



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

ESTUDO DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PÁS EÓLICAS APLICADAS AO BETÃO

Tiago Pinto Lima

Dissertação

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Trabalho Efetuado sob a orientação de

Prof. Doutor Serafim Paulo Melo de Oliveira

Prof. Doutor Antonio Manuel Figueiredo Freitas de Oliveira

Fevereiro 2025



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

ESTUDO DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PÁS EÓLICAS APLICADAS AO BETÃO

Tiago Pinto Lima

Dissertação

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Trabalho Efetuado sob a orientação de

Prof. Doutor Serafim Paulo Melo de Oliveira

Prof. Doutor António Manuel Figueiredo Freitas de Oliveira

Fevereiro 2025

AGRADECIMENTOS

Em primeira mão gostaria de agradecer a Deus por estar concluindo mais esta etapa do meu circuito acadêmico, a orientação vinda Dele para iniciar este curso chegou num momento exato, num momento bastante delicado da vida de um imigrante, por isso toda a honra e glória é para Ele.

Gostaria de agradecer minha família que está no Brasil pelo apoio e incentivo, bem como agradecer minha esposa Karoline Lima e nossa fiel escudeira Bianca Melo no suporte em todos os momentos desse processo.

Agradeço a minha empresa Siemens Gamesa em Oliveira de Frades, pelo fornecimento do material para pesquisa, na pessoa Eng.º Carlos Ferreira da Silva, Eng.ª Ana Fernandes e Eng.º Carlos Atienza Torres.

Aos meus orientadores Eng.º Serafim Oliveira e Eng.º Antonio Oliveira pela dedicação, orientação e paciência durante o processo de construção deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos ao Eng.º Isaías Inácio e Técnico Marco Vinhanova pelo suporte no laboratório da Escola e orientação para o desenvolvimento dos experimentos, bem como aos Eng.º Carlos Almeida e Eng.º Luis Santos da empresa ACC-Almeida Cunha & Chaves, que permitiram a realização dos ensaios.

Em suma, externo meu agradecimento a todos que de alguma forma contribuíram para que cada detalhe fosse alcançado, que Deus a todos abençoe

RESUMO

Atualmente existe uma tendência de mercado que conduz a um apelo, dentro das organizações, para a utilização de conceitos sustentáveis, equilibrando a aplicação do conceito com a redução da despesa financeira para destino de subprodutos e ainda, se houver a possibilidade, gerar riqueza a partir desses.

Pretendeu-se dar contribuições para a área de estudo do uso do betão experimental com a incorporação de pó de polímero/vidro como resíduo, em substituição ao agregado fino (Areia 1) com o objetivo de analisar os efeitos da adição de pó rico em fibra de vidro impregnado com resina curada (subproduto) a uma formulação de betão, e, deste modo, aferir a viabilidade do aproveitamento desse pó.

O pó de polímero/vidro obtido neste estudo, é resultado do processo de maquinação de *root* de pás eólicas pela empresa Siemens Gamesa Renewable Energy, localizada em Oliveira de Frades, após o processo de maquinação.

A metodologia adotada para este trabalho foram ensaios no betão em estado fresco e endurecido, com a incorporação do pó de polímero/vidro no betão com taxas de 20%, 50% e 100%, e realizando-se uma análise comparativa entre o betão convencional e o betão com a incorporação destes resíduos.

O pó de polímero/vidro utilizado neste estudo pode ter a sua utilização viabilizada, porém obriga a mais estudos e ensaios. A premissa inicial deste estudo tratava-se de verificar o comportamento da resistência do betão experimental, uma vez que, com a substituição de um inerte pelo pó de polímero/vidro já era sabido que a tendência seria de redução. Hipótese que foi confirmada, uma vez que o aumento das taxas de incorporação, a níveis de BT-Pó 20%, BT-Pó 50% e BT-Pó 100% demonstraram que a resistência do betão foi inferior ao convencional.

Neste estudo, foi realizado outros ensaios além dos de resistência. Verificou-se o comportamento do betão no estado fresco, com a realização de ensaios para análise de absorção por capilaridade e imersão e, também o ensaio de abaixamento das amassaduras nas proporções supra-citadas. Constata-se que a incorporação de resíduos no betão conduz a uma perda de trabalhabilidade quando comparado com o betão convencional, e quanto maior a taxa de incorporação do resíduo menor a trabalhabilidade, demonstrando que a eficácia desta prática, depende da seleção cuidadosa de resíduos e das quantidades corretas adicionadas à mistura.

PALAVRAS CHAVE: Betão; Pó de Vidro; Resíduos; Sustentabilidade

ABSTRACT

Currently there is a market trend that leads to a call, within organizations, for the use of sustainable concepts, balancing the application of the concept with the reduction of financial expenses for the disposal of by-products and, if possible, generating wealth from these.

The aim was to make contributions to the study area of the use of experimental concrete with the incorporation of polymer/glass powder as residue, replacing fine aggregate (Sand 1) with the aim of analyzing the effects of adding fiberglass-rich powder impregnated with cured resin (by-product) to a concrete formulation, and, in this way, assessing the feasibility of using this powder.

The methodology adopted for this work was testing on fresh and hardened concrete, with the incorporation of polymer/glass powder into the concrete at rates of 20%, 50% and 100%, and carrying out a comparative analysis between conventional concrete and concrete with the incorporation of these residues.

The polymer/glass powder used in this study may be able to be used, but it requires further studies and tests. The initial premise of this study was to verify the resistance behavior of experimental concrete, since, with the replacement of an inert material with polymer/glass powder, it was already known that the tendency would be to reduce. Hypothesis that was confirmed, since the increase in incorporation rates, at levels of BT-Pó 20%, BT-Pó 50% and BT-Pó 100% demonstrated that the concrete's resistance was lower than conventional.

In this study, other tests were carried out in addition to resistance tests. The behavior of the concrete in the fresh state was verified, with tests carried out to analyze absorption by capillarity and immersion and the test to reduce the mixing in the proportions mentioned above. It appears that the incorporation of waste into concrete leads to a loss of workability when compared to conventional concrete, and the higher the waste incorporation rate, the lower the workability, demonstrating that the effectiveness of this practice depends on the careful selection of waste and the correct quantities added to the mix.

KEY WORDS: Concrete; Glass Powder; Waste; Sustainability

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABELAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	XVI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos do Trabalho.....	1
1.3 Estrutura da Dissertação.....	2
2. ESTADO DA ARTE.....	3
2.1. Introdução.....	3
2.2 Setor Eólico em Portugal.....	6
2.3 Gestão e Fluxo de Resíduos.....	9
2.3.1 Custos de Gestão de Resíduos.....	10
2.3.2 Reciclagem de Pás de Rotor de Aerogeradores Eólicos.....	11
2.3.3 Reutilização de Resíduos Industriais e da Construção e Demolição.....	13
2.4 Betões com Incorporação de Resíduos.....	13
2.4.1 Betão Leve.....	14
2.4.2 Resíduos de Pó Polímero/Vidro.....	16
2.4.3 Pó Polímero/Vidro como Agregado.....	17
2.5 Síntese do Capítulo.....	18
3. METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	19
3.1 Introdução.....	19
3.2 Agregados.....	19
3.2.1 Introdução.....	19
3.2.2 Classificação dos Agregados.....	20
3.3 Caracterização Laboratorial dos Agregados.....	20

3.3.1	Introdução	20
3.3.2	Análise Granulométrica e Módulo de Fissura (7)	20
3.3.3	Índice de Achatamento (FI)	22
3.3.4	Índice de Forma (SI)	23
3.3.5	Equivalente de Areia (SE).....	23
3.3.6	Massa Volúmica (Prd)	24
3.3.7	Baridade e Volume de Vazios (Pb).....	25
3.4	Água	25
3.5	Cimento.....	25
3.6	Caracterização do Resíduo: Pó de Compósito Polimérico Reforçado com Fibra Vidro	26
3.6.1	Processo de Fabrico de Pá Eólica	26
3.6.2	Análise Granulométrica do Resíduo	30
3.7	Síntese do Capítulo	34
4.	CAMPANHA EXPERIMENTAL	37
4.1	Introdução	37
4.2	Preparação da Campanha Experimental	37
4.3	Ensaio do Betão Fresco	39
4.3.1	Ensaio de Abaixamento	40
4.3.2	Massa Volúmica.....	40
4.3.3	Teor de Ar no Betão – Método Pressiométrico.....	40
4.4	Ensaio do Betão Endurecido	41
4.4.1	Massa Volúmica.....	42
4.4.2	Resistência à Compressão	43
4.4.3	Resistência à Tração por Compressão Diametral	45
4.4.4	Absorção de Água por Capilaridade	46
4.4.5	Absorção de Água por Imersão.....	47
4.5	Estudo Externo.....	48
4.5.1	Amassadura em Betoneira Fixa	48

4.5.2 Características das Amassaduras	49
4.6 Síntese do Capítulo	52
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	53
5.1 Análise das Curvas Granulométricas	53
5.2 Ensaio do Betão Fresco	57
5.2.1 Ensaio de Abaixamento	57
5.2.2 Determinação da Massa Volúmica	58
5.2.3 Determinação do Teor de Ar no Betão - Método Pressiométrico.....	59
5.3 Ensaio do Betão Endurecido	60
5.3.1 Determinação da Massa Volúmica	61
5.3.2 Ensaio de Resistência à Compressão	61
5.3.3 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	63
5.3.4 Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade	63
5.3.5 Ensaio de Absorção de Água por Imersão	64
5.4 Ensaio Betoneira Fixa/Lâminas.....	64
5.5 Síntese do Capítulo	67
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	73
6.1 Conclusões	73
6.2 Desenvolvimentos Futuros.....	75
APÊNDICES.....	81
APÊNDICE A - Análise Granulométrica do Resíduo	82
APÊNDICE B - Ensaio de Abaixamento do Betão Fresco.....	83
APÊNDICE C - Ensaio de Massa Volúmica - Betão Fresco.....	84
APÊNDICE D - Massa Volúmica do Betão Endurecido	85
APÊNDICE E - Resistência à Compressão Dos Provetes - Betão Endurecido	87
APÊNDICE F - Resistência à Tração por Compressão Diametral de Provetos - Betão Endurecido	88
APÊNDICE G - Determinação de Água por Capilaridade - Betão Endurecido.....	89
APÊNDICE H - Determinação de Água por Imersão.....	92

APÊNDICE I - Análise Granulométrica Areão - Betoneira Fixa/Lâminas	94
APÊNDICE J - Análise Granulométrica Areia Lavada - Betoneira Fixa/Lâminas	95
APÊNDICE K - Análise Granulométrica Brita - Betoneira Fixa/Lâminas	96

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Análise Granulométrica - Método Peneiração (NP EN 933-1)	21
Tabela 2 - Módulo de Finura.....	21
Tabela 3 - Especificação do Fabricante da Fibra de Vidro	28
Tabela 4 - Especificações Técnicas da Fibra e Resina.....	29
Tabela 5 - Especificações de Cura	29
Tabela 6 - Análise Granulométrica do Pó Polímero/ vidro.....	31
Tabela 7 - Ensaio Determinação da Densidade e Baridade	32
Tabela 8 - Tipo de Betão Analisado.....	33
Tabela 9 - Composição das Amassaduras	34
Tabela 10 - Quantidade de Betão Produzido (m ³)	34
Tabela 11 - Ensaio Realizados e Provetes Utilizadas.....	38
Tabela 12 - Data das Amassaduras	39
Tabela 13 - Ensaio do Betão Endurecido	42
Tabela 14 - Quantidade de Agregados (Kg) - Betão Convencional Amassadura 1.....	50
Tabela 15 - Quantidade de Agregados (Kg) – Betão Com Resíduos Ensaio 1.....	50
Tabela 16 - Quantidade de Agregados (Kg) - Betão Convencional Composição 2	51
Tabela 17 - Quantidade de Agregados (Kg) - Betão Com Resíduos Composição 2	51
Tabela 18 - Quantidade de Betão Produzido (m ³)	51
Tabela 19 - Análise Granulométrica Areão Método de Peneiração NP EN 933-1.....	55
Tabela 20 - Análise Granulométrica Areia Lavada Método de Peneiração NP EN 933-1	55
Tabela 21 - Análise Granulométrica da Brita Método de Peneiração NP EN 933-1	56
Tabela 22 - Resultados do Ensaio do Abaixamento	57
Tabela 23 - Resultados da Massa Volúmica do Betão em Estado Fresco	58
Tabela 24 - Teor de Ar (%).....	59
Tabela 25 - Massa Volúmica em Valores Médios no Betão em Estado Endurecido.....	61
Tabela 26 - Resistência à Compressão do Betão	62
Tabela 27 - Resistência à Tração por Compressão Diametral	63
Tabela 28 – Absorção de Água por Capilaridade (g/mm ²).....	63
Tabela 29 - Absorção de Água por Imersão	64
Tabela 30 – Resistência à Compressão dos Betões de ACC.....	64
Tabela 31 - Resultados Ensaio 28 Dias Cubo	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Ensaio em Betão Fresco e Respetiva Normalização.....	4
Figura 2 - Ensaio em Betão Endurecido e Respetiva Normalização.....	5
Figura 3 - Ensaio de Durabilidade do Betão e Métodos Sugeridos.....	5
Figura 4 - Ilustração dos Parques Eólicos Distribuídos em Portugal.....	7
Figura 5 - Capacidade Instalada por Distrito Portugal.....	7
Figura 6 - Idade dos Parques Eólicos Europeus.....	8
Figura 7 - Resíduos Recicladados Por Peso.....	11
Figura 8 - Classificação Agregados Leves.....	15
Figura 9 - Curva Granulométrica dos Agregados	22
Figura 10 - Estrutura de uma Pá Eólica	26
Figura 11 - Plano de Fabrico Pá Eólica C741207	27
Figura 12 - Designação Biaxial da Fibra de vidro	28
Figura 13 - Processo interno da SGRE - Maquinação de Root.....	30
Figura 14 - Curva Granulométrica do Pó de Polímero/Vidro	31
Figura 15 - Análise da Densidade do Pó de Polímero/Vidro	32
Figura 16 – Comparação Granulométrica Areia A1 e Pó de Polímero Vidro	33
Figura 17 - Provetes Cúbicos e Cilíndricos	38
Figura 18 - Betoneira Gravitacional.....	39
Figura 19 - Equipamento para Medição do Teor de Ar	41
Figura 10 - Pesagem Hidrostática	43
Figura 21 - Proвете Cúbico na Estufa Ventilada.....	43
Figura 22 - Ensaio de Compressão de um Proвете Cilíndrico	44
Figura 23 - Ensaio de Compressão de um Proвете Cúbico.....	44
Figura 24 - Esquema de Ensaio por Tração Diametral	45
Figura 25 - Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade em Provetes Cúbicos.....	46
Figura 26 - Ensaio de Absorção de Água por Imersão Provetes Cúbicos e Cilíndricos.....	47

Figura 27 - Betoneira Fixa	48
Figura 28 - Betão Incorporado de Resíduos - Betoneira Fixa.....	49
Figura 29 – Cubos de Betão.....	49
Figura 30 - Curvas Granulométricas Comparativo Lourenço (2016) x ACC - NP EN 933-1.....	56
Figura 31 - Mistura não Homogênea Dentro da Betoneira.....	58
Figura 32 - Ensaio Massa Volúmica	59
Figura 33 - Ensaio de Teor de Ar no Betão Fresco.....	60
Figura 34 - Massa do Provede 7 Dias	65
Figura 35 - Comparativo Provede Cubo Ensaio de 7 Dias	65
Figura 36 - Massa do Provede aos 28 Dias.....	66
Figura 37 - Comparativo Cubo Ensaio de 28 Dias	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BT - Betão Referência

BT - Pó 20 - Resíduo Industrial 20%

BT - Pó 50 - Resíduo Industrial 50%

BT - Pó 100 - Resíduo Industrial 100%

DL - Decreto Lei

CE - Conselho Europeu

ESTGV - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

IPF - Instrucción de Proceso de Fabricación

IPV- Instituto Politécnico de Viseu

PESGRI - Plano Estratégico dos Resíduos Industriais

RCD - Resíduos da Construção e Demolição

RGGR - Regime Geral de Gestão de Resíduos

RINDUST - Betão com Resíduo Industrial

SGRE - Siemens Gamesa Renewable Energy

UE - União Europeia

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Atualmente existe uma tendência de mercado que conduz a um apelo, dentro das organizações, para a utilização de conceitos sustentáveis, equilibrando a aplicação do conceito com a redução da despesa financeira para destino de subprodutos e ainda, se houver a possibilidade, gerar riqueza a partir desses.

Segundo Chen et al. (2021), a fibra de vidro é a mais utilizada de entre as diferentes fibras, oferece grande potencial para reforço de betão devido ao seu baixo peso específico, baixa absorção de água, alto módulo de elasticidade e alta resistência à tração, o que poderá tornar-se uma tendência onde o custo benefício será considerável.

Partindo da popularidade da utilização das fibras de vidro incorporadas no betão, irá realizar-se um estudo onde, a partir de amostras de resíduos de fabricação de pás eólicas (fibra impregnada com resina), serão gerados provetes de betão, em que na sua composição é adicionado pó (de mistura polímero/fibra de vidro), em diferentes proporções e em substituição de um dos seus agregados, de modo a avaliar as propriedades destes compósitos e a possibilidade de uso do betão.

1.2 Objetivos do Trabalho

Este trabalho destina-se à aplicação dos conceitos de sustentabilidade e reorientação de subprodutos gerados na empresa Siemens Gamesa Renewable Energy (SGRE), a fim de desenvolver boas práticas no reaproveitamento dos resíduos da fabricação de pás eólicas.

Neste sentido pretende-se analisar os efeitos da adição de pó rico em fibra de vidro impregnado com resina curada (subproduto) a uma formulação de betão, com o intuito de testar e

verificar o comportamento das misturas resultantes, e, deste modo, aferir a viabilidade do aproveitamento desse pó.

O estudo envolveu a produção de amassaduras utilizando betão (BT) da classe C30/37 e agregados tradicionais, ou seja, que correntemente são utilizados nas composições convencionais e a partir de então, realizar a substituição do agregado fino (Areia A1) pelo resíduo industrial, pó de fibra de vidro. O betão com a incorporação do pó de fibra de vidro é denominado BT-Pó.

A substituição do agregado fino (Areia A1) foi realizado em percentagens de 20%, 50% e 100%, os quais foram nomeados BT - Pó 20%, BT - Pó 50% e BT - Pó 100%, respectivamente. De forma a assegurar que os betões produzidos pudessem ser comparados entre si, os mesmos apresentaram a mesma composição volumétrica e a mesma curva granulométrica.

Para a concretização dos objetivos foi estabelecida uma campanha experimental que envolveu a caracterização experimental dos agregados constituintes das misturas de betão, através de ensaios normalizados e a realização de ensaios experimentais ao betão fresco e ao betão endurecido, para assim se poder estudar e comparar as características mecânicas e físicas dos diversos betões. Em suma, pretende-se reutilizar os resíduos, incorporando-os como substitutos parciais dos agregados finos que compõem o betão convencional.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em 7 capítulos, são eles:

Capítulo 1 - Apresentam-se os objetivos deste trabalho;

Capítulo 2 - Apresenta-se uma revisão de literatura do setor eólico de Portugal, e o levantamento bibliográfico do uso de resíduos industriais incorporados no betão;

Capítulo 3 - Definem-se as composições e cálculos, dos agregados; Caracteriza-se o resíduo industrial, pó de vidro, e efetuam-se os ensaios para avaliar o uso do resíduo no betão;

Capítulo 4 - Apresenta-se a campanha experimental parte 1 - realizada com a betoneira gravitacional e parte 2 - realizada com o uso da betoneira fixa;

Capítulo 5 - Apresentam-se os resultados dos ensaios realizados na campanha experimental com a betoneira gravitacional para o betão fresco e endurecido; e os resultados para a campanha experimental com a betoneira fixa/lâminas.

Capítulo 6 - Último capítulo desta dissertação apresentam-se as conclusões do estudo bem como as recomendações futuras.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Introdução

O ramo da construção civil tem demonstrado ao longo dos anos, a necessidade de encontrar materiais sustentáveis e econômicos para serem utilizados no setor. O uso do betão em construções é prática comum, e possui um peso relevante em edificações, no entanto a necessidade de práticas mais sustentáveis, pressionam que sua composição e fabricação evoluam.

A mistura de cimento, agregados finos (areias), agregados grossos (britas) e água, nas devidas proporções, permitem a elaboração de um betão a ser utilizado, na parte estrutural de edifícios, também como revestimento, em guardas e em viadutos. Na mistura também podem ser adicionados adjuvantes e adições que visam melhorar o seu desempenho (Ferreira, 2000).

Importante ressaltar que os adjuvantes são materiais incorporados no betão, limitado a pequenas quantidades, não excedendo 5% em relação à massa do teor de cimento do betão no processo de amassadura. Utilizado desta forma, não ocorre a alteração das propriedades do betão, como: aumento da resistência à compressão, redução de permeabilidade, manutenção da consistência e redução da razão água/cimento (A/C) (relação entre a quantidade de água em litros e de cimento em quilogramas).

De acordo com a NP EN 206-1: 2007 “Betão Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade”, os adjuvantes são adicionados durante o processo de amassadura, podendo ser classificadas em adições tipo I, que se refere a materiais quimicamente inertes, e adições tipo II, materiais quimicamente reativos.

As adições, agrupam-se habitualmente em três categorias:

- Ambientais: possibilitando a redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂), esta redução permite a utilização de subprodutos, pois o dispêndio de energia é menor.
- Económicos: redução dos custos de produção de betão;
- Tecnológicos: melhoria no desempenho do betão nos processos de utilização a longo prazo.

De acordo com a norma NP EN 203-1:2007 “Especificação, desempenho, produção e conformidade” o betão normal tem uma composição determinada de acordo com o tipo de construção onde será utilizado, para que assim se tenha conformidade e segurança no uso.

Segundo Lourenço (2016), o betão é comumente conhecido pela sua resistência à compressão e durabilidade, sendo que nesta última característica é importante ressaltar que seu uso está atrelado ao desempenho do betão quando exposto a algumas condições ambientais.

No estado fresco, o betão precisa de ter consistência adequada que possibilite o seu transporte de forma eficiente. A trabalhabilidade do betão é caracterizada pela fluidez e pela coesão. A fluidez determina a maior ou menor facilidade de realizar a amassadura, já a coesão descreve a resistência à segregação, ou seja, a tendência dos materiais agregados se separarem da pasta de cimento (Lourenço, 2016).

O principal objetivo de se realizarem testes no betão fresco, é o de avaliar as propriedades que são importantes para uma aplicação em obra, como por exemplo: - consistência, massa volúmica, e o teor de ar encontrado no betão fresco (Brito, 2009).

A Figura 1 mostra o conjunto de ensaios comumente realizados em betões no estado fresco e a sua normalização.

Ensaio	Métodos de ensaio
Amostragem	NP EM 12350-1 : 2009
Ensaio de Abaixamento	NP EM 12350-2 : 2009
Ensaio de Vêbé	NP EM 12350-3 : 2009
Grau de Compactabilidade	NP EM 12350-4 : 2009
Ensaio da Mesa de Espalhamento	NP EM 12350-5 : 2009
Massa Volúmica	NP EM 12350-6 : 2009
Determinação do teor de ar - Modo pressiométrico	NP EM 12350-7 : 2009
Betões auto - compactáveis - espalhamento	NP EM 12350-8 : 2009
Betões auto - compactáveis - escoamento no funil V	NP EM 12350-9 : 2009
Betões auto - compactáveis - espalhamento na caixa L	NP EM 12350-10 : 2009
Betões auto - compactáveis - resistência a segregação	NP EM 12350-11 : 2009
Betões auto - compactáveis - espalhamento com anel J	NP EM 12350-12 : 2010
Exsudação do betão	ASTM C232-2009
Ensaio de deslize *	Procedimento Interno
*Ensaio realizado com base num procedimento interno do laboratório	

Figura 1 - Ensaios em Betão Fresco e Respetiva Normalização

Fonte: Yan, 2013

O betão em estado endurecido, tem como principal característica a resistência mecânica, pois esta fornece informações sobre a sua qualidade. A sua resistência está relacionada com a hidratação da pasta cimentícia, e desta forma, relacionada com a razão A/C.

Outra propriedade fundamental do betão, no estado endurecido, é a durabilidade, de acordo com (Evangelista, 2003 - Citado por Yan, 2013), esta característica influencia o comportamento do betão a longo prazo.

Os ensaios realizados no betão em estado endurecido mais comuns, utilizados para caracterizar as propriedades físicas e mecânicas, estão indicados na Figura 2. Enquanto os ensaios e as respectivas normatizações, utilizadas para avaliar a durabilidade do betão em estado endurecido, são descritos na Figura 3.

