATTERA, A. J.; BIANCHI, O.; ZENI, M.; FERREIRA, C.A. “*Caracterização de Resíduos de Copolímeros de Etileno-Acetato de Vinila – EVA.*” Artigo Técnico Científico. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 15, nº 1. USC. p. 73-78. jan. 2005.