Ensaio	Métodos de Ensaio
Carbonotação Acelerada	LNEC E 391 : 2003
Difusão de Cloretos - ensaio de migração	LNEC E 463 : 2004
Absorção de água por capilaridade	LNEC E 393 : 2003
Absorção de água por imersão (pressão atmosférica)	LNEC E 394 : 2003
Absorção de água por imersão (sob vácuo)	LNEC E 395 : 2003
Permeabilidade à água superficial sob pressão - método GWT	LNEC E 475 : 2007
Permeabilidade ao Método Torrent	SN 505 262 / 1 : 2003
Permeabilidade ao oxigénio	LNEC E 393 : 2003
Permeabilidade ao gás	1
Difusão de gás	1
Standart Test Method for Electrical Indication of	ASTM C 1202 : 2012
Coefficiente de Difusão do Cloro	2
Resistividade Elétrica	2
1 - Ensaio baseado em procedimento interno	LNEC E 391 : 2003
2 - Ensaio baseado no procedimento CTH Rapid Method	LNEC E 391 : 2003

Figura 2 - Ensaio em Betão Endurecido e Respetiva Normalização

Fonte: Yan, 2013

Ensaio	Métodos de Ensaio
Resistência à compressão dos provetes de ensaio	NP EN 12390 - 3 : 2003
Resistência à flexão dos provetes	NP EN 12390 - 5 : 2005
Resistência à tração por compressão diametral	NP EN 12390 - 6 : 2011
Resistência à abrasão	LNEC E 396 : 2003
Determinação do módulo de elasticidade em compressão	LNEC E 397: 2003
Massa Volumica	NP EM 12390 - 7 : 2003
Determinação da retração e da expansão	LNEC E 398 : 2003
Determinação do coeficiente de fluência em compressão	LNEC E 399 : 2003
Profundidade de penetração de água sob pressão	NP EM 12390 - 8 : 2009
Espessura de elementos laminares, Impacto Eco	ASTM C 1383 : 2010
Determinação do índice esclerométrico	NP EM 12504 - 2 : 2003*
Medição da velocidade de propagação dos ultrassons	NP EM 12504 - 4 : 2007*
Determinação da Força de Arranque	NP EM 12504 - 3 : 2007*
Ensaio de penetração da sonda (pistola de windsor)	ASTM C 803 : 2010
* Ensaio não destrutivo do betão nas estruturas	

Figura 3 - Ensaio de Durabilidade do Betão e Métodos Sugeridos

Fonte: Yan, 2013

Recentemente alguns estudos têm-se dedicado a encontrar alternativas para introdução de materiais diferentes no betão, que visem substituir agregados finos e grossos, por exemplo, (areias e britas) de forma total ou parcial, para que ocorram novas e melhores características do betão e, assim, reduzir o uso de recursos naturais.

Mais adiante são apresentadas duas alternativas, a primeira foi a incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD) de edifícios e a segunda o uso de resíduos provenientes do setor industrial.

2.2 Setor Eólico em Portugal

No ano de 2022, a capacidade instalada de energia eólica em Portugal, totalizou 19,1 GW, um aumento de 4% em comparação a 2021. Apesar da positividade na ampliação da capacidade em um ambiente econômico desafiador os valores apresentados, estes ainda estão abaixo das taxas exigidas para cumprir as metas climáticas e ambientais na Europa (Wind Europe, 2022).

A previsão é de que até de 2030, a energia eólica seja o principal modelo energético europeu sustentável, com expectativa de atingir 500 GW, entretanto boa parte das turbinas europeias chegarão ao fim de sua vida operacional nos próximos 10 - 15 anos, fator este que gera preocupação ao setor principalmente no quesito da sustentabilidade (Wind Europe, 2022).

Para atingir esta meta, exige-se que os governos adotem os planos necessários para solução dos problemas dos parques eólicos, de modo a maximizar os activos existentes no continente, através da extensão da vida útil das turbinas e pás de rotor. Esta extensão pode ser garantida, com a aplicação de estratégias de recuperação e reciclagem, gerando maior sustentabilidade e circularidade no setor, impulsão de competitividade da cadeia de abastecimento e incorporação da sustentabilidade em cada etapa do processo (Wind Europe, 2022).

Portugal, tem como meta estabelecida pelo Parlamento Europeu e o Conselho da UE que 35% da energia produzida no país em 2030, seja de recurso de fontes renováveis. O setor eólico representa 38,6% das energias renováveis, sendo o setor mais rentável após o setor hídrico, e o principal impulsionador do setor a nível europeu.

Entretanto, em 2022, o país instalou 28 MW de capacidade eólica elevando para 5696 MW a potência eólica do país, ultrapassando 26% da produção de eletricidade do ano de 2021 (E2P, 2022).

Com aproximadamente 281 parques eólicos, onde apenas 3 constam desativados, o primeiro parque eólico do país, foi inaugurado no ano de 1991, localizado na região de Açores iniciando com uma potência de 1,8 MW e atualmente apresenta 5449,38 MW.

A Figura 4 apresenta a distribuição dos parques eólicos em Portugal Continental, embora a sua maior concentração seja nas Zona Centro e Norte.

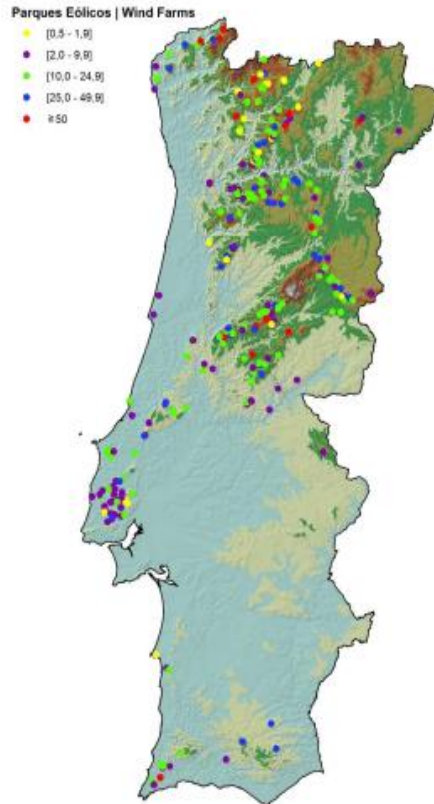


Figura 4 - Ilustração dos Parques Eólicos Distribuídos em Portugal

Fonte: E2P, 2024

O distrito Viseu lidera no país, quando se analisa a capacidade instalada em funcionamento seguido de Vila Real conforme apresentado na Figura 5.

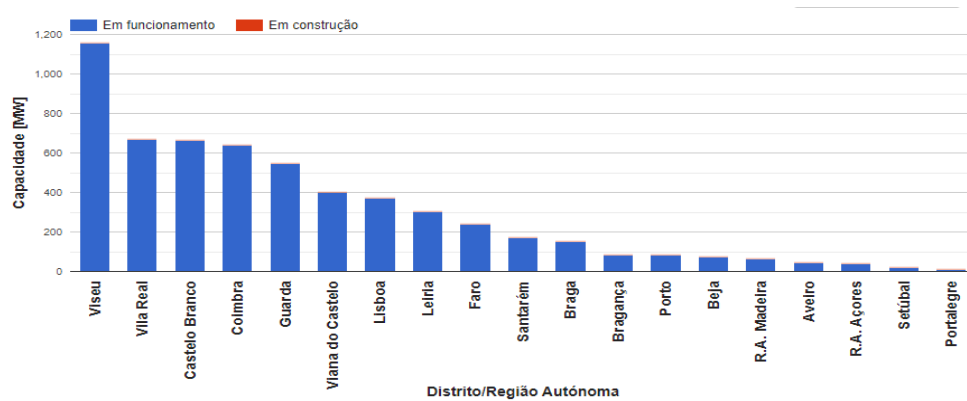


Figura 5 - Capacidade Instalada por Distrito Portugal

Fonte: E2P, 2024

Atualmente o país enfrenta as dificuldades do passar do tempo, em que os parques eólicos nacionais iniciaram o processo de envelhecimento, visto que este processo é natural, existe o esforço de prolongamento de vida útil dos aerogeradores, o que impõe um limite mínimo de 20 anos de utilização (IEP, 2019).

À medida que a frota europeia envelhece, espera-se o aumento de repotenciação do uso das turbinas e pás de rotor, entretanto, não existe legislação específica que vise limitar este período mínimo de vida útil, o que torna difícil a garantia de manutenção dos parques eólicos.

Diante deste fato é necessário considerar como será o futuro deste setor no país, uma vez que Portugal possui uma das frotas mais antigas, com a idade média dos parques eólicos em 13,4 anos. conforme se apresenta na Figura 6.

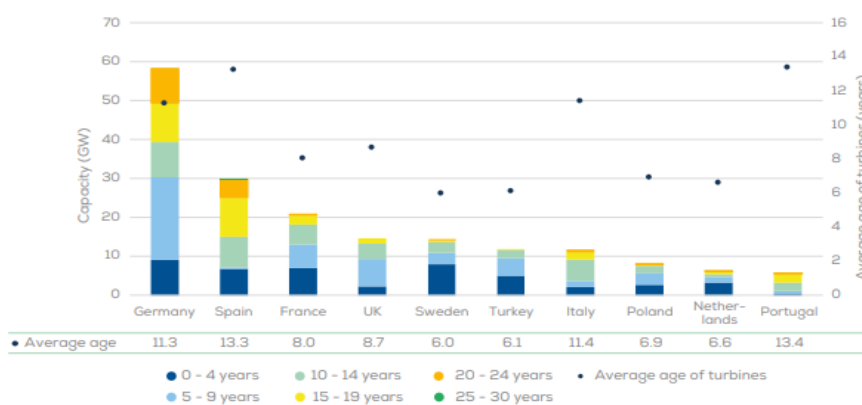


Figura 6 - Idade dos Parques Eólicos Europeus

Fonte: Wind Europe, 2022

Demonstra-se a necessidade de investimentos no setor e modernização, de acordo com a Redes Energéticas Nacionais (REN) (2023) a energia eólica tende a ser favorável no país, devido à sua localização geográfica estratégica.

Sob a perspectiva da sustentabilidade, duas soluções têm sido apontadas como possíveis para continuidade de operação dos parques eólicos: a extensão da vida útil das turbinas, visando a manutenção delas, como ponto negativo, mais sujeito a falhas da turbina (IEP, 2019) ou o *repowering*, de acordo com a Wind Europe (2022), esta prática permite a redução do descarte das pás no meio ambiente, e é crucial para que a Europa possa cumprir as metas energéticas propostas até 2030.

2.3 Gestão e Fluxo de Resíduos

A política energética nacional, tem como principal objetivo a promoção da energia renovável. Destaca-se a energia eólica, em que os objetivos são determinados em função dos objetivos da União Europeia (UE) que visam assegurar energia segura e sustentável e competitiva (Duarte, 2019).

A publicação do Decreto-Lei (DL) n.º 73/2011, de 17 de junho, produziu alterações ao Regime Geral de Gestão de Resíduos (RGGR) o qual havia sido aprovado pelo DL n.º 178/2006. Esta publicação, possibilitou mudanças na ordem jurídica interna da Diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho a qual tratava diretamente do tratamento dos resíduos, reforçando a necessidade de tratativas para prevenção de resíduos, e incentivo a práticas de reutilização e reciclagem.

Primeiramente é preciso definir dois conceitos, a gestão de resíduos e o fluxo específico de resíduos. A gestão de resíduos trata do conjunto de operações desde a recolha até à sua eliminação, este tipo de atividade deve ser assegurado por agentes competentes para que não haja o abandono ou incineração de resíduos que possam contaminar o solo, ou a incineração a céu aberto, resultando assim na diminuição de impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana (DL n.º 73/2011; APA, 2020b). Enquanto o fluxo de resíduos trata da gestão específica de produtos provenientes de diferentes setores ou diferentes origens.

O DL n.º 73/2011, define qual o conceito de resíduos, designando-os como “quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz, ou tem intenção de se desfazer”. Podendo ser classificados segundo sua área de proveniência como área industrial, agrícola, urbana ou hospitalar. Por resíduos industriais entende-se que são aquelas provenientes dos processos produtivos, por exemplo, os que são oriundos da produção de energia, gás ou água por exemplo.

Nos anos 90, a hierarquia dos resíduos era associada à política de gestão de resíduos com o objetivo de determinar qual a melhor tecnologia para essa gestão, entretanto, fortemente criticado pela ausência de base científica. Posteriormente surge a gestão integrada de resíduos, para geri-los de forma ambientalmente e economicamente sustentável (Hao et al., 2020).

Logo, o DL n. 73/2011 determina os métodos de tratamento dos resíduos em cinco níveis sustentáveis: Prevenção, Preparação para Reutilização, Reciclagem, Outros Tipos de Valorização e Eliminação.

- Prevenção: Opção prioritária de modo que haja esforços para redução ou substituição no design, por exemplo redução da massa em matéria-prima de modo a diminuir a quantidade de material a ser reciclado, também é visado para redução dos impactos no meio ambiente e saúde para diminuição de materiais nocivos na produção (Skelton, 2017);

- **Preparação Para Reutilização:** Nesta etapa, os materiais assumem a característica de resíduo, e devem ser preparados para serem reutilizados, neste passo por exemplo, as pás eólicas serão utilizadas pelo maior período de tempo possível, e reutilizadas até haver necessidade de substituição;
- **Reciclagem:** De acordo com Joeman (2019) esta é a etapa mais complicada, pois as pás são formadas por fibra de vidro e resina epóxi que não são possíveis de reciclar. Assim, esta etapa passa pela valorização do resíduo em novos produtos ou materiais, exigindo energia e outros recursos para transformação (DL n.º 73/2011);
- **Recuperação:** Consiste na transformação dos resíduos em combustível ou energia térmica removendo todos os componentes individuais para serem usados novamente (Joeman, 2019);
- **Eliminação:** A opção não desejada pois trata-se do depósito de material em aterros ou incineração (DL n.º 73/2011).

A prevenção é um método aplicado no ciclo de vida das pás eólicas, devido a uma rotina de manutenção constante, nomeadamente, recorrendo-se a constantes inspeções visuais, ultrassônicas, ajustes de pá e até à sua pintura (Skelton, 2017).

Outro exemplo de reutilização das pás eólicas, consiste na reparação da mesma e instalá-la numa nova turbina. Empresas como a *Green-Ener-Tech*, a *Enerpower*, a *Spares in Motion*, realizam a venda das turbinas e componentes como negócio, através da reutilização das pás para mobiliário urbano, parques, entre outros. Este tipo de tratamento é chamado de reciclagem primária, onde ocorrem pequenas alterações na estrutura da pá e o novo produto mantém-se com as propriedades do produto inicial. Entretanto, esta solução não é a melhor a ser adotada diante do volume de resíduos que são esperados para o setor eólico (Skelton, 2017; Cefic, EuCia & WindEurope, 2020).

2.3.1 Custos de Gestão de Resíduos

Os resíduos utilizados neste ensaio, são subprodutos da indústria de pás eólicas que derivam da sua fabricação pela SGRE, localizada em Oliveira de Frades. Desta forma, apresentam-se a seguir os custos gerados à empresa para a gestão, reciclagem e transporte de resíduos nos anos de 2022 e 2023.

Ao longo do ano de 2022 e 2023, 61 toneladas de resíduos foram produzidas pela empresa, sendo eles papel e cartão, plástico e pó de fibra de vidro.

Deste total apenas 12,89% dos resíduos (em peso) mensalmente, foram direcionados para a reciclagem, o que, considerando os processos de eliminação e logísticos, totalizou um custo de aproximadamente 60 mil euros (Siemens Gamesa, 2023a).

Sendo o período de março e abril de 2023 o mais significativo, conforme apresentado pela Figura 7.

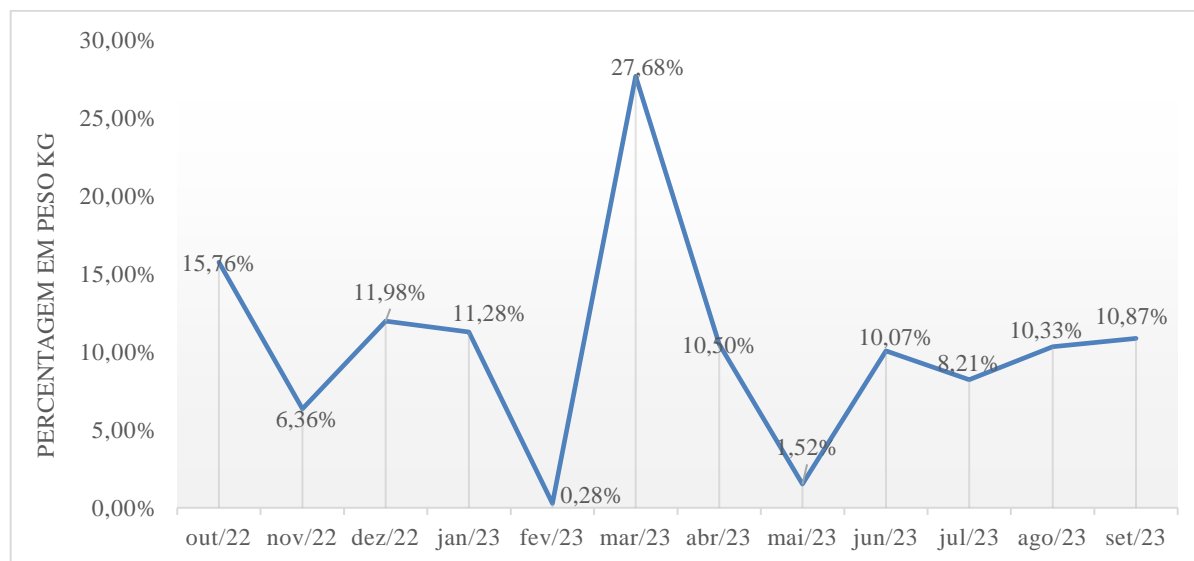


Figura 7 - Resíduos Reciclados Por Peso

Fonte: Siemens Gamesa (2023)

Os principais resíduos gerados e reciclados pela empresa são o papel e o plástico, com uma produção anual de 28,981 e 19,78 toneladas/ano, respectivamente. No caso da produção de pó de fibra de vidro, no decorrer do período, a produção do resíduo atingiu cerca de 19,08 toneladas/ano.

2.3.2 Reciclagem de Pás de Rotor de Aerogeradores Eólicos

Atualmente, o acúmulo de resíduos resultantes das atividades industriais tem-se expandido e a preocupação com o meio ambiente e sustentabilidade têm sido debatidas na sociedade atual. O mercado da energia eólica demonstra graves problemas de destino dos equipamentos quando atingem o fim de seu ciclo de vida, porque os mesmos são depositados em aterros.

As pás de Rotor são constituídas por fibras de vidro e uma matriz polimérica, termoendurecível e não biodegradável, que quando depositados em aterros acumulam-se, gerando problemas no solo e para as futuras gerações (Beauson e Brøndsted, 2014). Os demais equipamentos, nomeadamente as torres de betão, são regulamentadas pela Diretiva n.º 2008/98/CE (União Europeia, 2012) a qual regulamenta o destino RCD, e pela Diretiva n.º 2012/19/ UE (União Europeia, 2012) que regulamenta os resíduos de componentes elétricos e eletrônicos.

Segundo Kellner (2019) tem havido um aumento gradual da dimensão das pás de Rotor desde os anos 80, iniciou-se com cerca de 12 a 15 metros até à maior pá com 107 metros, esse aumento pode ser visto com preocupação, pois o aumento do tamanho aumenta o fluxo de resíduos. Com uma

vida útil de 20 a 25 anos, estima-se que a partir de 2040 haja a necessidade de eliminar mais de 380 mil toneladas de polímeros reforçados com fibra de vidro.

As pás, são constituídas por fibras inorgânicas, como a fibra de vidro tipo E, e aglutinadas numa matriz polimérica, como resinas epóxi, vinil éster ou poliéster, o que não permite que elas sejam recicladas e muito menos biodegradáveis (Beauson e Brøndsted, 2014).

O primeiro problema apontado por Nogueira (2020) para a reciclagem das pás dá-se do facto de que a maioria das soluções existentes serem ineficientes e não permitem a separação dos principais constituintes, fibra e polímero. Logo, os países têm adotado o depósito em aterros, ou enterrá-las como solução, por falta de melhores alternativas do ponto de vista económico e técnico. Algumas opções utilizadas mostram-se dispendiosas, dificultando a sua aplicação prática, por exemplo, a trituração para produção de agregados para uso em construção ou pavimentação.

Os processos de reciclagem dos compósitos termoendurecíveis podem ser vistos, em suma, em três classes:

- Processos Mecânicos: Fragmentação e recuperação de pós para uso em outras aplicações;
- Processos Térmicos: Incineração, Combustão, Pirólise, Processo em leito fluidizado;
- Processos Químicos: Uso de materiais químicos da matriz para separação dos constituintes (fibra e polímero), para transformação em novos produtos (Nogueira, 2020).

Segundo Leite (2020), a tentativa viável para a reciclagem das pás, seria a reciclagem térmica, ou seja, a adoção da queima do material compósito a 600 °C, durante 15 minutos, a qual provocaria a perda de resistência mecânica das fibras, sendo esta uma das melhores condições dos ensaios realizados e sendo possível a adoção deste método de reciclagem em ambiente industrial. Entretanto, após a queima das pás de rotor, ainda se necessita de estudos para o tratamento após a queima e avaliar os custos e benefícios.

Contudo, a reciclagem é um desafio para as pás de rotor, pois são essencialmente produzidas com polímeros reforçados com fibra de vidro, por apresentarem custos de fabrico baixos e não permitem a transformação imediata num novo produto, levando diretamente para o estágio da eliminação (Hao et al., 2020).

Outro método utilizado e considerado inovador é a reciclagem das pás para uso na indústria da construção civil. A empresa *Regen Fiber*, sediada nos Estados Unidos, utiliza o processo de separação das fibras utilizadas na produção das pás, em argamassas, cimentos, pavimentos e outros produtos de elevada resistência, evitando assim que as pás sejam depositadas em aterros. Incentiva a economia circular, apoia metas de sustentabilidade e reduz a emissão de poluentes que podem ser vistos em processos de queima (Away, 2023).

2.3.3 Reutilização de Resíduos Industriais e da Construção e Demolição

Para a reutilização de resíduos provenientes do setor industrial como substituto dos agregados ou cimento, para minimização de impactos ambientais, tem-se o DL n.º 89/2002, promulgado em 09 de abril, onde se aprova uma nova versão do Plano Estratégico dos Resíduos Industriais (PESGRI 2001), antigo (PESGRI 99), como forma de estratégia nacional e comunitária para orientar e recomendar como devem proceder para recolha e tratamento de resíduos industriais.

No DL n.º 89/2002, foi priorizada a hierarquia dos resíduos, sendo este o princípio da política ambiental, prevendo a aprovação de programas de prevenção, metas de valorização do material de resíduos até 2020. Além disso, o incentivo à reciclagem é imposto através da utilização de 5% dos materiais reciclados em obras públicas (APA, 2020a).

Desta forma, a adição de resíduos para serem incorporados no betão gera economicidade e sustentabilidade, pois reduz a sua eliminação no meio ambiente e reduz o uso de recursos naturais, escassos para a fabricação.

Uma vez que os resíduos são vistos como desperdício, e não possuem valor comercial, a sua reutilização torna-se rentável, uma vez que na Europa, a área de construção detém cerca de 28,1% de todo o setor industrial. Entretanto, possui pontos negativos como o consumo de 3.000 m/ano de matérias-primas o que representa 30% das emissões de carbono. Logo, diante do tamanho e do impacto do setor de construção, tanto na economia quanto no meio ambiente, é necessário a intervenção e mudanças na produção do setor para que este venha a ser sustentável e estimule a sustentabilidade (Teodoro, 2011).

Algumas alternativas estudadas que podem auxiliar na redução do uso de recursos naturais na produção do betão são a incorporação de resíduos de construção e demolição como substitutos, pois assim diminui-se a produção de CO₂, permitindo a redução dos desperdícios impróprios destes resíduos (Martins, 2017).

Devido à produção de CO₂ na extração dos recursos naturais utilizados na produção do betão e à escassez iminente destes, os impactos ambientais gerados são difíceis de serem mensurados. Além disso, o custo elevado para o depósito desses resíduos nos locais destinados fazem com que os produtores de resíduos depositem estes materiais em locais inapropriados, como valas ou aterros de enchimento, ocasionando maiores prejuízos para o meio ambiente (Martins, 2017).

2.4 Betões com Incorporação de Resíduos

A indústria da construção civil, durante seu processo de crescimento, tinha como foco o atendimento das necessidades básicas da sociedade, sem ter em vista as técnicas, ou os impactos gerados no meio ambiente. Rapidez e economia eram as palavras chaves. Entretanto, diante das

discussões crescentes da importância da sustentabilidade, e da vida do nosso planeta tem-se a urgência de minimizar os impactos ambientais.

Uma vez que a produção do betão é um processo que faz uso de uma grande quantidade de recursos naturais, como matéria-prima: areia, pedra, água e cascalho moído, tem-se desenvolvido técnicas e procura de outros materiais relacionados com a sustentabilidade, já que reutilizar ou reduzir o consumo destes materiais geram vantagens ecológicas na busca do desenvolvimento sustentável (Rósario e Torrescana, 2011).

Diante disso, estudos têm sido realizados para avaliar a incorporação de resíduos que visam substituir agregados finos e grossos (areias e britas) no momento de fabricação do betão. Entretanto, os ensaios precisam considerar além da sustentabilidade, outras características na substituição, como economicidade e viabilidade, sem que o betão perca suas características principais, resistência, durabilidade e estabilidade dimensional (Lourenço, 2016).

Para o objetivo deste projeto, apresenta-se, de forma sucinta, trabalhos realizados por exemplo: Coutinho (2011), Silva (2008), Dias (2019), dentre outros, que tratam da incorporação de resíduos no betão, bem como do material aqui estudado, o pó de polímero/vidro, de forma total ou parcial.

2.4.1 Betão Leve

A utilização de betão leve de agregados de argila expandida, de acordo com Cardoso (2021) é comumente conhecido, podendo ser utilizado para fabricar qualquer elemento de betão armado ou não estrutural. A sua utilização permite a redução das secções transversais dos elementos estruturais, acarreta maior produtividade, o seu peso reduzido facilita o transporte de materiais e peças durante a execução das obras, conseqüentemente ocasiona a redução dos custos finais da construção e permite maior isolamento térmico.

O isolamento térmico que o betão proporciona nas edificações, gera economia de proteção térmica e proteção contra fogo, os agregados leves são na sua maioria fabricados a temperaturas superiores a 1000° C, possuem resistência térmica considerável, e de facto são classificados como M0 (materiais incombustíveis-A1) (Silva, 2008).

Os betões leves podem ser produzidos com agregados leves e ultraleves de acordo com a massa volúmica ($\gamma < 2000 \text{ kg/m}^3$), ou através da mistura destes com agregados normais, dependendo das percentagens e dos objetivos de uso, seja para aumento da resistência mecânica ou para diminuição do custo (Mattos et al., 2017).

Existe uma enorme variedade de agregados leves, que podem ser utilizados no fabrico do betão com características mecânicas e físicas distintas, uma vez que os agregados podem apresentar

maior ou menor resistência, serem mais leves ou pesados, maior ou menor condutibilidade térmica, Logo, os agregados podem ser classificados como agregados naturais e artificiais, conforme apresentado na Figura 8 (Silva, 2008).

Por agregados naturais entende-se aqueles que podem ser extraídos diretamente do solo, como por exemplo a areia, enquanto os artificiais, trata-se daqueles em que se inserem a argila expandida obtida industrialmente. Diante das preocupações ambientais, o uso de subprodutos industriais para o fabrico do betão tem-se tornado comum utilizar as cinzas volantes, subproduto da queima de carvão e as escórias de alto-forno, subproduto do fabrico de aço (Farias, 2009).

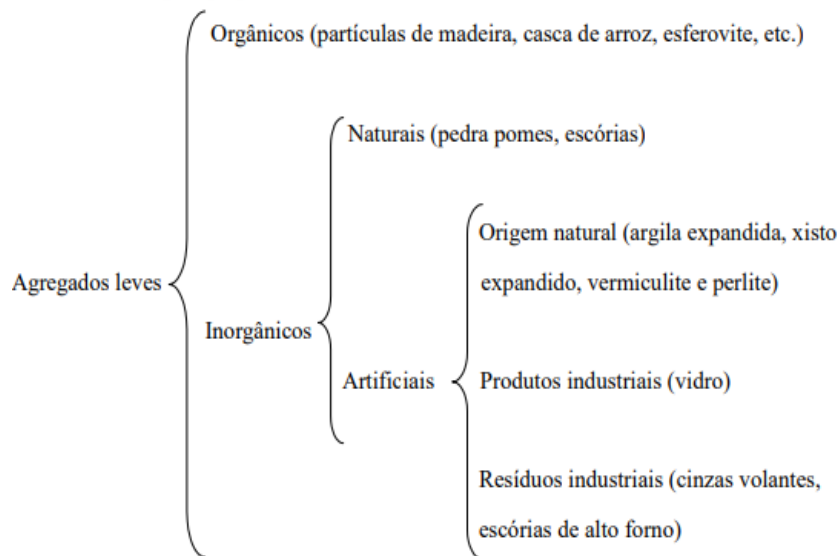


Figura 8 - Classificação Agregados Leves

Fonte: SILVA, 2008

Apesar da diversidade de agregados leves, os obtidos por expansão da argila, xisto e ardósia podem ser usados em betões estruturais (Silva, 2008).

Entretanto é preciso salientar as desvantagens do uso do betão leve, como a necessidade de aumentar o cimento na mistura, o que contraria as condições de sustentabilidade exigida nas construções, pois a produção do cimento Portland acarreta a emissão de CO₂.

Segundo Valente e Cruz (2004), o betão leve pode ser utilizado como betão estrutural ou de isolamento. Quando utilizado como betão estrutural, as principais propriedades são a capacidade de resistência e o módulo de elasticidade que superam o betão convencional. Ao ser utilizado como isolamento a condutividade térmica aumenta, pois tende a adiantar sensivelmente o pico de carga térmica dentro dos ambientes, em relação a vedações feitas com betão convencional.

Segundo Angelin (2014), a fabricação de um betão leve de elevada resistência, apresentou como resultado resistência elevada à compressão, quando comparado ao betão convencional. Entretanto, apresenta resultados inferiores nos módulos de elasticidade e resistência à tração por flexão.

A principal característica a ser ressaltada dos agregados leves é a elevada porosidade, o que implica numa baixa massa volúmica, desta forma apenas alguns agregados podem ser utilizados na incorporação do betão leve, uma vez que nem todos alcançam as resistências e densidades exigidas.

2.4.2 Resíduos de Pó Polímero/Vidro

O vidro é resultado de uma mistura de materiais inorgânicos, que após ser submetida a uma fusão controlada, resulta num material duro, homogêneo, estável e isotrópico, cuja composição é aproximadamente 72% de sílica (SiO_2) (Coutinho, 2011).

O vidro atualmente é muito utilizado na construção civil e representa um grande volume de resíduos sólidos que são eliminados, principalmente em aterros sanitários, e apresentam uma percentagem baixa de reciclagem.

Além disso o material apresenta uma excelente atividade pozolânica, uma vez que possui um elevado teor de sílica, quando combinado com superplastificantes fazem com que as partículas diminuam a distância entre si, aumentem o contato entre elas o que ocasiona a redução de permeabilidade do betão e transformando-o numa estrutura densa e homogênea (Coutinho, 2011).

Dado que a produção de clínquer do cimento produz elevado nível de CO_2 , uma estratégia de redução é a utilização de materiais com alto índice de partículas minerais com pozolanas, fator este que é contido no pó de vidro (Coutinho, 2011).

De facto, o material possui aproximadamente 70% de sílica amorfa, quando comparado com cinzas volantes, o vidro apresenta SiO_2 , CaO , Na_2O e, em menor quantidade, de alumina e hematite, Al_2O_3 e Fe_2O_3 . O alto teor de Na_2O causa certa apreensão, pois é necessário controlar a sua adição (>0,6% da massa de cimento) pois pode ocasionar uma reação álcali-sílica. Assim o uso do vidro em betão como agregado grosso não apresentava bons resultados pois gera uma excessiva expansão e redução de resistência (Rocha, 2014).

Diante do excesso de resíduos de vidro no meio ambiente, os estudos têm sido feitos testando o uso destes resíduos como substituição parcial de agregados finos. Estes agregados finos conferem ao betão maior ou menor extensão dependendo do tamanho da partícula sendo que diâmetros de até 75 μm ocorre menor expansão porque há dispersão, o que tem impulsionado a moagem do vidro (Coutinho, 2011).

O vidro oferece um conjunto de vantagens, principalmente do ponto de vista da reutilização e como substituto parcial do cimento, o que permite a melhoria da durabilidade do betão e a redução de consumo de recursos naturais, gerando um impacto positivo na economia circular, apesar dos altos custos com transporte (Dias, 2019). Neste trabalho, analisou o comportamento do betão com o

acrécimo do pó de vidro, sendo testadas em massas de betão, com proporções de 5, 10 e 15% (em peso), tanto no estado fresco quanto no endurecido.

A metodologia consistiu no ensaio de experimentação em laboratório e análise comparativa com proporções de resíduos, com testes de resistência à compressão, determinação do índice de atividade pozolânica, índice de vazios e abatimento em tronco de cone. O acréscimo das partículas de pó, contribuíram para o aumento da durabilidade e trabalhabilidade, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido do betão.

Por fim, conclui-se que o acréscimo de 10% tem impacto positivo para a trabalhabilidade enquanto o acréscimo de 5% gerou maior resistência à compressão (Dias, 2019).

De acordo com Rocha (2014), demonstrou que através da utilização do vidro para adição no betão, em diferentes proporções, conjuntamente com a inclusão de superplastificantes e fibras melhoram os resultados dos ensaios de resistência à tração e flexão.

2.4.3 Pó Polímero/Vidro como Agregado

Khatib et.al. (2012) utilizam o pó de fibra de vidro para incorporação no betão. Neste trabalho foram realizados ensaios para aferir as propriedades do betão convencional e do betão com a adição de pó de fibra vidro.

Através da avaliação de tensão de compressão, ensaio de consistência e densidade do betão, apresentaram como resultado o seguinte: quando houve a adição de até 10% (em peso) de pó de fibra de vidro na mistura do betão, o betão teve como resultado características parecidas com o betão convencional, adições superiores demonstraram menor resistência do betão incorporado do que o betão sem adição.

Além da melhoria da resistência mecânica, Matos (2010), demonstraram que quanto mais compacta for a matriz do betão, melhor resistência apresentará, sendo assim quanto menor forem as partículas de pó de vidro maior será a resistência à penetração de agentes agressivos, como por exemplo, os que originam a corrosão, fator este que o aço enfrenta.

O autor aponta que o betão é protegido da corrosão, devido a uma fina camada formada pela alta alcalinidade do betão ($\text{pH} > 12$), a resistência à penetração de cloretos no betão, quando incorporado com pó de vidro, é superior ao betão convencional ou argamassa, e aumenta com a finura e taxa de substituição com o passar dos anos, pois a reação pozolânica está desenvolvida (Matos, 2010).

Segundo Araújo (2011), a incorporação do pó de fibra de vidro em betão auto-compactável, demonstrou que não havia a necessidade de aumento da água, sendo esta uma ótima vantagem para

o uso do material, pois pode auxiliar na redução da razão A/C. Este fator não é observado em outros materiais pozolânicos.

Como resultado negativo, o produto provocou a redução da reatividade álcalis-agregado do betão.

2.5 Síntese do Capítulo

O capítulo 2 pretende enquadrar os objetivos almejados deste projeto, pelo que, num primeiro momento, realizou-se o estado da arte, sobre a incorporação de resíduos em betões.

Apresentou-se o panorama geral do setor eólico no contexto europeu, e especificamente de Portugal, abordando a legislação que rege o setor, bem como os processos e custos envolvidos para a gestão de resíduos.

No subcapítulo 2.3 trata-se do custo da gestão de resíduos na empresa estudada, os desafios da reciclagem das pás de rotor e o uso dos resíduos da construção e demolição.

O subcapítulo 2.4 apresentam-se estudos que tratam da incorporação de resíduos no betão, e os seus impactos nas características do betão.

Conclui-se que, de uma forma geral, o uso de resíduos como substitutos dos agregados naturais gera redução do impacto no meio ambiente, e redução de custos nas indústrias.

3. METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1 Introdução

Neste capítulo, irá apresentar-se a metodologia utilizada para a realização dos ensaios de incorporação de pó polímero/vidro, provenientes de processos de fabricação de pás eólicas, que podem representar uma importante fonte de aditivo para reforçar o betão.

Apresenta-se o porquê da incorporação de resíduos de pó polímero/vidro, substituindo o agregado fino (Areia A1), em taxas de 0, 20, 50 e 100% e explica-se o processo de estudo da composição do betão de referência e as variantes de incorporação conforme as taxas.

3.2 Agregados

3.2.1 Introdução

O betão é produzido em grande parte por agregados, que implicam no desempenho do betão a curto e longo prazo. Desta forma a caracterização dos agregados é fundamental e as suas características podem ser divididas em: geométricas, físicas e químicas.

Na componente geométrica, considera-se a dimensão e forma dos agregados, fatores avaliados pelo ensaio de análise granulométrica e índice de achatamento, por exemplo.

A componente física considera características como: densidade, resistência mecânica, porosidade, módulo de elasticidade e condições térmicas, e na componente química pode-se destacar o teor de impurezas ou a reatividade potencial.

A norma NP EN 12620:2004 “Agregados por betão” tem a especificação das propriedades necessárias para os agregados, onde a utilização de agregados de origem natural são classificados em ígneos, sedimentares, e metamórficos, de acordo com a rocha de origem.

Para este projeto utilizaram-se agregados ígneos, de origem granítica, ou seja, rochas que se originam da cristalização em profundidade do magma rico em sílica (SiO_2).

A seguir apresenta-se as classificações dos agregados.

3.2.2 Classificação dos Agregados

Os agregados podem ser de origem natural, por exemplo (areia e godos) ou agregados que são obtidos pela britagem dos materiais naturais (britas, areias britadas) (Lourenço, 2016).

Existem agregados considerados como artificiais, estes são obtidos pela indústria com o objetivo de produzir betão com propriedades específicas, por exemplo, argila expandida.

E por fim, agregados que são produtos sub industriais, ou seja, derivam de outros produtos, como cinzas volantes que são obtidas na combustão do carvão nas centrais térmicas (Coutinho, 2011).

3.3 Caracterização Laboratorial dos Agregados

3.3.1 Introdução

Os agregados influenciam o desempenho do betão, em termos de durabilidade e resistência mecânica e química, por exemplo, sendo assim, a seguir apresentam-se os testes para a avaliação das características geométricas e físicas.

3.3.2 Análise Granulométrica e Módulo de Fissura (7)

A análise granulométrica é fundamental para caracterizar e quantificar a quantidade de agregados a ser utilizada na amassadura do betão, particularmente no que se refere à compacidade e trabalhabilidade do betão, por este termo refere-se a maior ou menor facilidade de amassadura, transporte, compactação e acabamento durante essa operação (Coutinho et al., 2011).

Sendo assim, realizou-se o ensaio de análise granulométrica e traçaram-se as curvas granulométricas dos agregados.

Conforme a norma NP EN 933 - 1:2000 Parte 1: “Análise granulométrica-Método de Peneiração”, os testes são aplicados em agregados de origem natural ou artificial. Para realizar os testes, utilizaram-se peneiros normalizados de malha metálica quadrada com as seguintes dimensões: 0,063 mm, 0,125 mm, 0,250 mm, 0,500 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm; 8 mm; 16 mm; 31,5 mm; 63 mm

3- Metodologia e Caracterização dos Materiais

e 125 mm (ISO 3310-1:2011), com o intuito de calcular a massa retida em cada peneiro em relação à massa original seca, através da seguinte equação:

$$M_i = \frac{R_i}{m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

onde:

- M_i - % de material retido no peneiro i
- R_i - massa retida no peneiro
- m_1 - massa total da amostra seca

Com os resultados da análise granulométrica, é possível determinar o módulo de finura para se ter uma ideia da dimensão dos agregados a serem usados.

Para esta análise usa-se o módulo de finura apresentado na equação seguinte n° 2:

$$F = \Sigma \frac{[\% \text{ Retidos} \times (> 0,063)]}{100} \quad (2)$$

F = módulo de finura.

A Tabela 1 mostra os resultados do ensaio de granulometria dos 4 agregados, conforme apresentado por Lourenço (2016).

Tabela 1 - Análise Granulométrica - Método Peneiração (NP EN 933-1)

Abertura do Peneiro (mm)	Porcentagem retida acumulada				Porcentagem acumulados passados			
	Areia 1 (fina)	Areia 2 (grossa)	Brita 1 (fina)	Brita 2 (grossa)	Areia 1 (fina)	Areia 2 (grossa)	Brita 1 (fina)	Brita 2 (grossa)
31,5	0	0	0	0	100	100	100	100
20	0	0	0	0	100	100	100	100
16	0	0	0	15	100	100	100	85
8	0	0	0	79	100	100	100	21
4	0	0	0	96	100	100	100	4
2	0	27	44	100	100	73	56	0
1	2	51	91	100	98	49	9	0
0,5	18	67	100	100	82	33	0	0
0,25	45	80	100	100	55	20	0	0
0,125	70	89	100	100	30	11	0	0
0,063	90	96	100	100	10	4	0	0

Fonte: Lourenço (2016)

Desta forma apresenta-se o módulo de finura de cada agregado na Tabela 2.

Tabela 2 - Módulo de Finura

Agregados	Módulo de Finura (%)
A1	1,35
A2	3,14

B1	4,35
B2	6,90

Fonte: Lourenço (2016)

As curvas de granulometria dos agregados apresentam um comportamento contínuo, sendo adequados para a produção de betão (Lourenço, 2016).

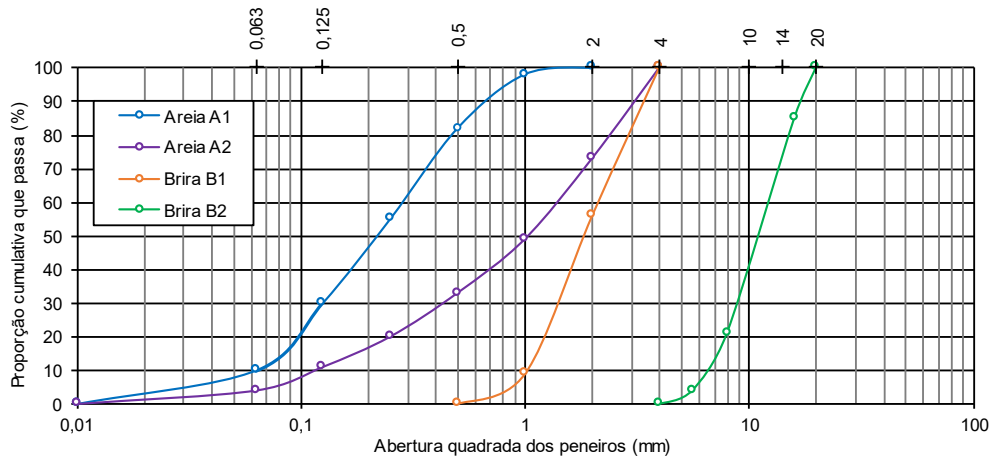


Figura 9 - Curva Granulométrica dos Agregados

Fonte: Lourenço (2016)

3.3.3 Índice de Achatamento (FI)

O índice de achatamento será utilizado para avaliar a geometria dos agregados, para compor a mistura do betão indicando o arranjo e disposição das partículas, este índice é utilizável pelas partículas com dimensões entre 4 e 80 mm.

O ensaio é feito através da norma NP EN 933-3: 2002, e consiste em duas operações de peneiração onde há a separação de frações granulométricas, de acordo com a abertura dos peneiros, (d_i/D_i), e depois utilizando peneiras de barras com ranhura paralela com largura ($D_i/2$).

Segundo Lourenço (2016), neste ensaio há cinco passos:

- Peneiração dos provetes;
- Realizar a pesagem e rejeição de partículas >80 mm e < 4 mm;
- Pesagem das partículas de cada fração granulométrica entre 4 mm e 80 mm;
- Pesagem do material de fração granulométrica que passou pelo peneiro correspondente.

Cálculo do índice, através da seguinte equação :

$$FI = \left(\frac{M2}{M1} \right) \times 100 \quad (3)$$

FI = Índice Geral de Achatamento,

M1= Soma das massas das partículas de cada fração granulométrica di/Di,

M2= Soma das massas das partículas de cada uma das frações granulométricas que passa pelo peneiro de barras, conforme a ranhura da largura Di/2.

3.3.4 Índice de Forma (SI)

O índice de forma é utilizado para caracterizar a geometria das partículas e determinar os parâmetros que permitem caracterizar os agregados e classificá-los para identificar se podem ou não serem utilizados no betão.

Este índice é determinado pela NR EN 933-4: 2002 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 4: Determinação da forma das partículas - Índice de forma.” para frações granulométricas entre os 4 e 63 mm.

O cálculo analisa a massa que ficou retida no peneiro i (M1i) em relação a massa da amostra ensaiada (Mo).

Utiliza-se um paquímetro, onde se mede a maior (L) e a menor (E) dimensão da partícula, após isso separa-se a dimensão que esteja sob a condição $L/E \geq 3$, sendo estas classificadas como não cúbicas (Lourenço, 2016).

Apresenta-se o cálculo utilizado na equação seguinte :

$$SI = \sum \left(\frac{M2i}{M1i} \right) \times 100 \quad (4)$$

onde:

- Si - Índice de forma (%);
- $\sum M2i$ - soma das massas das partículas não cúbicas de cada frações granulométricas ensaiadas (g);
- $\sum M1i$ - soma das massas das partículas de cada fração granulométrica (g).

3.3.5 Equivalente de Areia (SE)

Conforme a norma NP EN 933-8: 2002, “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do teor de finos - Ensaio de Equivalente de areia”, este ensaio é utilizado para identificar finos plásticos em pequenos agregados.

Duas amostras são colhidas, a primeira para determinar o teor de água e o teor de finos, enquanto a segunda é utilizada para determinar o equivalente de areia.

Segundo a norma NP EN 933-8: 2002, “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do teor de finos - Ensaio de Equivalente de areia”, (2016) para este ensaio utiliza-se a equação seguinte :

$$SE = \left(\frac{h_2}{h_1} \right) \times 100 \quad (5)$$

Onde:

- h_2 – distância entre a face inferior da cabeça do mergulhador e a face superior do anel
- h_1 – altura da camada superior do floculado até à base da proveta cilíndrica

3.3.6 Massa Volúmica (Prd)

A massa volúmica dos agregados é determinada conforme as especificações da NP EN 1097-6: 2003 “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água.”

Os agregados podem ser classificados, em três categorias,: Leve ($y < 2000 \text{ Kg/m}^3$); Normais ($2000 \leq y \leq 3000 \text{ Kg/m}^3$) e Grossos ($y > 3000 \text{ Kg/m}^3$).

Para o cálculo da massa volúmica, usa-se a razão entre a massa e o volume das partículas, onde a determinação da massa é feita pela pesagem do provete.

Segundo a norma NP EN 1097-6: 2003 “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água.”, o cálculo da massa pode ser dividido em três equações :

- Massa volúmica do material impermeável das partículas:

$$\rho_a = \left[M_4 - \left(\frac{M_2}{M_3} \right) \right] \quad (6)$$

- Massa volúmica de partículas secas em estufa:

$$\rho_{rd} = \frac{M_4 \times [M_1 - (M_2 - M_3)]}{\rho_w} \quad (7)$$

- Massa volúmica de partículas saturadas com superfície seca:

$$p_{ssd} = \frac{M_1 \times [M_1 - (M_2 - M_3)]}{\rho_w} \quad (8)$$

Onde:

- M_1 - massa do agregado saturado com superfície seca ao ar (g);
- M_2 - massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado(g);
- M_3 - massa do picnómetro apenas cheio de água, (g);
- M_4 - massa de ar do provete seco em estufa, (g).

3.3.7 Baridade e Volume de Vazios (Pb)

Este ensaio tem por objetivo avaliar a relação entre a massa e o volume aparente ocupado por um conjunto de agregados. Esta análise depende de fatores como a massa volúmica das partículas, o grau de compactação, a curva granulométrica e a forma dos agregados.

Sendo possível calcular a percentagem de vazios, num volume de agregados, conforme determinado pela norma NP EN 1097-3: 2002 “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios”.

De acordo com a norma NP EN 1097-3: 2002 “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios”, os resultados são apresentados na seguinte equação :

$$Pb = \frac{(m2 - m1)}{V} \quad (9)$$

Onde:

- Pb - baridade do material i (kg/m^3);
- $m1$ - massa do recipiente com a amostra (kg);
- $m2$ - massa do recipiente vazio (kg);
- V - volume do recipiente, previamente conhecido (m^3).

3.4 Água

A água é um dos principais componentes para produção do betão, quer no estado fresco como no endurecido, pois concede trabalhabilidade na fase fresca e participa das hidratações que conferem resistência ao betão.

Utilizou-se a NP EN-1008: 2003, onde se define as especificações da água para amassaduras em betão, que são:

- Não conter materiais prejudiciais;
- Não serem águas com pH inferior a 4;
- Não terem resíduos de óleos, gorduras, sais prejudiciais.

Neste ensaio a água utilizada foi a água da rede pública de abastecimento de Viseu.

3.5 Cimento

O cimento é um material inorgânico que quando misturado com água produz uma pasta que endurece por completo, devido às suas reações no processo de hidratação e cujas características são a resistência mecânica, a adesividade e a estabilidade, é o componente matriz no material composto betão (Costa e Appleton, 2002).

O cimento utilizado neste ensaio foi o CEM II/B - L 32,5 conforme especifica a norma NP EN 197-1: 2002 “Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes”.

O cimento deve seguir alguns requisitos:

- $65\% \leq \text{Clínquer} \leq 79\%$;
- $21\% \leq \text{Calcário} \leq 35\%$.

Além das seguintes propriedades:

- Químicas: Sulfatos (SO_4^{2-}) $\leq 3,5\%$ e Cloretos (Cl^-) $\leq 0,10\%$;
- Físicas: Início de presa ≥ 75 minutos, expansibilidade ≤ 10 mm;
- Mecânicas: Resistência à compressão (valores mínimos): 16,00 MPa (aos 7 dias) e: 32,5 MPa (aos 28 dias).

3.6 Caracterização do Resíduo: Pó de Compósito Polimérico Reforçado com Fibra Vidro

3.6.1 Processo de Fabrico de Pá Eólica

Os resíduos utilizados neste estudo, são subprodutos da indústria da produção de pás eólicas, que derivam da sua fabricação, pela empresa SGRE localizada em Oliveira de Frades, que resultam num pó rico em fibra de vidro e polímero termo endurecível, provenientes de processos de maquinação, que podem representar uma importante fonte de aditivo para reforçar o betão.

As pás eólicas produzidas na empresa são compostas por uma parte estrutural que se chama de viga (*spar*) e uma parte não estrutural chamada de conchas (*shell*), o objeto alvo deste projeto está ligado diretamente à viga da pá eólica.

De acordo com o documento interno “*Fabricación de bolsa de vacío en vigas y conchas*” código GD003277OP (Siemens Gamesa, 2023), a viga é a parte estrutural da pá e é caracterizada por ser oca e se encontrar no interior da pá, enquanto as conchas são a parte aerodinâmica da pá, ou seja, trata-se da carcaça exterior da mesma, conforme apresentado na Figura 10.

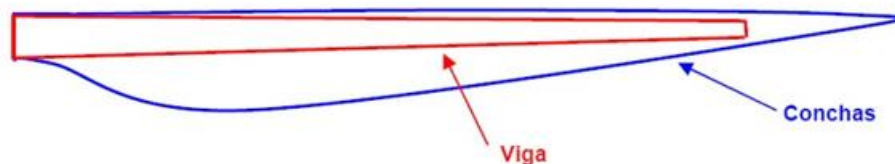


Figura 10 - Estrutura de uma Pá Eólica

Fonte: SGRE GMS-25130 – Siemens Gamesa, 2023

Dependendo do modelo em questão, a viga pode ser composta por duas ou três partes, que são: *junior*, *corpo* e *root*.

O *junior* é fabricado através de laminação específica, de acordo com planos internos de fabricação, trata-se do *pré-fabri* que, *a posteriori*, será a ponta da viga.

O corpo da viga é a região central da mesma, entre o *junior* e a *root*, conforme apresentado na Figura 11.

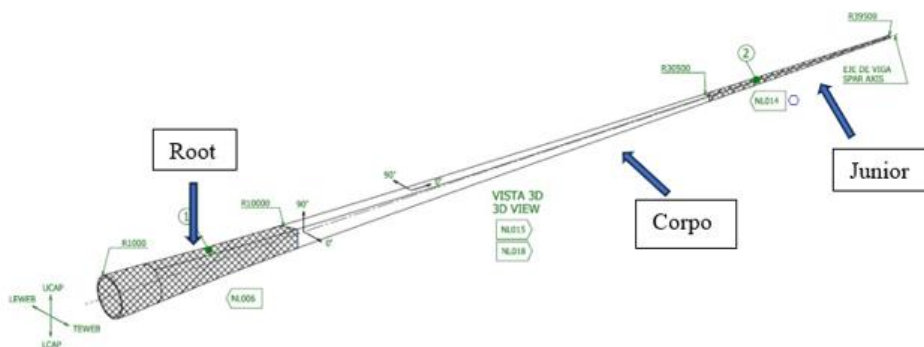


Figura 11 - Plano de Fabrico Pá Eólica C741207

Fonte: SGRE GMS-25130 – Siemens Gamesa, 2023

A *root* é o *pré-fabri*, que é o cerne da questão, pois é a partir dela que será extraído o resíduo industrial, pó de polímero/vidro para ser incorporado ao betão.

O processo de fabricação da *root*, é realizado sobre molde metálico e com o auxílio de uma laminadora, que segue envolvendo o molde com uma vasta camada de fibra de vidro impregnada com resina.

De acordo com o documento interno “*Semipreg Double Glass/Epoxy Biaxial 80 Reinforced*” código GMS 25130 (Siemens Gamesa, 2023), o sistema de resina epóxi utilizado na fabricação do semi impregnado deverá ser adequada para a impregnação das fibras, estar isenta de corpos estranhos e não deve conter nenhum solvente.

A fibra de vidro deve atender aos requisitos da especificação de compra do fabricante do material pré-impregnado, onde as mesmas são tratadas com acabamento superficial e se tornam totalmente compatíveis com o sistema de resina.

O material é definido e referenciado na Especificação do fabricante como SPD GE BX80 R 1260 30, ou seja, Vidro Duplo Semipreg/Epóxi Biaxial 80 Reforçado 1260 g/m² e 30% de teor de resina, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Especificação do Fabricante da Fibra de Vidro

Tipo de Material	Vidro Duplo Semipreg / Epóxi Biaxial 80 Reforçado
Acrônimo	SPD GE BX 80 R 1260 30
Fibra	Vidro
Resina	Resina epóxi de cura a 120 graus celsius
Peso da Fibra	1260 g/m ²
Conteúdo da Resina	30,70%

Fonte: SGRE GMS-25130 – Siemens Gamesa, 2023

A designação biaxial, indica a existência de fibras em duas direções (ver Figura 12), segundo documento interno GMS25130, os eixos de coordenadas de materiais usados nesta especificação são definidos conforme mostrado na Tabela 3.

Para materiais preparados como painéis de teste, a direção no plano transversal ao eixo 1 é definida como o eixo 2.

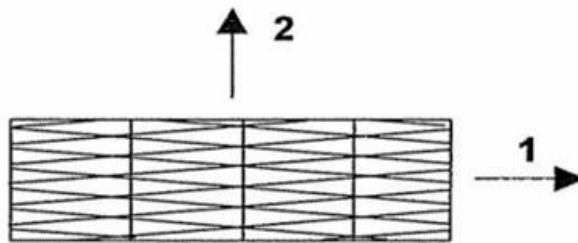


Figura 12 - Designação Biaxial da Fibra de Vidro

Fonte: SGRE GMS-25130 – Siemens Gamesa, 2023

O Semipreg é disponibilizado em rolos denominados de *Skewed*, conforme documentação interna GD007750OP, o *Skewed* é enrolado numa bobina e consiste em:

- Uma camada superior e uma inferior composta de fios de fibra de vidro entrelaçados;
- *Tows* (fios longitudinais) que suportam a tração durante a fase de laminação;
- Uma camada intermediária de resina epóxi que consiste numa mistura de resina e endurecedor.

Conforme mencionado, a fibra impregnada com resina é composta por duas camadas de fibra com uma intermediária de resina. Entretanto, cada camada de fibra obedece a uma orientação específica, de acordo com a Tabela 4 de especificações técnicas fornecidas pelo fabricante.

Tabela 4 - Especificações Técnicas da Fibra e Resina

	Sub-ply name	Tex	Location	Requirement	Tol. (%)
Ply 1	Warp 0°	34-68	Total width	10 g /m ²	± 5
	Additional 0°	1200	In central band	10 g /m ²	± 5
	Weft (skewed) at + (80 ± 2)°	600-2400	Total width	610 g /m ²	+ 5
R	Resin content (weight)			30.7 %	± 1.5
Ply 2	Warp 0°	34-68	Total width	10 g /m ²	± 5
	Additional 0°	1200	In central band	10 g /m ²	± 5
	Weft (skewed) at - (80 ± 2)°	600-2400	Total width	610 g /m ²	± 5
Glass reinforcement weight				1260 g / m ²	± 5
Mass per unit area				1818 g / m ²	+ 5

Fonte: SGRE GMS-25130 – Siemens Gamesa, 2023

Após a laminação estar concluída, o molde mais o compósito de fibra, devem ser conduzidos ao forno para que ocorra o processo de cura da resina seguindo o protocolo definido no documento interno “Instrucción de Proceso de Fabricación (IPF)” código GD007137OP (Siemens Gamesa, 2023). Este processo de cura consiste em aquecer o conjunto resina/fibras de forma controlada para que a fibra fique bem impregnada na resina e o compósito resultante alcance a resistência e dureza especificadas internamente.

Em concreto, a resina é composta por dois componentes, a base e o endurecedor, que a aproximadamente 70° C inicia o processo de reação química, visando a criação de ligações primárias cruzadas resultando num material compósito endurecido, o *pré-fabri*.

O processo de cura da *root* dá-se a partir do cumprimento dos requisitos apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Especificações de Cura

Tipo de Cura	Saco de Vácuo	
Taxa de Aquecimento	°C/min	0,5 – 0,8
Temperatura de Cura	°C	120 ±5
Tempo de Cura	Min	90
Pressão de Cura	Bar	Mínimo -0,8
Taxa de Refrigeração	°C/min	1

Fonte: SGRE IPF – Siemens Gamesa, 2023

Uma vez terminado todo o processo de cura da peça, a *root* sairá do forno, e irá ser sujeita a um conjunto de etapas de maquinação de onde resultará o resíduo material que será colhido para adicionar ao betão. Contudo, este ainda se encontra em bruto, pelo que passará por algumas etapas futuras.

Uma das etapas de maquinação é a furação da face da *root*, com o intuito de serem colados os inchertos que farão a fixação da pá ao rotor do aerogerador.

Entretanto, para se avançar com esta etapa da dissertação, será necessário atentar-se um pouco mais a esse processo, pois a partir daqui será produzido o resíduo industrial, em pó, para a adição ao betão.

Portanto, a *root* será submetida à operação de maquinação, que consiste em realizar furos na face do compósito de acordo com o plano de fabricação, Figura 13.

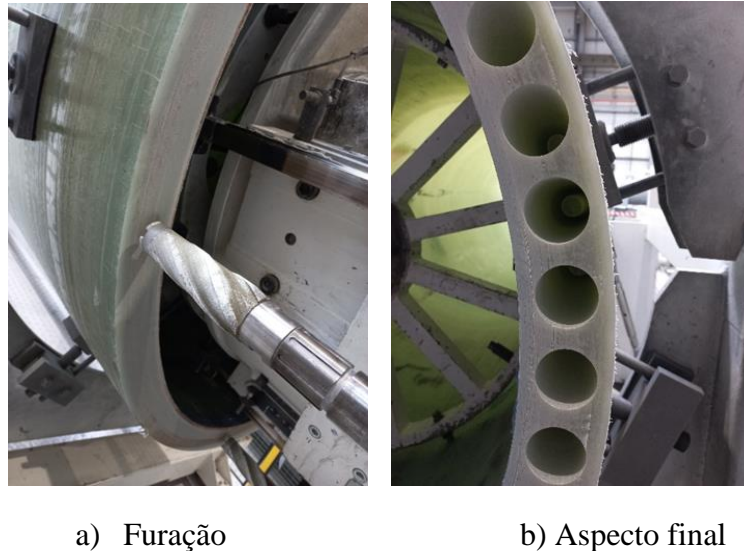


Figura 13 - Processo Interno da SGRE - Maquinação de Root

De acordo com documento interno IPF (Siemens Gamesa, 2023), para realizar os furos utilizaram-se brocas específicas, identificadas como A, B e C. A broca A, realiza o primeiro furo cilíndrico e curto, a B, faz o escaneamento das paredes do furo inicial e por fim, a broca C finaliza o furo.

A máquina que realiza este procedimento, possui aspiração interna, portanto todo o material em pó ou resíduo industrial é sugado e armazenado em grandes sacos, *big bags*, de 1000 kg.

Este subproduto recolhido será o material, pó, que é utilizado para a realização deste estudo.

3.6.2 Análise Granulométrica do Resíduo

A propriedade que pode ser considerada como a mais importante para análise, é a granulometria do resíduo, tendo-se utilizado para a avaliação dessa característica o protocolo definido na norma NP EN 933-1: 2000 “Metodo de Peneiração”.

Diante disso, testou-se o pó de polímero/vidro, a partir do peneiro de 1 mm, limitando assim a sua maior dimensão, com o objetivo de que se aproxime da Areia A1.

Na Tabela 6 a seguir apresentam-se os resultados da análise granulométrica, detalhes pormenorizados estão contidos no Apêndice A.

Tabela 6 - Análise Granulométrica do Pó Polímero/ vidro

PENEIROS Dimensão das (mm)	RETIDOS		RETIDOS ACUMULADOS	PASSADOS ACUMULADOS
	Ri (g)	%Ri (0.01 %)	$\Sigma\%Ri$ (0.01 %)	$\Sigma\%Pi$ (0.01 %)
63	0,00	0,00	0,00	100,00
40	0,00	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	0,00	100,00
20	0,00	0,00	0,00	100,00
16	0,00	0,00	0,00	100,00
14	0,00	0,00	0,00	100,00
12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
10	0,00	0,00	0,00	100,00
8	0,00	0,00	0,00	100,00
6,3	0,00	0,00	0,00	100,00
4,0	0,00	0,00	0,00	100,00
2,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1,0	0,17	0,60	0,60	99,40
0,5	0,70	2,50	3,10	96,90
0,25	5,59	20,03	23,13	76,87
0,125	6,19	22,19	45,32	54,68
0,063	8,93	32,04	77,36	22,64
Material restante no fundo (g)			6,31	

A Figura 14 apresenta a respetiva curva granulométrica.

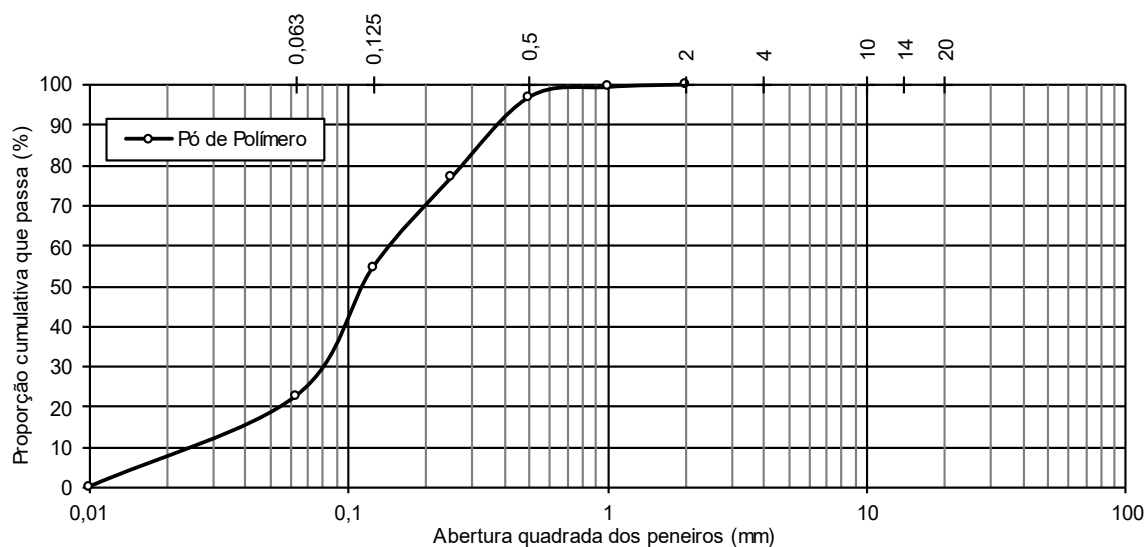


Figura 14 - Curva Granulométrica do Pó de Polímero/Vidro

O ensaio demonstrou que a partir do peneiro 0,063 mm houve o acúmulo do material. Um fato descoberto durante os ensaios, é que o pó de polímero/vidro demonstra um comportamento de elevada eletricidade estática, que pode estar correlacionada ao acúmulo do material nos peneiros.

Posterior à análise granulométrica, realizou-se o ensaio de “Determinação da baridade e do volume de vazios”, conforme a NP EN - 1097 - 3:2002 dos agregados (areias, britas, misturas). Contudo determinou-se apenas a baridade do material.

Para tanto foi calculado a densidade para que assim fosse possível determinar a baridade do material.

3- Metodologia e Caracterização dos Materiais

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (10)$$

Onde m é a massa e V é o volume. No entanto, para calcular a baridade foi usado a fórmula, a qual mede a densidade relativa de uma substância em relação a água.

$$\beta = \frac{\rho_{\text{Substância}}}{\rho_{\text{água}}} \quad (11)$$

Para este ensaio separaram-se três amostras dos provetes de betão com incorporação de resíduos para determinação do valor médio.

Conforme a Tabela 7, o peso do pó de polímero/vidro, num recipiente de 1 litro, era de 1.502,9 g, demonstrando que a densidade do material possui um valor muito baixo.

Quando adicionado na mistura do betão, o pó de polímero/vidro não é incorporado de forma total, o que ocasiona a acomodação do material nos espaços vazios ocasionados pelo ar na mistura do betão.

Tabela 7 - Ensaio Determinação da Densidade e Baridade

Peso do Recipiente Vazio (g)	1502,9
Volume do Recipiente	1 litro
Amostras	
1ª Amostragem de Peso (g)	550,80
2ª Amostragem de Peso (g)	542,60
3ª Amostragem de Peso (g)	548,30
Média de Peso (g)	547,23
Densidade do Pó (g/l)	547,23
Densidade do Pó (g/cm ³)	0,54723
Baridade	0,54723

A Figura 15 demonstra o processo de pesagem do pó de polímero/vidro.



Figura 15 - Análise da Densidade do Pó de Polímero/Vidro

3- Metodologia e Caracterização dos Materiais

Nas composições de mistura utilizadas, o pó de polímero/vidro substituiu o agregado mais fino, para isso utilizou-se como amostra controle, e após uma seleção de betões com taxas de substituição de 20%, 50% e 100% as quais foram nomeadas BT- Pó 20%, BT- Pó 50% e BT- Pó 100% respectivamente.

Esta metodologia, resultou em quatro tipos de betão a serem analisados, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Tipo de Betão Analisado

Tipo de Betão	Descrição
BT	Betão Sem Adições
BT- Pó 20	Betão com Incorporação de 20% de Pó de Polímero/Vidro
BT- Pó 50	Betão com Incorporação de 50% de Pó de Polímero/Vidro
BT- Pó 100	Betão com Incorporação de 100% de Pó de Polímero/Vidro

De modo a realizar a comparação entre o uso da (Areia A1) o pó de polímero/vidro apresenta-se a comparação das suas curvas granulométricas, na Figura 16.

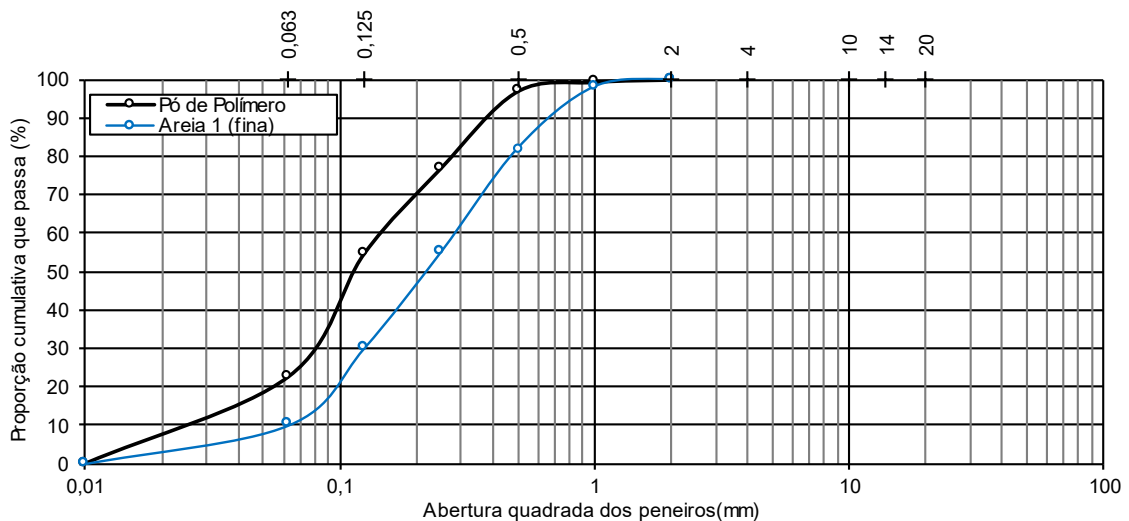


Figura 16 – Comparação Granulométrica Areia A1 e Pó de Polímero Vidro

Em seguida, Tabela 9, apresenta-se de forma detalhada a composição de cada amassadura, variando-se apenas o resíduo de pó de polímero/vidro e de (Areia A1).

Tabela 9 - Composição das Amassaduras

Constituintes	Tipo de Betão			
	BT	BT - Pó 20%	BT - Pó 50%	BT - Pó 100%
Cimento [kg]	38,52	38,52	38,52	38,52
Areia A1 [kg]	17,95	14,36	8,98	0,00
Areia A2 [kg]	35,89	35,89	35,89	35,89
Brita B1 [kg]	29,91	29,91	29,91	29,91
Brita B2 [kg]	65,80	65,80	65,80	65,80
Água [l]	19,26	19,26	19,26	19,26
Resíduos Industriais [kg]		3,59	8,98	17,95

A quantidade de betão produzido por 1m³, é apresentada na Tabela 10:

Tabela 10 - Quantidade de Betão Produzido (m³)

Tipo de Betão	Quantidade (m ³)
BT	0,1435
BT - Pó 20	0,1452
BT - Pó 50	0,1478
BT - Pó 100	0,1522

Após a comprovação que o equipamento, em particular a betoneira gravitacional, disponibilizado pelo laboratório de Materiais de Construção do Instituto Politécnico de Viseu, não reunia as condições necessárias para a produção de uma boa amassadura, realizou-se uma nova campanha experimental utilizando a betoneira fixa, cujos resultados estão dispostos no subtópico 7.1.

3.7 Síntese do Capítulo

Neste capítulo propôs-se caracterizar o material a ser utilizado na produção do betão, o pó de polímero/vidro e demonstrar os resultados obtidos nos ensaios de análise granulométrica e determinação de baridade.

Em relação aos ensaios realizados, notou-se que há a necessidade de estudos sobre a componente mecânica e durabilidade do betão. Compreender a durabilidade é essencial para garantir que as estruturas onde ele é utilizado sejam funcionais, seguras, e sustentáveis a longo prazo.

Nota-se que a composição do betão tem extrema importância no desempenho dos materiais. O uso de agregados e o resíduo de pó de polímero/vidro, foram feitos em ensaios laboratoriais para melhor aprofundamento das suas características e desempenho do betão.

3- Metodologia e Caracterização dos Materiais

A realização dos ensaios laboratoriais permitiu identificar que os agregados estão dentro dos padrões exigidos pelas normativas para a fabricação do betão, e que o resíduo apresenta granulometria idêntica à da (Areia A1).

No próximo capítulo apresenta-se a metodologia dos ensaios realizados para avaliar o desempenho do betão.

4. CAMPANHA EXPERIMENTAL

4.1 Introdução

Como apresentado, esta dissertação propõe-se a experimentar a incorporação de pó de polímero/vidro (resíduo industrial da fabricação de pás para torres eólicas) na composição do betão, com o objetivo de contribuir para a viabilização deste resíduo, tendo-se realizado testes em betão fresco e em betão endurecido. Neste capítulo serão apresentados os testes realizados em betão fresco e endurecido.

Para a efetivação da campanha experimental foi necessário o planeamento de todo o trabalho a ser realizado para otimizar o tempo e o processo. Para o betão fresco, os ensaios são utilizados para controlo de qualidade, produção e aplicação, tendo-se realizado os ensaios de abaixamento, massa volúmica e teor de ar.

Para o betão endurecido, os ensaios servem para caracterizar propriedades físicas e mecânicas, tendo-se realizado os seguintes ensaios: massa volúmica, resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e absorção de água por capilaridade e imersão.

4.2 Preparação da Campanha Experimental

Para este estudo realizou-se a comparação do betão sem adições (BT) com os betões com incorporação de resíduo BT- Pó 20, BT- Pó 50 e BT- Pó 100.

Em cada um dos betões foi necessária a realização de uma amassadura. No total foram preparadas quatro amassaduras, tendo-se produzido um total de 72 provetes.

Optou-se por moldes cúbicos e cilíndricos, diante da disponibilidade dos moldes e os quais estão de acordo com a norma NP EN 12390-1: 2012. Estes foram previamente limpos e lubrificados com óleo descofrante. As etapas de moldagem e cura foram realizadas conforme a NP EN 12390 - 2: 2009.

As características dos provetes e as quantidades produzidas, estão apresentadas abaixo. As quatro amassaduras resultaram em:

- 12 provetes cúbicos/amassadura – 48 cubos (150 x 150 mm²) no total;
- 06 provetes cilíndricos/amassadura – 24 cilindros, com tamanho de (300 x 150 mm²).

Neste processo são apresentados na Figura 17 os provetes cúbicos e cilíndricos já desenformados ou demoldados.



Figura 17 - Provetes Cúbicos e Cilíndricos

O processo de fabricação dos betões foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV). Na Tabela 11 são apresentados os ensaios realizados, bem como o tipo de provetes utilizados (provetes cúbicos e cilíndricos para ambos os estados do betão, fresco e endurecido).

Tabela 11 - Ensaio Realizados e Provetes Utilizadas

Estado do Betão	Ensaio	Tipo de Provede	N.º de Provede
Fresco	Abaixamento	—	—
	Determinação da massa volúmica		
	Teor de ar - método pressiométrico		
Endurecido	Ensaio à compressão	Cubos (150x150) mm ²	6
		Cilindro (300x150) mm ²	3
	Ensaio à tração por compressão diametral	Cilindro (300x150) mm ²	3
	Ensaio de determinação da absorção de água por imersão	Cubos (150x150) mm ²	3
	Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade	Cubos (150x150) mm ²	3
	Ensaio de massa volúmica		

Utilizou-se uma betoneira gravitacional, Figura 18, para auxílio da mistura dos materiais, para se obter uma mistura homogénea e com boa incorporação dos agregados no cimento.



Figura 18 - Betoneira Gravitacional

As amostras BT e BT-Pó foram realizadas em datas distintas devido à disponibilidade dos moldes cúbicos e cilíndricos. Na Tabela 12 apresentam-se as datas das amassaduras respeitantes a cada uma das amostras.

Tabela 12 - Data das Amassaduras

Tipo de Betão	Data da Amassadura
BT	27/04/2023
BT - Pó 20	11/05/2023
BT - Pó 50	22/06/2023
BT - Pó 100	13/07/2023

4.3 Ensaios do Betão Fresco

Os ensaios em betão fresco visam analisar características importantes para que os betões sejam bem utilizados nas obras, como por exemplo: a trabalhabilidade, a consistência e a fluidez.

Cada um dos testes foi realizado segundo a respectiva norma:

- Abaixamento - NP EN - 12350 - 2:2009;
- Massa Volúmica - NP EN - 12350- 6:2009;
- Teor de Ar - NP EN - 12350 - 7:2009.

De seguida caracterizam-se os ensaios realizados seguindo o estabelecido por Lourenço et al. no estudo do betão fresco e endurecido, com a substituição do agregado fino (areia) por cinzas de bio-massa e lama de cal.

4.3.1 Ensaio de Abaixamento

O ensaio de abaixamento do betão visa identificar a consistência do betão fresco e a sua trabalhabilidade, característica essa que está diretamente relacionada com a quantidade de água presente na relação A/C. Este ensaio foi o primeiro a ser executado e foi realizado para todas as amassaduras após a mistura na betoneira, seguindo a norma NP EN 12350-2:2009.

O teste consiste no abaixamento do betão após a sua compactação dentro do cone de molde troncocónico e na avaliação da diferença entre a altura do molde e o ponto mais alto do betão depois de desmoldado (Lourenço, 2016).

4.3.2 Massa Volúmica

A avaliação da massa volúmica tem como objetivo medir o grau de trabalhabilidade do betão no estado fresco, cuja importância é identificar a porosidade depois de endurecido, conforme a norma NP EN 12350 - 6:2009.

Este teste é baseado na determinação da massa de um recipiente de volume (V) e massa ($m1$), cheios de betão fresco compactado ($m2$).

O resultado é obtido através da equação seguinte:

$$D = \frac{(m2 - m1)}{V} \quad (12)$$

sob:

- D - massa volúmica de betão fresco, em kg/m³;
- $m1$ - massa do recipiente vazio, em kg;
- $m2$ - massa do recipiente completamente cheio de betão compactado, em kg;
- V - volume do recipiente, em m³.

4.3.3 Teor de Ar no Betão – Método Pressiométrico

Este ensaio permite verificar o volume de ar contido na mistura, pois o volume de ar pode influenciar na consistência final do betão:



Figura 19 - Equipamento para Medição do Teor de Ar

O teste é realizado conforme a norma NP EN - 12350 - 7: 2009. Antes da realização do teste foi feita a calibração do sistema.

De seguida realizou-se o cálculo de teor de ar no betão, com a seguinte expressão:

$$A_C = (A_1 - G) \quad (13)$$

onde:

- A_C - teor de ar do betão (%);
- A_1 - percentagem de ar indicado no manómetro (%);
- G - fator de correção dos agregados.

4.4 Ensaios do Betão Endurecido

Os ensaios do betão endurecido são utilizados para caracterizar o desempenho do betão ao longo do tempo em função de ações mecânicas e ambientais.

Os ensaios do betão endurecido estão descritos na Tabela 13, conforme o número de provetes utilizados e a idade de cada betão aquando do ensaio.

Tabela 13 - Ensaio do Betão Endurecido

Ensaio	BT		BT - Pó 20%		BT - Pó 50%	
	Idade (dias)	N.º de Provetes	Idade (dias)	N.º de Provetes	Idade (dias)	N.º de Provetes
Ensaio à Compressão	7	3 cubos	7	3 cubos	7	3 cubos
	21	3 cubos + 3 cilindros	21	3 cubos + 3 cilindros	21	3 cubos + 3 cilindros
Ensaio à tração por compressão diametral	21	3 cilindros	21	3 cilindros	21	3 cilindros
Ensaio de massa volúmica	18	3 cubos	21	3 cubos	21	3 cubos
Ensaio de determinação da absorção de água por imersão	56	3 cubos	109	3 cubos	67	3 cubos
Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade	98	3 cubos	89	3 cubos	43	3 cubos

4.4.1 Massa Volúmica

Ao realizar este teste em betão endurecido, tem-se por objetivo de analisar a sua compacidade, percentagem de vazios e o peso do material, sendo este último importante para o cálculo de uma estrutura.

Este ensaio é regido pela norma NP EN - 12390-7: 2009 “Ensaio de betão endurecido. Parte 7: Massa volúmica do betão endurecido”. A norma determina ainda que “*os provetes de betão conservados em água pelo menos 72h antes do ensaio, poderão considerar-se saturados a massa constante*” conforme apresentado na Figura 20.



Figura 20 - Pesagem Hidrostática

As amostras dos ensaios deste estudo foram retiradas após 18 dias para o betão (BT) e 21 dias para os betões experimentais (BT-Pó 20% e BT-Pó 50%), em provetes cúbicos, com três provetes para cada tipo de betão. A massa volúmica foi determinada para três tipos de massa dos provetes: massa do provete saturado; massa do provete seco em estufa e massa hidrostática do provete.

Segundo a norma, após 72h os provetes podem ser considerados saturados, sendo a sua massa obtida após estes serem removidos do tanque de cura (m_x), conforme apresentado na Figura 21.



Figura 21 - Provede Cúbico na Estufa Ventilada

De seguida, os provetes foram secos em estufa ventilada ($105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) e calculou-se a massa dos provetes secos em estufa (m_0), antes da pesagem aguardou-se 15 minutos para o arrefecimento dos provetes.

O cálculo da massa volúmica, é apresentado na seguinte equação :

$$D = \frac{M}{V} \quad (14)$$

Onde:

- D - massa volúmica relativa à condição do provete em kg/m^3 ;
- M - massa do provete (m_x , m_0) em kg;
- V - volume do provete em m^3 .

4.4.2 Resistência à Compressão

Este ensaio foi realizado conforme a norma NP EN - 12390-3: 2009 - “Ensaio de betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão dos provetes”.

4- Campanha Experimental

De acordo com Coutinho e Gonçalves (1994) este é um teste importante para a determinação da resistência do betão. Os ensaios foram realizados nos provetes com 7 e 28 dias de cura, para o tempo mais curto utilizaram-se 3 cubos e para o tempo mais longo utilizaram-se 3 cubos e 3 cilíndricos, as Figuras 22 e 23 apresentaram o ensaio.



Figura 22 - Ensaio de Compressão de um Provede Cilíndrico

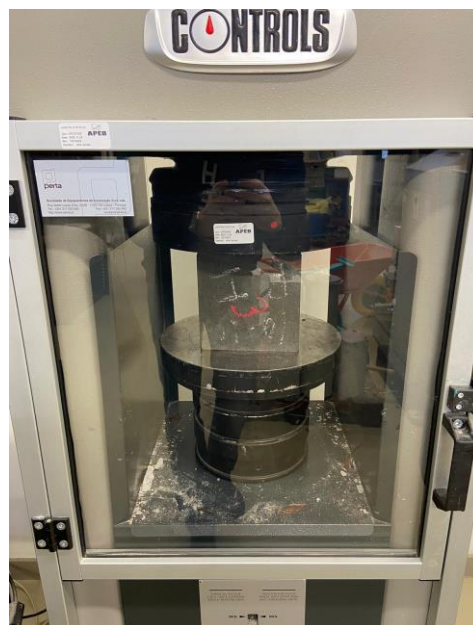


Figura 23 - Ensaio de Compressão de um Provede Cúbico

O cálculo da resistência à compressão é dado pela equação seguinte:

$$F_C = \frac{F_i}{A_C} \quad (15)$$

Onde:

- F_C - resistência à compressão em MPa (N/mm²);
- F_i - carga máxima à rotura, em N;
- A_C - área da secção transversal do provete, onde foi aplicada a força no provete, as medições foram feitas com o paquímetro, em mm².

4.4.3 Resistência à Tração por Compressão Diametral

A avaliação da resistência à tração foi feita por compressão diametral. Este ensaio permite avaliar como será o desempenho do betão no futuro e se a controlar as fissuras, por exemplo. (Coutinho e Gonçalves, 1994).

O ensaio foi feito no betão endurecido com 18 dias para o betão (BT) e 21 dias para os betões experimentais (BT-Pó 20% e BT-Pó 50%) de idade, conforme determina a norma NP EN - 12390-6: 2003 “Ensaio ao betão endurecido. Parte 6: Resistência à tração por compressão dos provetes”.

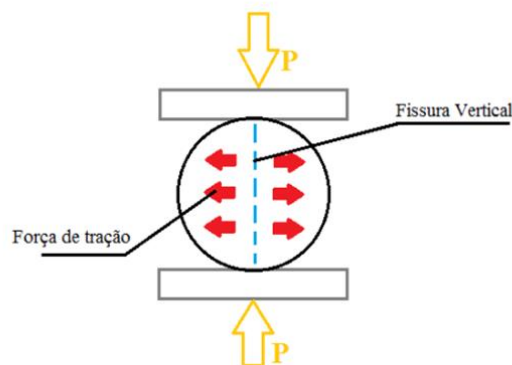


Figura 24 - Esquema de Ensaio por Tração Diametral

Fonte: Lourenço, 2016

Para realizar o ensaio, o provete foi colocado numa prensa hidráulica, com auxílio de um posicionador. Este processo gera tensões ortogonais e provoca a rotura do provete por tração, conforme apresentado na Figura 24 (Lourenço, 2016)

Para o cálculo da tração usou-se a seguinte equação:

$$f_{ct} = \frac{(2 \times F)}{(\pi \times L \times D)} \quad (16)$$

Onde:

- f_{ct} - resistência à tração por compressão (MPa); Digite a equação aqui.

- F - carga máxima (N);
- L - comprimento da linha de contato do provete (mm);
- D - diâmetro da secção transversal (mm).

4.4.4 Absorção de Água por Capilaridade

A absorção de água por capilaridade tem por objetivo determinar qual a capacidade do betão em absorver um líquido através dos seus vasos capilares. Logo, este ensaio irá determinar quanto os poros do betão influenciam a absorção da água. (Coutinho e Gonçalves, 1994).

Este ensaio é regido pela especificação LNEC - E393:1993 - “Betões - Determinação da absorção de água por capilaridade” e foi feita no betão com 98 dias para o betão (BT), 89 dias para o betão experimental BT-Pó 20% e 43 dias para o betão experimental BT-Pó 50%, de idade. A Figura 25 apresenta o ensaio realizado.



Figura 25 - Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade em Provete Cúbicos
Inicialmente, os provetes foram secos numa estufa ventilada a $40 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 14 dias.
O cálculo seguiu a equação seguinte:

$$A_i = \frac{(m_i - m_0)}{A_C} \quad (17)$$

Onde:

- A_i - absorção por capilaridade no momento t_i (g/mm^2);
- m_i - massa do provete em contato com a água (g);
- m_0 - massa do provete seco em estufa (g);
- A_C - área da face interior do provete que está em contato com a água, (mm^2).

4.4.5 Absorção de Água por Imersão

Este ensaio visa compreender a durabilidade do betão, pois permite avaliar a porosidade aberta do mesmo.

A porosidade aberta pode resultar do excesso de água na amassadura, do ar retido na mistura do betão ou ainda da absorção de água pelos agregados. Logo, este ensaio, é importante para medir o volume de vazios, ainda que o volume não seja preenchido pela água. (Coutinho e Gonçalves, 1994).

A Figura 26 apresenta o ensaio realizado.



Figura 26 - Ensaio de Absorção de Água por Imersão Provete Cúbicos e Cilíndricos

O ensaio é regido pela especificação LNEC E394 - 1993 “Betões - Determinação da absorção de água por imersão - ensaio à pressão atmosférica”.

A determinação da observação segue a equação seguinte:

$$A_i = \left(\frac{(m_1 - m_3)}{(m_1 - m_2)} \right) \div 100 \quad (18)$$

Onde:

- A_i - Absorção de água por imersão (%);
- m_1 - Massa do provete saturado no ar - (g);
- m_2 - Massa hidrostática do provete saturado (g);
- m_3 - Massa do provete seco (g).

4.5 Estudo Externo

4.5.1 Amassadura em Betoneira Fixa

Após a comprovação que o equipamento, em particular a betoneira gravitacional, disponibilizado pelo laboratório de Materiais de Construção do Instituto Politécnico de Viseu, não reunia as condições necessárias para a produção de uma amassadura mais homogênea, partiu-se em busca de outros parceiros, na tentativa de conseguir uma amassadura melhorada.

Chegou-se assim ao contacto com a empresa de artefactos de betão, ACC - Almeida e Cunha & Chaves, Lda, a quem exposémos a ideia de reutilização do resíduo industrial como substituto de um material que é utilizado na mistura produzida pela empresa. Por se tratar de uma inovação, a empresa mostrou-se interessada em colaborar no trabalho.

Destaca-se que, devido à grande produção, a empresa possui uma betoneira fixa apresentada na Figura 27, a qual proporciona uma melhor mistura dos materiais.



Figura 27 - Betoneira Fixa

A Figura 28 apresenta a aparência do betão, após a mistura na betoneira fixa.



Figura 28 - Betão Incorporado de Resíduos - Betoneira Fixa

O betão de ensaio foi depositado em cubos, conforme apresentado na Figura 29, e ensaiado para as idades de 7 e 28 dias conforme sua apresentação no tópico 7.1.

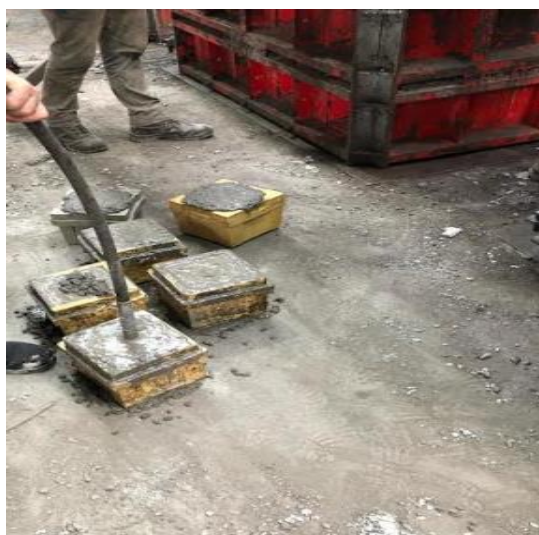


Figura 29 – Cubos de Betão

4.5.2 Características das Amassaduras

Foram realizados duas amassaduras (duas composições), a primeira delas não foi bem-sucedida, pois como se trata de um resíduo industrial não testado anteriormente, necessitou de correções no processo de amassadura na betoneira fixa.

As quantidades de materiais utilizados no primeiro ensaio, são descritas nas Tabelas 14 e 15, respetivamente com e sem resíduo, pó de polímero/vidro.

A designação do resíduo, a partir deste ponto, passa a ser resíduo industrial (Rindust), pois não foi estabelecido nenhum valor específico da quantidade de material a ser incorporado na mistura.

Tabela 14 - Quantidade de Agregados (Kg) - Betão Convencional Amassadura 1

Betão Convencional	
Local de Realização	ACC
Data de Fabricação	26/10/23
Materiais	Quantidades
Brita	600 kg
Areia Fina	300 kg
Areia Média	276 kg
Pó de Pedra	114 kg
Cimento 42,5R	200kg

A título de informação será apresentado a primeira amassadura realizada na betoneira fixa. Entretanto, ele não deve ser considerado para análise devido ao problema ocorrido.

Tabela 15 - Quantidade de Agregados (Kg) – Betão Com Resíduos Ensaio 1

Betão Experimental	
Local de Realização	ACC
Data de Fabricação	26/10/23
Materiais	Quantidades
Brita	601 kg
Areia Fina	200 kg
Areia Média	276 kg
Resíduo Industrial	90 kg
Cimento 42,5R	200kg

Devido ao excesso de pó de polímero/vidro utilizado, houve o acúmulo dele resultando em uma massa seca que travou as lâminas da betoneira. Sendo assim, foi necessária a abertura da tampa de saída de material, logo, grande parte dos inertes foram rejeitados, e perdeu-se referência da amassadura.

Na segunda amassadura, a composição foi alterada, pois a empresa precisava de utilizar a mistura para fins comerciais independentemente do teste que estava a ser realizado, portanto os ajustes foram feitos nos parâmetros da receita inicial para que fosse possível a trabalhabilidade e o uso da mistura realizada com o resíduo industrial. Além das modificações nas quantidades da composição incluiu-se o aditivo pois no primeiro ensaio a amassadura mostrou-se seca, Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 - Quantidade de Agregados (Kg) - Betão Convencional Composição 2

Betão Convencional	
Local de Realização	ACC
Data de Fabricação	10/11/23
Materiais	Quantidades
Brita	601 kg
Areia Fina	300 kg
Areia Média	276 kg
Pó de Pedra	114 kg
Cimento 42,5R	200kg
Aditivo	1,5 litros
Água	70 litros

Tabela 17 - Quantidade de Agregados (Kg) - Betão Com Resíduos Composição 2

Betão Experimental	
Local de Realização	ACC
Data de Fabricação	10/11/23
Materiais	Quantidades
Brita	625 kg
Areia Fina	190 kg
Areia Média	376 kg
Pó de Pedra	80 kg
Cimento 42,5R	200kg
Resíduo Industrial	40 kg
Aditivo	1,5 litros
Água	76 litros

Com base nas quantidades de materiais utilizados, calculou-se a quantidade de material produzido (m^3), apresentado na Tabela 18:

Tabela 18 - Quantidade de Betão Produzido (m^3)

Tipo de Betão	Quantidade (m^3)
Betão Convencional	0,662
Betão com Resíduos	0,661

Como não era previsto o comportamento da amassadura com a introdução do resíduo e para evitar o problema de perda de material, foi-se ajustando as composições das duas amassaduras, portanto, tornou-se desafiador estabelecer comparações do Betão Normal ao Rindust, pois seria necessário realizar outros testes para melhoria das composições e assim chegar a um ponto ótimo.

O ponto positivo da utilização do resíduo é que o mesmo proporcionou plasticidade no betão, permitindo reduzir os custos que a ACC suporta actualmente com o plasticizante comercial que adiciona à mistura, e gerando ganhos financeiros para ambas empresas.

O plastificante não está contemplado nesta composição e foi substituído pelo pó polímero/vidro. Contudo, realça-se a necessidade de afinar a composição ou formulação do betão com o uso do resíduo.

4.6 Síntese do Capítulo

Este capítulo refere-se ao ensaio experimental com uso da betoneira fixa, tendo-se confirmado que o uso da betoneira gravitacional não é o mais apropriado para geração deste tipo de amassadura.

Com a perda da primeira mistura, realizou-se o segundo ensaio para analisar o comportamento das amassaduras realizadas.

Nota-se a necessidade de continuação dos estudos de betão com incorporação de polímero de pó/vidro para que sua eficácia seja comprovada.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados e analisados os resultados dos ensaios realizados na campanha experimental.

O capítulo 5 está voltado para os ensaios de betão em estado fresco e o capítulo 2 para os betões em estado endurecido. Nos subcapítulos pretende-se avaliar o desempenho de betões com as diferentes taxas de substituição do agregado fino (Areia A1) por de pó de polímero/vidro em percentagens de 20, 50 e 100%.

Dos pontos 5.2 a 6.2.5 os resultados foram obtidos com o uso da betoneira gravitacional, disponibilizada pelo laboratório de Materiais de Construção do DEC/ESTGV. Após a realização notou-se que essa betoneira não reunia as condições necessárias para produção de uma amassadura homogênea.

Diante deste fato partiu-se em busca de outros parceiros, os quais dispunham de uma betoneira fixa, na tentativa de conseguir uma amassadura mais homogênea, sendo assim uma nova campanha experimental foi feita com o uso desta betoneira. Os resultados são apresentados nos tópicos 7.1

5.1 Análise das Curvas Granulométricas

Os ensaios realizados no betão fresco e endurecido, apresentaram que as curvas granulométricas das areias e as britas são as mesmas de Lourenço (2016), uma vez que as curvas são muito semelhantes, por esse motivo não se alterou na tese. Destaca-se que na legenda do gráfico, onde temos os inertes com o “C”, refere-se a Lourenço e os inertes com “R”, são os atuais.

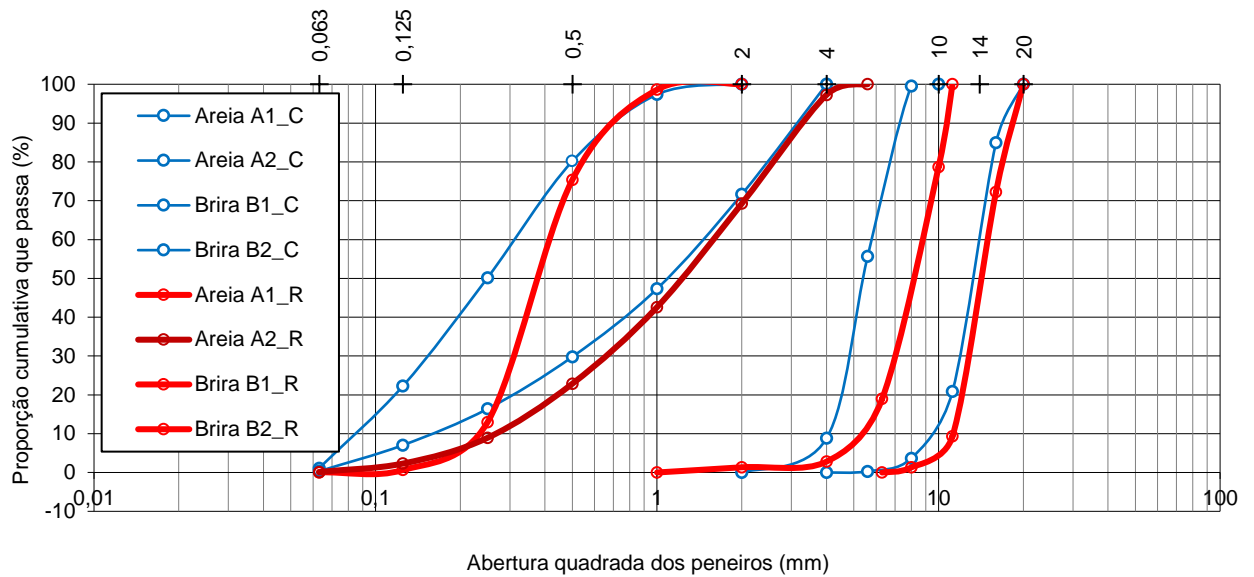


Figura 30 - Comparação das Curvas Granulométricas da Lourenço e do Material Utilizado nesse estudo no Laboratório.

Observou-se no decorrer da realização da campanha experimental que o uso da betoneira gravitacional disponibilizado pelo laboratório de Materiais de Construção do Instituto Politécnico de Viseu, não reunia as condições necessárias para a produção de uma boa amassadura, realizou-se a campanha experimental com o uso da betoneira fixa/lâminas na empresa ACC, onde os resultados estão dispostos no tópico 7.1.

Apresenta-se nas Tabelas 19, 20 e 21 a análise granulométrica das areias e britas utilizadas no processo de amassadura da empresa ACC, as informações pormenorizadas estão dispostas nos apêndices A, B e C.

Tabela 19 - Análise Granulométrica Areão Método de Peneiração NP EN 933-1

PENEIROS		RETIDOS		RETIDOS ACUMULADOS	PASSADOS ACUMULADOS
Dimensão das Aberturas	Ri	%Ri	±%Ri	±%Pi	
(mm)	(g)	(0.01%)	(0.01%)	(0.01%)	
63	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
11,2	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
6,3	4,80	0,85	0,85	99,15	
5,6	0,00	0,00			
4,0	82,20	14,51	15,35	84,65	
2,0	140,80	24,85	40,20	59,80	
1,0	104,70	18,48	58,67	41,33	
0,5	88,10	15,55	74,22	25,78	
0,25	66,70	11,77	85,99	14,01	
0,125	50,70	8,95	94,94	5,06	
0,063	27,10	4,78	99,72	0,28	
Material restante no fundo (g)				1,60	

A empresa ACC utiliza um areão 0 - 6, o que demonstra uma areia de granulometria extensa. Que depois preenche com brita 4 - 12 também de granulometria extensa. Criando um betão compacto com poucos vazios, parâmetro medido.

Tabela 20 - Análise Granulométrica Areia Lavada Método de Peneiração NP EN 933-1

PENEIROS		RETIDOS		RETIDOS ACUMULADOS	PASSADOS ACUMULADOS
Dimensão das Aberturas	Ri	%Ri	±%Ri	±%Pi	
(mm)	(g)	(0.01%)	(0.01%)	(0.01%)	
63	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
11,2	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
5,6	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
4,0	9,40	3,81	3,81	96,19	
2,0	54,20	21,94	25,75	74,25	
1,0	60,40	24,45	50,20	49,80	
0,5	48,70	19,72	69,92	30,08	
0,25	37,40	15,14	85,06	14,94	
0,125	23,90	9,68	94,74	5,26	
0,063	12,60	5,10	99,84	0,16	
Material restante no fundo (g)				0,40	

Uma composição de betão tem que ser o mais compacto possível, sem deixar espaços vazios, por isso são necessárias areias mais finas, mas não muito finas. O pó tem que ser retirado porque ocupa o lugar do cimento e como o cimento não é totalmente aproveitado o betão perde resistência, por isso é que é lavada

Tabela 21 - Análise Granulométrica da Brita Método de Peneiração NP EN 933-1

PENEIROS		RETIDOS		RETIDOS ACUMULADOS	PASSADOS ACUMULADOS
Dimensão das Aberturas (mm)	Ri (g)	%Ri (0.01%)	ΣRi (0.01%)	Σ%Pi (0.01%)	
63	0,00	0,00	0,00	100,00	
40	0,00	0,00	0,00	100,00	
31,5	0,00	0,00	0,00	100,00	
25	0,00	0,00	0,00	100,00	
20	0,00	0,00	0,00	100,00	
16	0,00	0,00	0,00	100,00	
14	0,00	0,00	0,00	100,00	
12,5	138,80	6,88	6,88	93,12	
11,2					
10	707,70	35,09	41,97	58,03	
8	608,10	30,15	72,12	27,88	
6,3	425,50	21,10	93,22	6,78	
5,6	106,10	5,26	98,48	1,52	
4,0	16,70	0,83	99,31	0,69	
2,0	5,50	0,27	99,58	0,42	
1,0					
0,5					
0,25					
0,125					
0,063	7,10	0,35	99,93	0,07	
Material restante no fundo (g)				1,40	

Na Figura 30 faz-se a comparação com as curvas granulométricas de Lourenço (2016) e as obtidas nos ensaios realizados na empresa ACC.

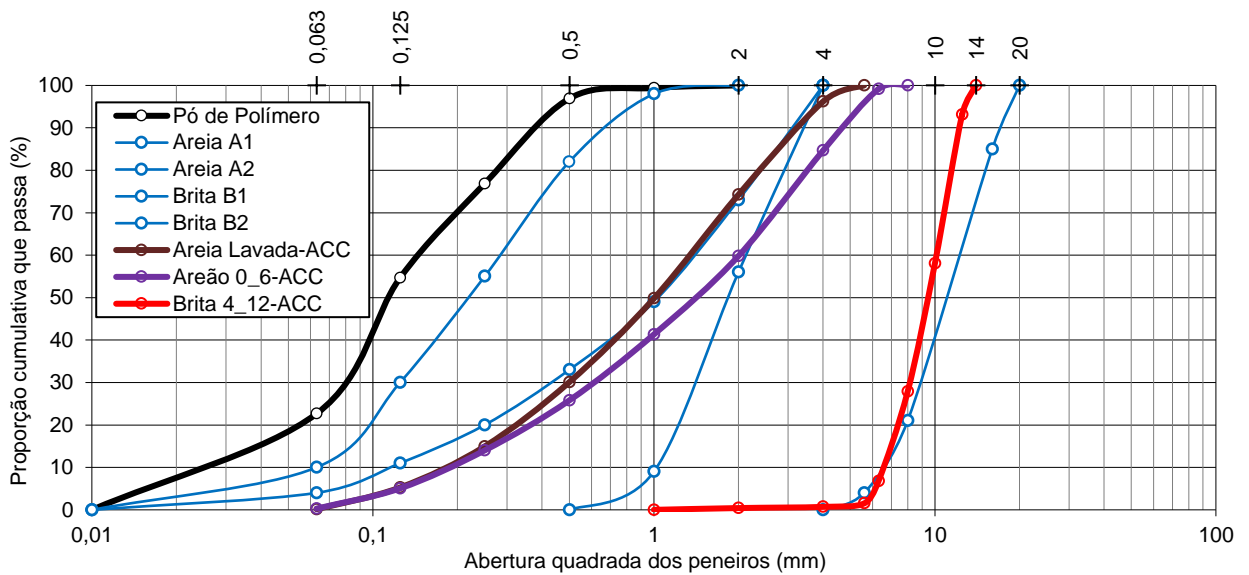


Figura 31 - Curvas Granulométricas Comparativo Lourenço (2016) x ACC - NP EN 933-1

Observa-se assim uma similaridade entre a Areia A2 e a areia lavada, por outro lado, a areia lavada e o areão são muito semelhantes. No gráfico podemos observar que a areia A1 não corresponde a nenhuma. A brita utilizada pela ACC está de acordo com a Brita de Lourenço (2016).

Apresentam-se em seguida os ensaios realizados com no betão fresco e endurecido, posteriormente, os resultados da campanha experimental com os betões da empresa ACC.

5.2 Ensaio do Betão Fresco

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados dos ensaios realizados em betão fresco, sendo eles: ensaio de abaixamento, ensaio de massa volúmica e ensaio de determinação do teor de ar pelo método pressiométrico.

Para cada tipo de betão realizou-se um ensaio, apenas no ensaio de determinação de teor de ar foram executadas três medições.

Os detalhes mais pormenorizados apresentam-se nos Apêndices B e C.

5.2.1 Ensaio de Abaixamento

O ensaio de abaixamento visa avaliar a consistência do betão fresco, e por consequência a sua trabalhabilidade. Definiu-se a classe S2 como a classe de consistência pretendida.

De acordo com a NP EN 12350 - 1: 2009 "Ensaio de betão fresco", esta classe de consistência define que o abaixamento deve situar-se entre 10 e 40 mm.

Na Tabela 22 apresentam-se os resultados observados em cada tipo de betão. Dos betões com substituição da (Areia A1) por pó de polímero/ vidro, o betão tipo BT - Pó 20, onde a (Areia A1) foi substituída em 20% pelo resíduo, foi o único a apresentar abaixamento dentro da classe de consistência pretendida (S2).

Tabela 22 - Resultados do Ensaio do Abaixamento

Tipo Betão	Altura (mm)	Classe de Consistência
BT	27	S2
BT - Pó 20%	15	S2
BT - Pó 50%	Abaixamento Inexistente pela condição seca da amassadura	---
BT - Pó 100%	Abaixamento Inexistente pela condição seca da amassadura	---

Fonte: Elaboração do Autor

Pelo contrário, o betão BT - Pó 50% e BT - Pó 100% onde ocorreu substituição de finos em 50% e 100% respetivamente, não apresentaram abaixamento.

Ao olhar as amassaduras, notou-se um comportamento bastante seco, sendo proveniente do aumento do percentual do pó de polímero/ vidro incorporado à mistura.

Na composição BT - Pó 100%, a amassadura apresentou-se tão seca, sendo impossível a trabalhabilidade.

Vale destacar ainda que, as amassaduras não apresentaram boa homogeneidade na mistura resultante da composição, conforme demonstrado na Figura 31, tendo-se constatado ainda, que a betoneira por mistura gravitacional, não seria a mais indicada para o trabalho, portanto entende-se que os dados poderiam ser inconclusivos. Pressupõe que o aumento da quantidade de água ou a introdução um plastificante a mistura seriam uma possibilidade para melhor o resultado, contudo seria alterado todo o parâmetro da mistura, a semelhança do ocorrido na ACC.

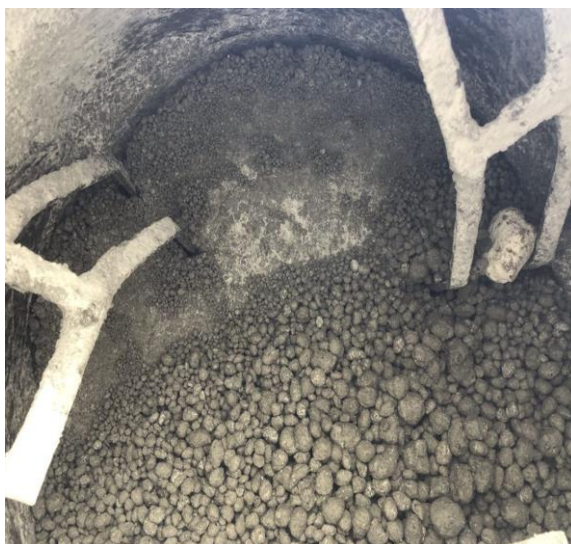


Figura 32 - Mistura Não Homogênea Dentro da Betoneira

5.2.2 Determinação da Massa Volúmica

Conforme os valores apresentados na Tabela 23, permite confirmar que a incorporação de resíduos por substituição de agregados finos não exerce muita influência na massa volúmica do betão fresco.

Tabela 23 - Resultados da Massa Volúmica do Betão em Estado Fresco

Tipo Betão	Massa Volúmica (kg/m ³)
BT	2296
BT - Pó 20 %	2313
BT - Pó 50%	2252
BT - Pó 100 %	2102

Os valores obtidos de massa volúmica para os betões com resíduos são próximos do valor do betão convencional, apenas no betão BT - Pó 20% ocorre um acréscimo 0,76% com relação ao convencional, conforme pode ser observado na Figura 32.

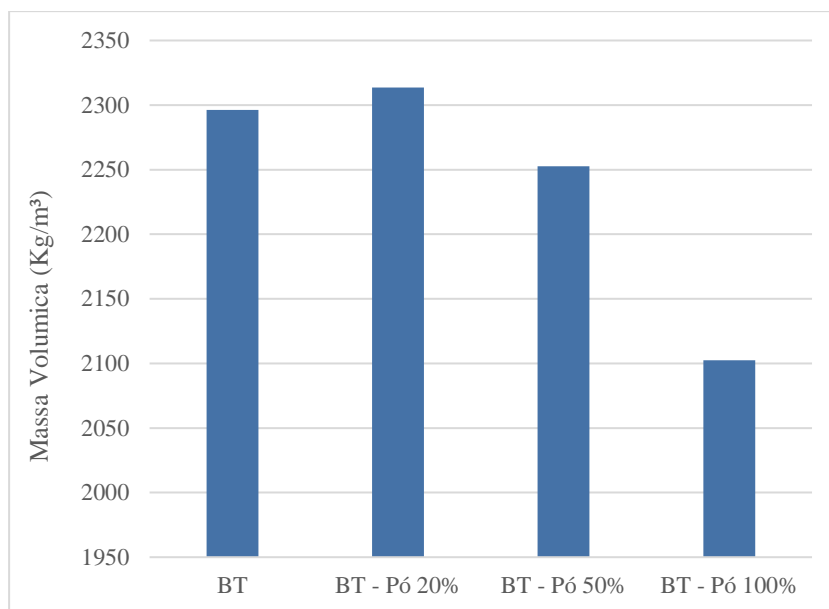


Figura 33 - Ensaio Massa Volúmica

Os demais betões, BT - Pó 50% e betão BT - Pó 100% apresentam um decréscimo de 1,90% e 8,43% com relação ao convencional.

A diferença pode ser explicada, tendo em consideração o processo de compactação utilizado, o BT foi compactado de forma manual, enquanto os demais foram compactados com o vibrador.

A forma de compactação entre o BT e o BT - Pó foi alterada devido a disponibilidade do vibrador e optou-se por utilizá-lo.

5.2.3 Determinação do Teor de Ar no Betão - Método Pressiométrico

A tabela 24 demonstra que quanto maior a taxa de substituição de agregados finos por resíduos, menor o valor de teor de ar no betão.

Tabela 24 - Teor de Ar (%)

Tipo de Betão	Teor de Ar (%)
BT	1,4
BT - Pó 20%	0,7
BT - Pó 50%	0,2
BT - Pó 100%	-

Nota-se também que os valores de teor de ar diferem entre si conforme o aumento de resíduos finos, o betão convencional (BT) apresenta o teor de ar de 1,4%.

Conforme pode ser observado na Figura 33, o teor de ar diminui conforme a maior incorporação de resíduos.

Com a incorporação de 20% de pó polímero/vidro no teor de ar, foi de 0,7% enquanto no BT-Pó de 50% o valor é de 0,2%.

A explicação para esse comportamento, está no fato de que o pó tem como característica física ser muito fino. Logo, ele se acomodou nos espaços vazios da mistura.

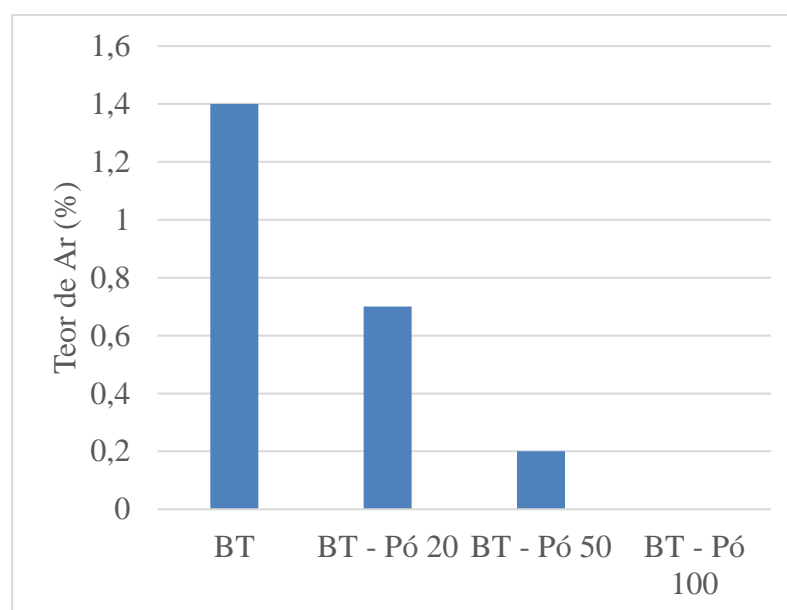


Figura 34 - Ensaio de Teor de Ar no Betão Fresco

Para o BT - Pó 100% não foi possível calcular o teor de ar, pois existiam muitos espaços vazios na amassadura.

Esta questão deve-se à betoneira não ser capaz de realizar a amassadura.

Quando foi colocado o betão no molde cúbico e levado para o equipamento de verificação de ar, ela demonstrou-se inconclusiva.

5.3 Ensaio do Betão Endurecido

Neste subcapítulo são apresentados e analisados os resultados dos ensaios feitos em betão endurecido.

Os valores são apresentados em valores médios, encontrando-se nos Apêndices D-E-F-G e H os resultados detalhados destes ensaios.

5.3.1 Determinação da Massa Volúmica

Os resultados da massa volúmica dos betões são expostos na Tabela 25, a massa volúmica foi determinada através da obtenção das massas dos provetes cúbicos.

Ao todo, três massas foram obtidas dos provetes: i) Massa dos Provetes Saturados (Mx) o qual se refere ao peso dos provetes após estarem completamente saturados com água; ii) Massa dos Provetes Secos em Estufa (Mo) esta massa é obtida após os provetes serem completamente secos em estufa para remover toda a umidade presente.

Esse processo de secagem permite determinar qual a quantidade de água presente no provete, e como ela afeta as propriedades do betão, como resistência à compressão e durabilidade, por exemplo. iii) Massa Hidrostática dos Provetes (Mhid), a qual é utilizada para medir a massa do provete quando submerso em água.

Tabela 25 - Massa Volúmica em Valores Médios no Betão em Estado Endurecido

Tipo de Betão	Tipo De Massa	Massa Volúmica (Kg/m ³)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
BT	Mx	2344	8,51	0,56
	Mhid	2190	11,93	0,54
	Mo	1341	7,57	0,36
BT - Pó 20%	Mx	2318	22,72	0,98
	Mhid	2162	19,62	0,91
	Mo	1319	11,39	0,86
BT - Pó 50%	Mx	2290	7,64	0,33
	Mhid	2125	6,25	0,29
	Mo	1288	7,57	0,59
BT - Pó 100%	Mx	---	---	---
	Mhid	---	---	---
	Mo	---	---	---

Nota: Valores aproximados a dezena

Observa-se que em cada um dos betões com incorporação do pó de vidro possuem uma massa volúmica menor do que o betão referência, pois o pó polímero/vidro é menos denso que a (Areia A1) substituída.

5.3.2 Ensaio de Resistência à Compressão

A resistência à compressão dos betões foi avaliada nos dias 7 e 21 em cubos e cilindros. Em cada ensaio utilizou-se três provetes, sendo importante ressaltar que no caso do betão BT - Pó 100% não apresentou resultados válidos.

Na tabela 26 é possível constatar que a resistência obtida em provetes cúbicos é maior que a registrada em cilindros, como era previsto. Porém, é visível a diferença de resistência em cada um dos provetes, verifica-se a redução da resistência nos betões com resíduos incorporados quando comparados ao betão referência.

Tabela 26 - Resistência à Compressão do Betão

	Provete	Dias	Tensão (MPa)		Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
BT	Cubo	7	28,98	29,89	0,90	3,01
			30,78			
			29,92			
	Cubo	21	34,25	33,47	0,72	2,15
			33,34			
			32,83			
	Cilindro	21	27,50	22,43	5,20	23,18
			22,68			
			17,11			
BT - Pó 20%	Cubo	7	25,20	25,55	0,55	2,14
			26,18			
			25,27			
	Cubo	21	30,76	30,24	0,47	1,56
			29,84			
			30,12			
	Cilindro	21	24,47	25,60	2,34	9,12
			28,29			
			24,05			
BT - Pó 50%	Cubo	7	25,44	25,73	0,47	1,84
			26,28			
			25,48			
	Cubo	21	32,81	32,76	0,30	0,91
			33,03			
			32,44			
	Cilindro	21	27,17	28,58	2,09	7,33
			30,99			
			27,59			

Do ensaio realizado em cubos, demonstra-se que a incorporação dos resíduos resulta numa diminuição da resistência à compressão do betão, quando comparado com o BT.

Essa variação de resistência foi mais acentuada no betão BT-Pó 50%, com uma variação de 1,84% aos 7 dias e 0,91% aos 21 dias em relação ao betão de referência (BT).

O betão BT - Pó 100% não foi possível de ser calculado, a resistência à compressão, chegou-se ao entendimento que a mistura não foi homogênea o suficiente, de modo que fosse possível acomodar a amassadura nos moldes cúbicos e cilíndricos.

Para evoluir com esta amassadura, seria interessante utilizar uma betoneira de lâminas em detrimento da gravitacional.

5.3.3 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

Na Tabela 27 apresentam-se os resultados do ensaio de resistência à tração diametral dos provetes, bem como os resultados individuais de cada provete.

Tabela 27 - Resistência à Tração por Compressão Diametral

Tipo Betão	Provete	Tensão (Mpa)	Tensão (Mpa)	Coefficiente de Variação (%)
BT	Cilindro_Bc.16	5,41	6,13	10,20
	Cilindro_Bc.17	6,48		
	Cilindro_Bc.18	6,05		
BT - Pó 20%	Cilindro_Bt_Pó.20.16	5,08	5,81	1,20
	Cilindro_Bt_Pó.20.17	5,75		
	Cilindro_Bt_Pó.20.18	5,88		
BT - Pó 50%	Cilindro_Bt_Pó.50.16	6,25	6,90	9,40
	Cilindro_Bt_Pó.50.17	7,55		
	Cilindro_Bt_Pó.50.18	6,09		

Observa-se que a resistência dos betões com incorporação de pó de polímero/vidro divergem conforme o aumento percentual dos resíduos, em comparação ao BT, o BT – Pó 50% é o que apresenta maior resistência com 6,90 (MPa)

Comparando-se os betões BT- Pó 20% e BT - Pó 50%, o primeiro apresenta menor resistência à tração.

5.3.4 Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

Apresentam-se, na Tabela 28, os resultados obtidos por capilaridade, estando no Apêndice G os resultados mais detalhados.

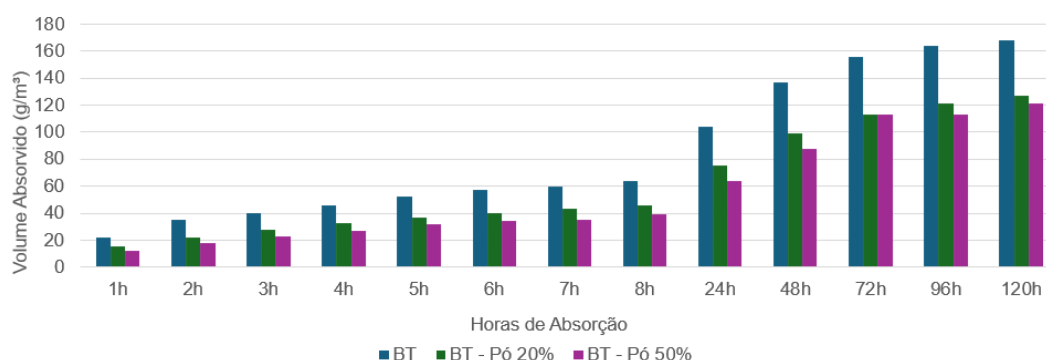


Tabela 28 – Absorção de Água por Capilaridade (g/mm²)

Os betões com incorporação de resíduos até às 8h mantêm o mesmo padrão de absorção que o betão referência, entretanto, a longo prazo, observa-se que o betão BT - Pó 50% absorve mais água a partir das 48h mantendo-se em absorção contínua.

O BT - Pó 20% também se mantém em absorção contínua, embora em menor grau quando comparado ao betão BT - Pó 50%. Como possuem menos vazios, a capacidade de absorver água devido a higroscópica da resina, tende a absorver menos água.

5.3.5 Ensaio de Absorção de Água por Imersão

Apresentam-se a seguir, tabela 29, os resultados médios da absorção por imersão, os mesmos encontram-se mais detalhados no Apêndice H.

Tabela 29 - Absorção de Água por Imersão

Tipo Betão	Tempo	Coeficiente de Variação (%)	Tempo	Coeficiente de Variação (%)	Tempo	Coeficiente de Variação (%)
	24h		48h		72h	
BT	15,34	0,075	14,63	0,079	14,72	0,171
BT- Pó 20%	15,31	0,26	15,49	0,28	15,13	0,17
BT- Pó 50%	16,09	0,108	15,87	0,203	15,98	0,125

Nota-se que o betão referência ao longo do tempo reduz a absorção de água por imersão, enquanto os betões com incorporação naturalmente têm uma absorção percentual maior.

Quando comparado ao BT- Pó 50% e BT - Pó 20% , o primeiro é o que demonstra maior absorção ao longo do tempo, superando o BT - Pó 20%.

Estes resultados permitem observar qualquer tendência entre a quantidade de resíduo incorporado e a quantidade de água absorvida, como se observou na absorção de água por capilaridade.

5.4 Ensaio Betoneira Fixa/Lâminas

Neste subcapítulo são apresentados e analisados os resultados dos ensaios feitos na betoneira fixa/lâminas.

Na Tabela 30 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão realizados e correspondem aos dias 7 dias de idade.

Tabela 30 – Resistência à Compressão dos Betões de ACC

Referência	Tipo	Data		Idade (Dias)	Massa do Proveto (kg)	Rotura	
		Fabrico	Ensaio			Força (KN)	Tensão (MPa)
Normal 1	Cubo	11/10/2023	11/17/2023	7	8,10	928,0	41,24
Normal 2	Cubo	11/10/2023	11/17/2023	7	8,28	980,0	43,55
Rindust 1	Cubo	11/10/2023	11/17/2023	7	7,65	597,1	26,54
Rindust 2	Cubo	11/10/2023	11/17/2023	7	7,61	618,3	27,48

Em relação à massa das amassaduras, as mesmas foram reduzidas para o dia 7, conforme apresentado na Figura 34.

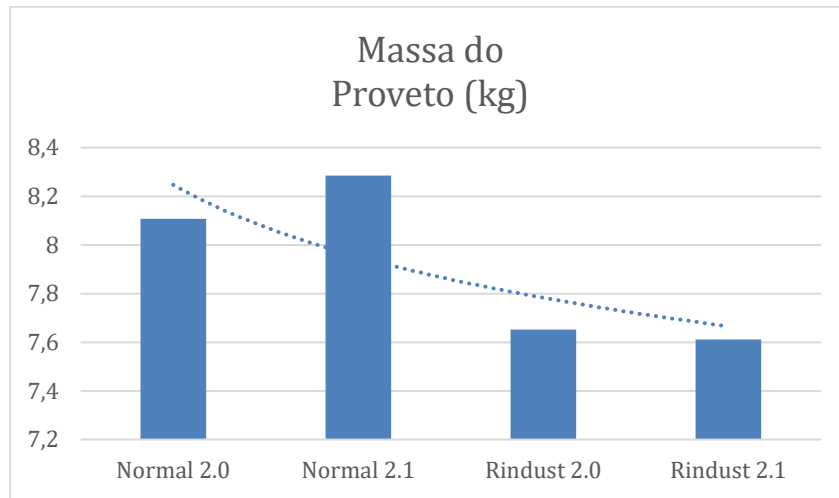


Figura 35 - Massa do Provete 7 Dias

Realizou-se o teste de resistência à compressão diametral para observar a tensão (MPa). Observa-se que a resistência dos betões com incorporação de resíduos foi menor quando comparadas com o betão referência, no período de 7 dias conforme a Figura 35.

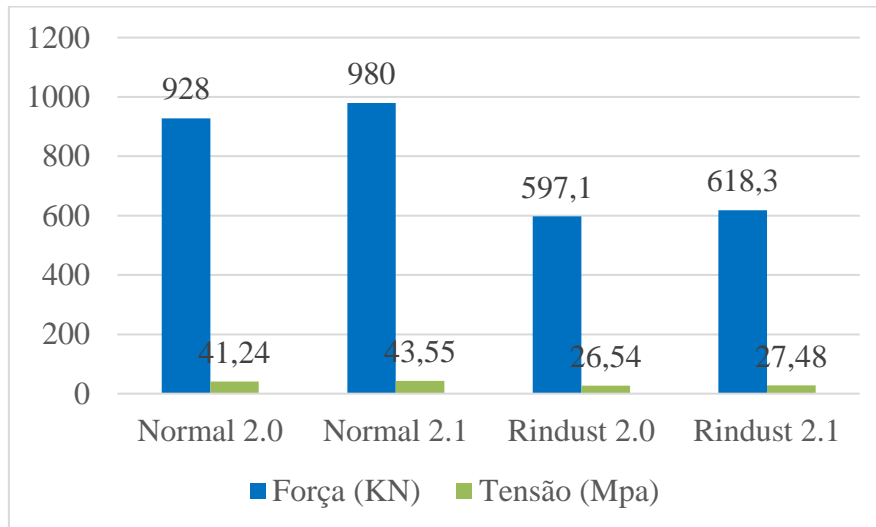


Figura 36 - Comparativo Provete Cubo Ensaio de 7 Dias

No quesito de força notou-se que, ao longo do período, o betão com incorporação de resíduo reduziu de forma significativa.

Para o período de 28 dias os resultados de análise do provete são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Resultados Ensaio 28 Dias Cubo

Referência	Tipo	Data			Rotura
------------	------	------	--	--	--------

		Fabrico	Ensaio	Idade (Dias)	Massa do Proveto (kg)	Força (KN)	Tensão (MPa)
Normal 2	Cubo	10/11/2023	08/12/2023	28	8,101	1089,2	48,41
Normal 2.1	Cubo	10/11/2023	08/12/2023	28	8,191	1067,7	47,45
Rindust 2.0	Cubo	10/11/2023	08/12/2023	28	7,556	680,9	30,26
Rindust 2.1	Cubo	10/11/2023	08/12/2023	28	7,544	579,7	25,26

Em relação à massa das amassaduras, as mesmas reduziram no período de 28 dias conforme gráfico da Figura 37.

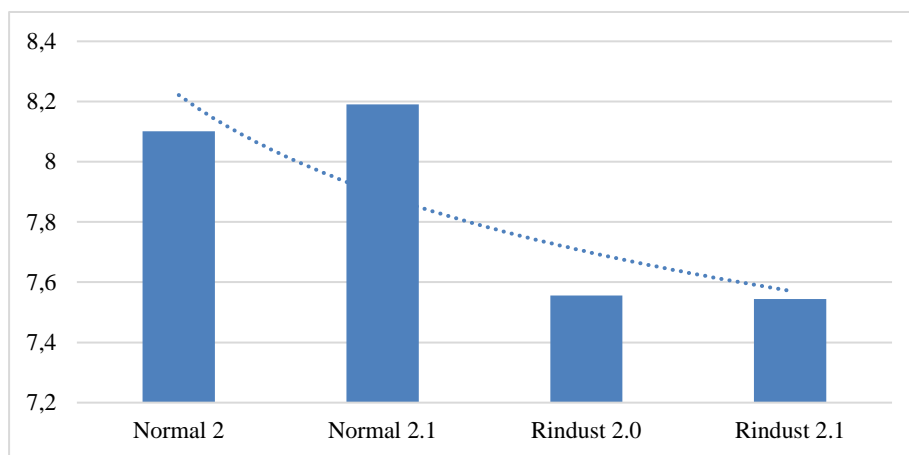


Figura 37 - Massa do Provete aos 28 Dias

Realizou-se o teste de resistência à compressão diametral e observou-se que os betões com incorporação de resíduos apresentam menor valor de resistência quando comparados com o betão referência, no período de 28 dias conforme Figura 38.

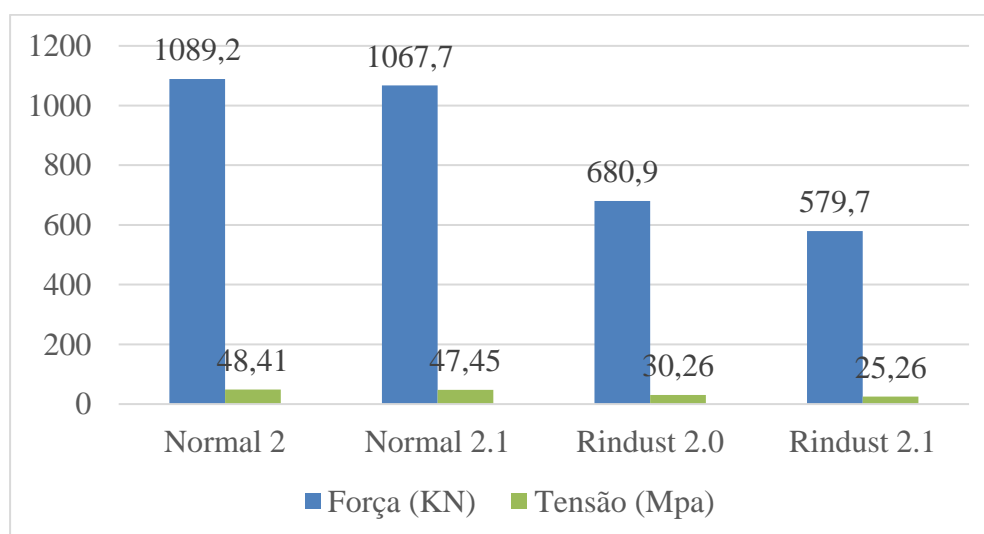


Figura 38 - Comparativo Cubo Ensaio de 28 Dias

No quesito de força, os betões com incorporação de resíduos demonstraram que com o passar do tempo ela se reduz quando comparado ao betão convencional.

5.5 Síntese do Capítulo

Neste capítulo apresentaram-se os resultados obtidos pelos ensaios realizados na campanha experimental, primeiro apresentaram-se os resultados para o betão fresco e, posteriormente, para o endurecido com o uso da betoneira gravitacional.

Posteriormente, foram apresentados os resultados para a campanha experimental realizada com a betoneira fixa/lâminas após a comprovação de que o uso da betoneira gravitacional não era indicado para o ensaio. Para a melhor qualidade das amassaduras, foram realizados novos testes, que são apresentados no subtópico 7.1 com uso da betoneira fixa.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1 Conclusões

A geração de energia a partir de fontes renováveis é/ou poderá ser a solução para os problemas no setor energético em Portugal e no mundo. Entretanto, é possível que não haja uma produção de energia 100% limpa em toda a sua cadeia produtiva, passando pelo tempo de utilização do que foi produzido e o destino final adequado. No que toca à produção de energia a partir do universo eólico, durante o seu processo de fabrico, a quantidade de resíduos gerados são inúmeros, pelo que este trabalho propôs-se a criar uma alternativa que ajudasse a promover a redução do impacto desses resíduos na Natureza.

Com este trabalho, pretendeu-se dar contribuições para a área de estudo do uso do betão experimental com a incorporação de resíduos, realizou-se uma análise comparativa entre o betão convencional e o betão com a incorporação de resíduos gerais.

Constatou-se que a incorporação de resíduos no betão conduz a uma perda de trabalhabilidade quando comparado com o betão convencional, e quanto maior a taxa de incorporação do resíduo menor a trabalhabilidade, demonstrando que a eficácia desta prática depende da seleção cuidadosa de resíduos e das quantidades utilizadas.

O pó de polímero/vidro utilizado neste estudo pode ser viável, porém obriga a mais estudos e ensaios. A premissa inicial deste estudo tratava-se de analisar os efeitos da adição de pó rico em fibra de vidro impregnado com resina curada (subproduto) a uma formulação de betão, com o intuito de testar e verificar o comportamento das misturas resultantes, e, deste modo, aferir a viabilidade do aproveitamento desse pó.

O aumento das taxas de incorporação por substituição parcial ou total de um dos agregados, a níveis de BT- Pó 20%, BT - Pó 50% e BT - Pó 100% demonstraram que o rendimento do betão foi inferior ao convencional. Ao tornar o pó de polímero/ vidro, num inerte que substitui parcial ou na totalidade a Areia A1, não permitiu que fosse melhorado o desempenho do betão, tendo mesmo degradado o seu desempenho.

Em seguida, apresentam-se as conclusões relevantes deste estudo para o estado de desempenho do betão em estado fresco e endurecido.

Betão Fresco: quanto maior a taxa de incorporação do resíduo menor a fluidez e menor a trabalhabilidade do betão. Ao nível da incorporação de BT - Pó 50% e BT - Pó 100% ocorreu o inconveniente do uso da betoneira gravitacional, pois a mesma não ofereceu à amassadura uma mistura homogênea, portanto, ao verificar o teste de abaixamento, não se conseguiu nenhum dado conclusivo.

Destaca-se ainda que devido à condição seca da amassadura, a mistura com BT- Pó 100% do resíduo, em substituição ao inerte fino, não permitiu o preenchimento dos moldes, nem mesmo com vibrador para compactação, não sendo por isso considerado no estudo.

Na análise da massa volúmica, notou-se que o betão convencional, o BT- Pó 20% e o BT-Pó 50% de resíduo, não apresentaram grandes variações, apesar de se notar um aumento da massa volúmica no BT- Pó 20% em relação ao betão convencional, situação resultante da forma de compactação.

Betão Endurecido: em todos os testes realizados, o betão com resíduos, em todas as proporções, não superou o convencional em termos de resistência à compressão. No tocante a absorção por capilaridade, do betão com o acréscimo de pó polímero/vidro, absorve menos água ao longo da linha temporal em que esteve exposto.

Em relação ao tempo em que os cubos estavam submersos, o comportamento do betão convencional em comparação ao betão com BT- Pó 20% de resíduo, foi menor para o betão BT- Pó 20% nas primeiras 24 horas. Entretanto, estes valores não se mantiveram nas horas seguintes.

Contudo, o betão com BT- Pó 50% de resíduo incorporado, já nas primeiras 24h, absorveu mais do que os demais.

Além disto, notou-se que a introdução de forma gradual do pó na amassadura promoveu uma maior plasticidade da mistura, o que, dependendo da aplicação do betão, pode ser um fator positivo em substituição a um aditivo com essa função.

6.2 Desenvolvimentos Futuros

Exploração das quantidades adicionadas de pó polímero/vidro na incorporação do betão para avaliar a sua trabalhabilidade, custo-benefício e impacto ambiental em larga escala

Adicionar o resíduo como aditivo e não como substituição, bem como estudar a inclusão do resíduo em argamassa.

Análise do desempenho do betão com pó/polímero vidro em diferentes condições climáticas, em face de compreender a sua resistência, assim como a sua durabilidade e os ciclos de manutenção de estruturas feitas com o betão com incorporação do pó polímero/vidro;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angelin, A. F. (2014). *Concreto leve estrutural – Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas – UNICAMP]. Faculdade de Tecnologia, Limeira.
- Araújo, F.Q. (2011). *Betão Auto-Compactável Eco-Eficiente*. [Tese de Mestrado - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto].
- APA (2020a). *Classificação de Resíduos*. [Online]. <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=254&sub3ref=264>.
- APA (2020b). *Gestão de Resíduos*. [Online]. <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=254>.
- Brito, J. (2009). *Técnicas de Inspeção de Estruturas de Betão Armado* [Slides da cadeira de Patologia e Reabilitação da Construção. Mestrado integrado em Engenharia Civil] Instituto Superior Técnico, 29p.
- Cardoso, F. (2021). *Parques Eólicos em Fim de Vida: Decidir a Extensão de Vida ou a Substituição*. [Mestrado integrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico – Lisboa].
- Cefic, EuCia, Europe, W. (2020). *Accelerating Wind Turbine Blade Circularity*. [Online]. <https://cefic.org/app/uploads/2020/05/Accelarating-windturbine-blade-waste-recycling.pdf>.
- Costa, A., Appleton, J., (2002). *Estruturas de Betão I: Parte II - Materiais*. Grupo de estruturas de betão pré-esforçado, Instituto Superior Técnico.
- Coutinho, A. S., Gonçalves, A., (1994). *Fabrico e propriedades do betão - Vol. III (2ª ed.)*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1994.
- Coutinho, J.S. (2011). *Betões Eco-Eficientes com Resíduos*. 1as jornadas de materiais de construção, Faculdade de Engenharia do Porto.
- Dias, J. M. (2019). *Análise de Influência de Resíduos de Vidro nas Propriedades Mecânicas do Concreto*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas]. Universidade Federal de Alagoas, Campus do Sertão.
- Duarte, M. J. (2019). *O enquadramento legislativo da energia eólica no panorama da política de promoção das energias renováveis a nível nacional* *Renováveis Magazine*. Porto. [Online].
- Decreto-Lei n.º 73/2011 do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Decreto-Lei n.º 89/2002, de 3 de maio. Diário da República: I Série-A.
- E2P. (2022a). *Capacidade Por Distrito e Região Autónoma*. <https://e2p.inegi.up.pt/>
- E2P. (2022b). *Total De Potência Instalada Renovável Em Portugal*. <https://e2p.inegi.up.pt/>
- E2P. (2024). *Capacidade Por Distrito E Região Autónoma*. <https://e2p.inegi.up.pt/>

- Evangelista, F. (2003). *Betões executados com agregados finos reciclados de betão*. [Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico].
- Farias, N. (2009). *Estudo Comparativo Envolvendo O Dimensionamento De Edifícios Com Recurso A Betão Leve Ou Betão De Densidade Normal*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto]. Universidade do Porto.
- Ferreira, M. R. (2000). *Avaliação de Ensaio de Durabilidade de Betão*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho].
- Hao, S., Kuah, A. T. H., Rudd, C. D., Wong, K. H., Lai, N. Y. G. Mao, J. & Liu, X. (2020) *A circular economy approach to green energy: Wind turbine, waste, and material recovery*, *Science of the Total Environment*. Elsevier Ltd, 702, p. 135054. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135054>.
- IEP. (2019). *O Futuro da Energia Eólica em Portugal*, IEP. <https://www.iep.pt/o-futuro-da-energia-eolica-em-portugal/>.
- International Organization for Standardization (ISO). (2011). *ISO 3310-1:2011 – Test sieves – Technical requirements and testing – Part 1: Metal wire cloth sieves*. ISO.
- Joeman, I. (2019). *Alternatives on afterlife use of amortized wind turbine blades in the Netherlands, to obtaining for the master's degree* (Environmental and Energy Management), University of Twente, Netherlands.
- Kellner, T. (2019). *Extreme Measures: At 107 Meters, The World's Largest Wind Turbine Blade Is Longer Than a Football Field. Here's What It Looks Like*, GE Reports. [Online]
- Katib, J.M., Negim, E.M., Sohl, H.S., Chileshe, N. (2012). *Glass Powder Utilisation in Concrete Production*. *European Journal of Applied Sciences* 4 (4), 173-176.
- Leite, M. (2020). *Reciclagem de Pás de Rotor de Aerogeradores Eólicos: Desafios e Oportunidades*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Beira Interior].
- Lourenço, C. (2016). *Estudo do desempenho de betões com incorporação de agregados finos provenientes de resíduos industriais*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Viseu]. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.
- LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (1993). E393. *Betões - Determinação da absorção de água por capilaridade*.
- LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (1993). E394. *Betões - Determinação da absorção de água por imersão - Ensaio à pressão atmosférica*.
- Mattos P., Aguiar J. B., Barbosa N. P., Costa D. (2017) *Durabilidade do Betão Auto-Compactável de Elevado Desempenho Face ao Ataque Químico*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho].
- Matos, A. M. (2010) *Estudo de Argamassas com Substituição Parcial de Cimento Por Resíduos de Vidro Moídos*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto].
- NP EN 206-1: 2007 - “Betão Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade”. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 197-1:2012. “Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes”. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 933-1:2000. Parte 1: Análise granulométrica - Método de peneiração. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 933-3:2002. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas - Índice de achatamento. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 933-4:2002 - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 4: Determinação da forma das partículas - Índice de forma. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 933-8:2002 - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do teor de finos - Ensaio de Equivalente de areia. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1008:2003. “Água de amassadura de betão”. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1097-3: 2002. Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1097-6: 2003. Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12350-2:2009. Ensaio do betão fresco. - Parte 2: Ensaio de abaixamento. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12350-6:2009 - Ensaio do betão fresco. Parte 6: Massa volúmica. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12350-7:2009 - Ensaio do betão fresco. Parte 7: Determinação do teor de ar - Métodos Pressiométricos. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12390-1:2012 - “Ensaio do betão endurecido Parte 1: Forma, dimensões e outros requisitos para o ensaio de provetes e para os moldes”. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12390-2:2009 - “Ensaio do betão endurecido Parte 2: Execução e cura dos provetes para ensaios de resistência mecânica”. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12390-3:2009 - Ensaio de betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão dos provetes. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12390-6:2003 - Ensaio ao betão endurecido. Parte 6: Resistência à tração por compressão dos provetes Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12390-7:2009 - Ensaio de betão endurecido. Parte 7: Massa volúmica do betão endurecido. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12620:2004 - Agregados para betão. Instituto Português da Qualidade.

- PESGRI (2001). *Plano Estratégico dos Resíduos Industriais*, aprovado pelo Decreto-Lei nº 89/2002, de 9 de abril.
- Rocha, V. (2014). *Caracterização de Betão de Elevado Desempenho Reforçado com Fibras Incorporando Pó de Vidro*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto].
- Rosário, T., Torrecasana, C.E. N. (2011). *Tijolo de solo-cimento produzidos com resíduos de concreto*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Comunitária da Região de Chapec].
- Skelton, K. (2017). *Discussion paper on managing composite blade waste*. Aalborg.
- Siemens Gamesa. (2023). FY2023_ODF_CPI_ambiente. [Relatório Interno].
- Silva. B. (2008) *Betão Leve Estrutural Com Agregados de Argila Expandida*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto]
- odoro, N. F. G. (2011) *Contribuição para a Sustentabilidade na Construção Civil: Reciclagem e Reutilização de Materiais*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico de Lisboa - Universidade Técnica de Lisboa.
- União Europeia. (2008). *Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, relativa aos resíduos e que altera certas diretivas*. Jornal Oficial da União Europeia. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098>
- União Europeia. (2012). *Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE) e que altera a Diretiva 2002/96/CE*. Jornal Oficial da União Europeia. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0019>
- Valente, I., Cruz, P. J.S. (2004). *Caracterização experimental de um betão leve de elevada resistência*. In Encontro Nacional Betão Estrutural, Porto: FEUP, 2004. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/2994?mode=full>
- Wind Europe. (2022). *Statistics and the outlook for 2023 - 2027*. <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/>
- Yan, T. S. A. (2013). *Técnicas e Laboratórios de Ensaios de Betão*. [Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico de Lisboa - Universidade Técnica de Lisboa].

APÊNDICES

APÊNDICE A - Análise Granulométrica do Resíduo

Tabela A apresenta os detalhes da análise granulométrica do pó de vidro como resíduo, conforme a NP EN 933:1-2000.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - LAVAGEM E PENEIRAÇÃO (NP EN 933-1)

Massa seca total	M1 (g) =	27,88
Massa seca após lavagem	M2 (g) =	21,57

PENEIROS Dimensão das Aberturas (mm)	RETIDOS		RETIDOS ACUMULADOS	PASSADOS ACUMULADOS
	Ri (g)	%Ri (0,01 %)	$\Sigma\%Ri$ (0,01 %)	$\Sigma\%Pi$ (0,01 %)
63	0,00	0,00	0,00	100,00
40	0,00	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	0,00	100,00
20	0,00	0,00	0,00	100,00
16	0,00	0,00	0,00	100,00
14	0,00	0,00	0,00	100,00
12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
10	0,00	0,00	0,00	100,00
8	0,00	0,00	0,00	100,00
6,3	0,00	0,00	0,00	100,00
4,0	0,00	0,00	0,00	100,00
2,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1,0	0,17	0,60	0,60	99,40
0,5	0,70	2,50	3,10	96,90
0,25	5,59	20,03	23,13	76,87
0,125	6,19	22,19	45,32	54,68
0,063	8,93	32,04	77,36	22,64
Material restante no fundo (g)			6,31	

APÊNDICE B - Ensaio de Abaixamento do Betão Fresco

Tabela B resultados alcançados no ensaio de abaixamento em betão fresco, conforme NP EN 12350

Estado do Betão	Ensaio	Tipo de Betão	Especificações
FRESCO	Abaixamento	BT	Data
			27/07/2023
			27 mm
		BT - Pó 20%	11/05/2023
			1,5 cm
		BT - Pó 50%	22/06/2023
			Inexistente
		BT - Pó 100%	13/07/2023
			Inexistente

APÊNDICE C - Ensaio de Massa Volúmica - Betão Fresco

Tabela C apresenta os detalhes do Ensaio De Massa Volúmica Betão Fresco conforme a NP EN 12390- 7 :2009.

Estado do Betão	Ensaio	Tipo de Betão	Especificações				
FRESCO	Determinação Massa Volúmica	BT	V1	0,00709551	M3	2296,142	Kg/m3
			M1	5,6987	Kg		
			M2	21,991	Kg		
		BT - Pó 20%	V1	0,00709551	M3	2296,142	Kg/m3
			M1	5,682	Kg		
			M2	22,0975	Kg		
		BT - Pó 50%	V1	0,00709551	M3	2296,142	Kg/m3
			M1	5,686	Kg		
			M2	21,669	Kg		
		BT - Pó 100%	V1	0,00709551	M3	2296,142	Kg/m3
			M1	5,694	Kg		
			M2	20,6125	Kg		

APÊNDICE D - Massa Volúmica do Betão Endurecido

No Tabelas D1 e D2 apresenta-se os resultados do ensaio de massa volúmica dos provetes em estado endurecido para o betão convencional e betão com resíduos, conforme a NP: EN 12390 - 7: 2009.

Tabela D-1 Resultado Ensaio de Massa Volúmica Betão Endurecido

Tipo de Betão	Especificações																	
	Volume do Provede (m3)	0,0037 5	Dias	Massa Provede Saturado (g) [mx]	Massa (KG) [mx]	Massa Volumica (Kg/m3) [mx]	Massa Hidrostática provede (g) [mhid]	Massa Volumica (Kg/m3) [mhind]	Massa provede seco em estufa (g) [mo]	Massa (kg) [mo]	Massa Volumica (kg) [mo]							
BT	Cubo_BT.13	45064	21	787 8	7,88	2334,2 2	4497	1332,4 4	734 4	7,34	2176							
	Cubo_BT.14	45064	21	793 2	7,93	2350,2 2	4544	1346,3 7	741 7	7,42	2198							
	Cubo_BT.15	45064	21	792 2	7,92	2347,2 6	4538	1344,5 9	741 0	7,41	2196							
				7910,67	7,91	2343,9	---	1341,14	7390,3 3	7,39	2189,7 3							

Tabela D-2 Resultado Ensaio de Massa Volúmica Betão Endurecido

Estado do Betão	Ensaio	Tipo de Betão	Especificações																		
			Volume do Provete (m³)	0,00375	Dias	Massa Provete Saturado (g) [mx]		Massa (KG) [mx]		Massa Volumica (Kg/m³) [mx]		Massa Hidrostatica provete (g) [mhid]		Massa Volumica (Kg/m³) [mhind]		Massa provete seco em estufa (g) [mo]		Massa (kg) [mo]		Massa Volumica (kg) [mo]	
ENDURECIDO	Determinação Massa Volumica	BT	Volume do Provete (m³)	0,00375	Dias	Massa Provete Saturado (g) [mx]		Massa (KG) [mx]		Massa Volumica (Kg/m³) [mx]		Massa Hidrostatica provete (g) [mhid]		Massa Volumica (Kg/m³) [mhind]		Massa provete seco em estufa (g) [mo]		Massa (kg) [mo]		Massa Volumica (kg) [mo]	
			Cubo_BT.13	45064	21	7878	7910,67	7,88	7,91	2334,2	2343,9	4,5	4,53	1332,44	1341,1	7344	7390,33	7,34	7,39	2176	2189,73
			Cubo_BT.14	45064	21	7932		7,93		2350,22		4,54		1346,37		7417		7,42		2198	
			Cubo_BT.15	45064	21	7922		7,92		2347,26		4,54		1344,59		7410		7,41		2196	
		BT -Pó 20%	Volume do Provete (m³)	0,00375	Dias	Massa Provete Saturado (g) [mx]		Massa (KG) [mx]		Massa Volumica (Kg/m³) [mx]		Massa Hidrostatica provete (g) [mhid]		Massa Volumica (Kg/m³) [mhind]		Massa provete seco em estufa (g) [mo]		Massa (kg) [mo]		Massa Volumica (kg) [mo]	
			Cubo_BT.20.13	45078	21	7783	7822	7,78	7,822	2306,1	2317,63	4,45	4,5	1318	1319,2	7291	7297,7	7,29	7,3	2160	2162,3
			Cubo_BT.20.14	45078	21	7746		7,75		2295,11		4,397		1302		7205		7,21		2134	
			Cubo_BT.20.15	45078	21	7937		7,94		2351,7		4,51		1336		7397		7,4		2191	
		BT -Pó 50%	Volume do Provete (m³)	0,00375	Dias	Massa Provete Saturado (g) [mx]		Massa (KG) [mx]		Massa Volumica (Kg/m³) [mx]		Massa Hidrostatica provete (g) [mhid]		Massa Volumica (Kg/m³) [mhind]		Massa provete seco em estufa (g) [mo]		Massa (kg) [mo]		Massa Volumica (kg) [mo]	
			Cubo_BT.50.13	45120	21	7768	7729,33	7,77	7,72933	2301,6	2290	4,4342	4,3	1286	1288,2	7202	7170,7	7,2	7,2	2133	2124,6
			Cubo_BT.50.14	45120	21	7691		7,69		2278,81		4,315		1278		7139		7,14		2115	
			Cubo_BT.50.15	45120	21	7729		7,73		2290,07		4,386		1299		7171		7,17		2124	
		BT -Pó 100%	Volume do Provete (m³)	0,00375	Dias	Massa Provete Saturado (g) [mx]		Massa (KG) [mx]		Massa Volumica (Kg/m³) [mx]		Massa Hidrostatica provete (g) [mhid]		Massa Volumica (Kg/m³) [mhind]		Massa provete seco em estufa (g) [mo]		Massa (kg) [mo]		Massa Volumica (kg) [mo]	
			----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
			----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

APÊNDICE E - Resistência à Compressão Dos Provetes - Betão Endurecido

Tabela E, resultados alcançados no ensaio de resistência à compressão em betão endurecido, conforme a NP: EN 12390 - 3: 2009.

Estado do Betão	Ensaio	Tipo de Betão	Provete	Data	Dias	Area da Face Carregada (mm ²)	Massa do Provete (g)	Força de Rotura (Kn)	Tensão (Mpa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)			
ENDURECIDO	Ensaio a Compressão	BT	Cubo Bt.01	04/05/2023	7	22818,93	7861	652,1	28,98	0,9	3,01			
			Cubo Bt.02	04/05/2023	7	22965,66	7907	692,5	30,78					
			Cubo Bt.03	04/05/2023	7	22803,38	7878	673,1	29,92					
			Cubo Bt.04	18/05/2023	21	22728,54	7845	770,7	34,25	0,72	2,15			
			Cubo Bt.05	18/05/2023	21	22670,58	7846	750,1	33,34					
			Cubo Bt.06	18/05/2023	21	22699,90	7840	738,6	32,83					
			Cilindro Bt.13	18/05/2023	21	46069,76	12501	486	27,50			5,2	23,18	
			Cilindro Bt.14	18/05/2023	21	45716,49	12528	400,8	22,68					
			Cilindro Bt.15	18/05/2023	21	45790,33	12519	302,4	17,11					
		Cubo Bt.20.01	18/05/2023	7	22711,61	7782	567	25,2	0,547	2,14				
		Cubo Bt.20.02	18/05/2023	7	22645,62	7706	589,1	26,18						
		Cubo Bt.20.03	18/05/2023	7	22793,74	7816	568,5	25,27						
		Cubo Bt.20.04	01/06/2023	21	22954,27	7888	692,1	30,76			0,472	1,56		
		Cubo Bt.20.05	01/06/2023	21	22846,95	7819	671,5	29,84						
		Cubo Bt.20.06	01/06/2023	21	22900,74	7903	677,7	30,12						
		Cilindro Bt.20.13	01/06/2023	21	45418,87	12319	432,4	24,47					2,336	9,12
		Cilindro Bt.20.14	01/06/2023	21	45265,68	12261	500	28,29						
		Cilindro Bt.20.15	01/06/2023	21	45751,97	12248	425	24,05						
		Cubo Bt.50.01	29/06/2023	7	22682,50	7684	572,4	25,44	0,4738	1,841				
		Cubo Bt.50.02	29/06/2023	7	22995,14	7712	591,3	26,28						
		Cubo Bt.50.03	29/06/2023	7	22961,92	7809	573,3	25,48						
		Cubo Bt.50.04	13/07/2023	21	23156,38	7809	738,2	32,81			0,2982	0,91		
		Cubo Bt.50.05	13/07/2023	21	22499,50	7567	743,2	33,03						
		Cubo Bt.50.06	13/07/2023	21	22941,17	7775	729,8	32,44						
		Cilindro Bt.50.13	13/07/2023	21	17717,83	12076	480,1	27,17					2,0948	7,328
		Cilindro Bt.50.14	13/07/2023	21	17687,17	12111	547,7	30,99						
		Cilindro Bt.50.15	13/07/2023	21	17710,75	12053	487,1	27,59						

APÊNDICE F - Resistência à Tração por Compressão Diametral de Provetos - Betão Endurecido

Tabela F sintetiza-se os resultados alcançados para a resistência à tração por compressão diametral, conforme a NP EN 12390 - 6: 2003.

Tabela F Resultados dos ensaios de tração por compressão diametral

Estado do Betão	Ensaio	Tipo de Betão	Provete	Data	Dias	Area da Face Carregada (mm ²)	Massa do Provete (g)	Força de Rotura (Kn)	Tensão (Mpa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
ENDURECIDO	Ensaio à tração por compressão diametral	BT	Cilindro Bt.16	18/05/2023	21	45199,72	12318	121,7	1,72	0,1985	0,19953496
			Cilindro Bt.17	18/05/2023	21	45195,15	12368	145,8	2,05		
			Cilindro Bt.18	18/05/2023	21	45076,52	12281	146,2	2,07		
		BT-Pó 20	Cilindro Bt.16	18/05/2023	21	45334,05	12283	130,5	5,80	0,02147	0,065574385
			Cilindro Bt.17	18/05/2023	21	45369,50	12265	129,4	5,75		
			Cilindro Bt.18	18/05/2023	21	45316,42	12310	132,4	5,88		
		BT-Pó 50	Cilindro Bt.16	20/07/2023	21	45004,99	12031	140,7	6,25	0,21	0,919238816
			Cilindro Bt.17	20/07/2023	21	45440,43	12191	169,9	7,55		
			Cilindro Bt.18	20/07/2023	21						

APÊNDICE G - Determinação de Água por Capilaridade - Betão Endurecido

Tabelas G1 a G3 os resultados alcançados para o ensaio de absorção de água por capilaridade, conforme a Especificação LNEC E393-1993.

Tabela G-1: Resultados Ensaio Por Capilaridade no Betão Convencional

Estado do Betão	Ensaio	Provete	Data	Dias	Horas	Massa provete (g) [mo]		Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)		mi - mo (g)	Área face Inferior (mm)	Absorção Capilaridade em ti (g/mm ²)x 10 ⁻³		
ENDURECIDO	Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade	Cubo_Bt.7	08/08/2023			7344			18473,18601						
		Cubo_Bt.8	08/08/2023			7417									
		Cubo_Bt.9	08/08/2023	98	0	7410	7440,666667	40,27819323							
		Provete	Data	Dias			Massa provete (g) [mi]		Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)					
		Cubo_Bt.7	08/08/2023				7394			18271,57285		50	22500	0,002222222	
		Cubo_Bt.8	08/08/2023				7469					52		0,002311111	
		Cubo_Bt.9	08/08/2023	98	1		7459	7440,666667	40,72263908			49	50,3333333	0,002177778	0,002237037
		Cubo_Bt.7	08/08/2023				7418					74	22500	0,003288889	
		Cubo_Bt.8	08/08/2023				7432			18692,29697		75		0,003333333	
		Cubo_Bt.9	08/08/2023	98	2		7481	7463,666667	39,32310384			71	73,3333333	0,003155556	0,003259259
		Cubo_Bt.7	08/08/2023				7436					92	22500	0,004088889	
		Cubo_Bt.8	08/08/2023				7510			18837,23972		93		0,004133333	
		Cubo_Bt.9	08/08/2023	98	3		7498	7481,333333	39,71565602			88	91	0,003911111	0,004044444
		Cubo_Bt.7	08/08/2023				7451					107	22500	0,004755556	
		Cubo_Bt.8	08/08/2023				7525			18972,65573		108		0,0048	
		Cubo_Bt.9	08/08/2023	98	4		7512	7496	39,50949253			102	105,666667	0,004533333	0,004696296
		Cubo_Bt.7	08/08/2023				7463					119	22500	0,005288889	
		Cubo_Bt.8	08/08/2023				7538			18918,38176		121		0,005377778	
		Cubo_Bt.9	08/08/2023	98	5		7523	7508	39,68626967			113	117,666667	0,005022222	0,00522963
		Cubo_Bt.7	08/08/2023				7475					131	22500	0,005822222	
		Cubo_Bt.8	08/08/2023				7550			18348,61891		133		0,005911111	
		Cubo_Bt.9	08/08/2023	98	6		7535	7520	39,68626967			125	129,666667	0,005955556	0,005762963
		Cubo_Bt.7	08/08/2023				7482			18366,25726		138	22500	0,006133333	
		Cubo_Bt.8	08/08/2023				7557					140		0,006222222	
		Cubo_Bt.9	08/08/2023	98	7		7542	7527	39,68626967			132	136,666667	0,005866667	0,006074074
		Cubo_Bt.7	08/08/2023				7490			18462,01749		146	22500	0,006488889	
		Cubo_Bt.8	08/08/2023				7567					150		0,006666667	
		Cubo_Bt.9	08/08/2023	98	8		7552	7536,333333	40,82074636			142	146	0,006311111	0,006488889
		Cubo_Bt.7	09/08/2023				7579			18384,52997		235	22500	0,010444444	
		Cubo_Bt.8	09/08/2023				7659					242		0,010755556	
		Cubo_Bt.9	09/08/2023	98	24		7638	7625,333333	41,4769012			228	235	0,010133333	0,010444444
		Cubo_Bt.7	10/08/2023				7645			15714,28571		301	22500	0,013377778	
		Cubo_Bt.8	10/08/2023				7739					322		0,014311111	
		Cubo_Bt.9	10/08/2023	98	48		7716	7700	49			306	309,666667	0,0136	0,013762963
		Cubo_Bt.7	11/08/2023				7677			13446,27529		333	22500	0,0149	
		Cubo_Bt.8	11/08/2023				7783					366		0,016266667	
		Cubo_Bt.9	11/08/2023	98	72		7769	7743	57,5847202			359	352,666667	0,015955556	0,015674074
		Cubo_Bt.7	12/08/2023				7689			12547,1686		345	22500	0,015333333	
		Cubo_Bt.8	12/08/2023				7799					382		0,016977778	
		Cubo_Bt.9	12/08/2023	98	96		7793	7760,333333	61,84927917			383	370	0,017022222	0,016444444
Cubo_Bt.7	13/08/2023				7694			12012,60414		350	22500	0,015555556			
Cubo_Bt.8	13/08/2023				7805					388		0,017244444			
Cubo_Bt.9	13/08/2023	98	120		7807	7768,666667	64,67096206			397	378,333333	0,017644444	0,016814815		

Tabela G-3: Resultados Ensaio Por Capilaridade no Betão BT-Pó 50

Estado do Betão	Ensaio	Provete	Data	Dias	Horas	Massa provete (g) [m0]	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)									
ENDURECIDO	Ensaio de determinação o da absorção de água por capilaridade	Cubo_Bt.50.7	09/09/2023	98	0	7202	4780,333333	44,54772721	0,931895835								
		Cubo_Bt.50.8	09/09/2023			7139											
		Cubo_Bt.50.9	09/09/2023			-											
				Provete	Data	Dias		Massa provete (g) [m1]	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	mi - m0 (g)	Área face Inferior (mm)	Absorção Capilaridade em ti (g/mm2) x 10-3				
				Cubo_Bt.50.7	09/09/2023	98	1	7229	4798,333333	44,54772721	0,928400011	50	50,333333	22500	0,002222222	0,002237037	
				Cubo_Bt.50.8	09/09/2023			7166							52		0,002311111
				Cubo_Bt.50.9	09/09/2023			7242							49		0,002177778
				Cubo_Bt.50.7	09/09/2023			7182							74		0,003288889
				Cubo_Bt.50.8	09/09/2023	98	2	7182	4808	42,42640687	0,882412789	75	73,333333	22500	0,003333333	0,003253259	
				Cubo_Bt.50.9	09/09/2023			7193							71		0,003155556
				Cubo_Bt.50.7	09/09/2023			7253							92		0,004088889
				Cubo_Bt.50.8	09/09/2023			7193							93		0,004133333
				Cubo_Bt.50.9	09/09/2023	98	3	7262	4815,333333	42,42640687	0,881068951	88	91	22500	0,003911111	0,004044444	
				Cubo_Bt.50.7	09/09/2023			7204							107		0,004755556
				Cubo_Bt.50.8	09/09/2023			7204							108		0,0048
				Cubo_Bt.50.9	09/09/2023			7270							102		0,004533333
				Cubo_Bt.50.7	09/09/2023	98	4	7212	4822	41,01219331	0,850522466	119	105,66667	22500	0,005288889	0,004636296	
				Cubo_Bt.50.8	09/09/2023			7212							121		0,005377778
				Cubo_Bt.50.9	09/09/2023			7278							113		0,005022222
				Cubo_Bt.50.7	09/09/2023			7219							131		0,005822222
				Cubo_Bt.50.8	09/09/2023	98	5	7219	4827,333333	41,01219331	0,849582792	133	117,66667	22500	0,005911111	0,00522963	
				Cubo_Bt.50.9	09/09/2023			7278							125		0,005555556
				Cubo_Bt.50.7	09/09/2023			7283							138		0,006133333
				Cubo_Bt.50.8	09/09/2023			7224							140		0,006222222
				Cubo_Bt.50.9	09/09/2023	98	6	7224	4835,666667	41,71930009	0,862741437	132	136,66667	22500	0,005866667	0,006074074	
				Cubo_Bt.50.7	09/09/2023			7288							146		0,006488889
				Cubo_Bt.50.8	09/09/2023			7229							150		0,006666667
				Cubo_Bt.50.9	09/09/2023			7229							142		0,006311111
				Cubo_Bt.50.7	09/09/2023	98	7	7343	4839	41,71930009	0,86214714	235	146	22500	0,010444444	0,006488889	
				Cubo_Bt.50.8	09/09/2023			7288							242		0,010755556
				Cubo_Bt.50.9	09/09/2023			7288							228		0,010333333
				Cubo_Bt.50.7	10/08/2023			98				8			7394		4877
				Cubo_Bt.50.8	10/08/2023	7344			322	0,014311111							
				Cubo_Bt.50.9	10/08/2023	7344			306	0,0136							
				Cubo_Bt.50.7	11/08/2023	7428			333	0,0148							
				Cubo_Bt.50.8	11/08/2023	98	48	7380	4912,666667	35,35533906	0,719677142	366	309,66667	22500	0,016266667	0,013762963	
				Cubo_Bt.50.9	11/08/2023			7428							359		0,015955556
				Cubo_Bt.50.7	12/08/2023			7451							345		0,015333333
				Cubo_Bt.50.8	12/08/2023			7402							382		0,016977778
		Cubo_Bt.50.9	12/08/2023	98	72	7451	4936	33,9411255	0,687624098	366	352,66667	22500	0,016266667	0,015674074			
		Cubo_Bt.50.7	12/08/2023			7451							345		0,015333333		
		Cubo_Bt.50.8	12/08/2023			7402							382		0,016977778		
		Cubo_Bt.50.9	12/08/2023			7469							383		0,017022222		
		Cubo_Bt.50.7	13/08/2023	98	96	7419	4951	34,64823228	0,69982291	350	370	22500	0,015555556	0,016444444			
		Cubo_Bt.50.8	13/08/2023			7419							388		0,017244444		
		Cubo_Bt.50.9	13/08/2023			7419							350		0,015555556		
		Cubo_Bt.50.7	13/08/2023			7419							388		0,017244444		
		Cubo_Bt.50.8	13/08/2023	98	120	4962,666667	35,35533906	35,35533906	0,71242623	397	378,33333	22500	0,017644444	0,016814815			
		Cubo_Bt.50.9	13/08/2023			4962,666667							397		0,017644444		

APÊNDICE H - Determinação de Água por Imersão

Tabela H1 e H3 apresentam-se os resultados para o ensaio de determinação de absorção de água por imersão, conforme Especificação LNEC: E394-1993

Tabela H-1: Resultados Ensaio de Imersão Betão Convencional

Estado do Betão	Ensaio	Tipo de Betão	Provete	Data	Dias	Horas	Massa do Provete Seco (g) m ³	Massa Hidrostatica do Provete Saturado (g) m ²	Massa Hidrostatica do Provete Saturado no ar (g) m ¹	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Absorção de Água por imersão (%) Ai
ENDURECIDO	Ensaio de Determinação da absorção de água por imersão	BT	Cilindro_Bt.16	28/08/2023	123	24	7344	4497	7859,45	0,4041452	0,051	15,343
				29/08/2023	124	48	7417		7860,15			
				31/08/2023	126	72	7410		7860,15			
			Cilindro_Bt.17	28/08/2023	123	24	7344	4544	7909,1	0,4041452	0,005	14,63
				29/08/2023	124	48	7417		7909,8			
				31/08/2023	126	72	7410		7909,8			
			Cilindro_Bt.17	28/08/2023	123	24	7344	4538	7904,85	0,9751068	0,01233	14,72
				29/08/2023	124	48	7417		7904,85			
				31/08/2023	126	72	7410		7904,85			

Tabela H-2: Resultados Ensaio de Imersão Betão com Resíduo de 20% (BT - Pó 20)


Estado do Betão	Ensaio	Tipo de Betão	Provete	Data	Dias	Horas	Massa do Provete Seco (g) m3	Massa Hidrostatica do Provete Saturado (g) m2	Massa Hidrostatica do Provete Saturado no ar (g) ml	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Absorção de Agua por imersão (%) Ai
ENDURECIDO	Ensaio de Determinação da absorção de agua por imersão	BT - Pó 20%	Cubo_Bt.20.10	28/08/2023	56	24	7291	4450,15	7803,5	1,525	0,019	15,31
				29/08/2023		48	7205		7804,6			
				31/08/2023		72	7397		7806,1			
			Cubo_Bt.20.11	28/08/2023	56	24	7291	4396,55	7718,6	1,763	0,022	15,49
				29/08/2023		48	7205		7718,6			
				31/08/2023		72	7397		7721,75			
			Cubo_Bt.20.12	28/08/2023	56	24	7291	4510,25	7910,65	1,194	0,015	15,13
				29/08/2023		48	7205		7911,45			
				31/08/2023		72	7397		7913			

Tabela H-3: Resultados Ensaio de Imersão Betão com Resíduo de 50% (BT- Pó 50)

Estado do Betão	Ensaio	Tipo de Betão	Provete	Data	Dias	Horas	Massa do Provete Seco (g) m3	Massa Hidrostatica do Provete Saturado (g) m2	Massa Hidrostatica do Provete Saturado no ar (g) ml	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Absorção de Agua por imersão (%) Ai
ENDURECIDO	Ensaio de Determinação da absorção de agua por imersão	BT - Pó 50%	Cubo_Bt.50.10	28/08/2023	56	24	7202	4342	7749,4	0,866	0,011	16,09
				29/08/2023		48	7139		7750,9			
				31/08/2023		72	7171		7750,9			
			Cubo_Bt.50.11	28/08/2023	56	24	7202	4315	7671,05	1,28	0,016	15,87
				29/08/2023		48	7139		7671,05			
				31/08/2023		72	7171		7673,45			
			Cubo_Bt.50.12	28/08/2023	56	24	7202	4328	7710,23	0,975	0,012	15,98
				29/08/2023		48	7139		7711,16			
				31/08/2023		72	7171		7712,18			

APÊNDICE I - Análise Granulométrica Areão - Betoneira Fixa/Lâminas

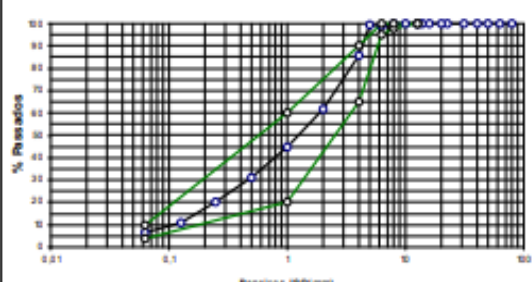
Tabela I: Granulometria dos materiais utilizados na ACC



RELATÓRIO DE ENSAIO
Análise Granulométrica
Método de peneiração - NP EN 933-1

Laboratório
Viseu

EMPREITADA Vale da Vaca (Viseu)			
CLIENTE Tecnovia Industria,S.A			
AMOSTRA			
AMOSTRA Nº	29583.8961	DATA DE COLHEITA	14/08/2024
MATERIAL	Areão 0/6	LOCAL DE COLHEITA	B61 - INSTALAÇÃO SECUNDÁRI
ORIGEM	Granito	DATA RECEPÇÃO AMOSTRA	16/08/2024 14:07:06
ENSAIO			
ENSAIO Método de Peneiração NP EN 933-1			
PROCEDIMENTO USADO		<input checked="" type="checkbox"/> Lavagem e Peneiração <input type="checkbox"/> Peneiração a Seco	
SERIE PENEIROS USADA		Série Base + Série 2	
MASSA SECA TOTAL (M1)	605,6	MASSA SECA DOS FINOS REMOVIDOS POR LAVAGEM (M1-M2)	38,9
MASSA SECA APÓS LAVAGEM (M2)	566,7		
MALHA (mm)	MASSA RETIDA Ri (g)	% RETIDA	% ACUMULADA PASSADA
80	0	0,0	100
63	0	0,0	100
50	0	0,0	100
40	0	0,0	100
31,5	0	0,0	100
22,4	0	0,0	100
20	0	0,0	100
16	0	0,0	100
14	0	0,0	100
12,5	0	0,0	100
10	0	0,0	100
8	0	0,0	100
6,3	4,8	0,8	99
5	0	0,0	99
4	82,2	13,6	86
2	140,8	23,2	62
1	104,7	17,3	45
0,500	88,1	14,5	31
0,250	66,7	11,0	20
0,125	50,7	8,4	11
0,063	27,1	4,5	
Fundo (P)	1,6		
Total (ΣRi+P)	566,70		



%FINOS QUE PASSA O PENEIRO DE 0,063mm:

$$f = \left(\frac{[(M1-M2)+P]}{M1} \right) \times 100$$

6,7

VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS:

$$\left(\frac{[M2-(\Sigma Ri+P)]}{M2} \right) \times 100 < 1\%$$

0,0

Válido

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS (TIPO / REFª INTERNA)


L01142 - Estufa, L01385 - Balança Digital (10100 g; 0,1g), L01787 - Série ISO 5

Observações:

Ensaiado por: Allan Lantyer Data: 20/08/2024	Validado por: Manuel Silva Data: 20/08/2024
---	--

APÊNDICE J - Análise Granulométrica Areia Lavada - Betoneira Fixa/Lâminas

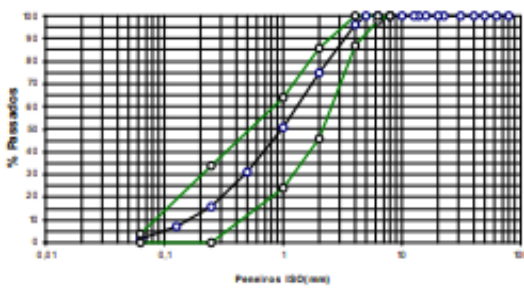
Tabela J: Granulometria dos materiais utilizados na ACC



RELATÓRIO DE ENSAIO
Análise Granulométrica
Método de peneiração - NP EN 933-1

Laboratório
Viseu

EMPREGADA Vale da Vaca (Viseu)			
CLIENTE Tecnovia Industria, S.A			
AMOSTRA			
AMOSTRA Nº	29595.8985	DATA DE COLHEITA	10/09/2024
MATERIAL	Areia Lavada 0/4	LOCAL DE COLHEITA	2828 - INSTALAÇÃO LAVAGEM
ORIGEM	Granito	DATA RECEPÇÃO AMOSTRA	10/09/2024 16:55:49
ENSAIO			
ENSAIO Método de Peneiração NP EN 933-1			
PROCEDIMENTO USADO		<input checked="" type="checkbox"/> Lavagem e Peneiração <input type="checkbox"/> Peneiração a Seco	
SERIE PENEIROS USADA		Série Base + Série 2	
MASSA SECA TOTAL (M1)		250,9	MASSA SECA DOS FINOS REMOVIDOS POR LAVAGEM (M1-M2) 3,9
MASSA SECA APÓS LAVAGEM (M2)		247	
MALHA (mm)	MASSA RETIDA Ri (g)	% RETIDA	% ACUMULADA PASSADA
80	0	0,0	100
63	0	0,0	100
50	0	0,0	100
40	0	0,0	100
31,5	0	0,0	100
22,4	0	0,0	100
20	0	0,0	100
16	0	0,0	100
14	0	0,0	100
12,5	0	0,0	100
10	0	0,0	100
8	0	0,0	100
6,3	0	0,0	100
5	0	0,0	100
4	9,4	3,7	96
2	54,2	21,6	75
1	60,4	24,1	51
0,500	48,7	19,4	31
0,250	37,4	14,9	16
0,125	23,9	9,5	7
0,063	12,6	5,0	
Fundo (P)	0,4		
Total (ΣRi+P)	247,00		



%FINOS QUE PASSA O PENEIRO DE 0,063mm:

$$f = \left(\frac{[(M1-M2)+P]}{M1} \right) \times 100$$

1,7

VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS:

$$\left(\frac{[M2-(\Sigma Ri+P)]}{M2} \right) \times 100 < 1\%$$

0,0

Válido

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS (TIPO / REFª INTERNA)

L01142 - Estufa, L01385 - Balança Digital, L01787 - Série ISO 5

Observações:

Ensaio por: João Soares


Data: 10/09/2024

Validado por: Manuel Silva

Data: 10/09/2024

APÊNDICE K - Análise Granulométrica Brita - Betoneira Fixa/Lâminas

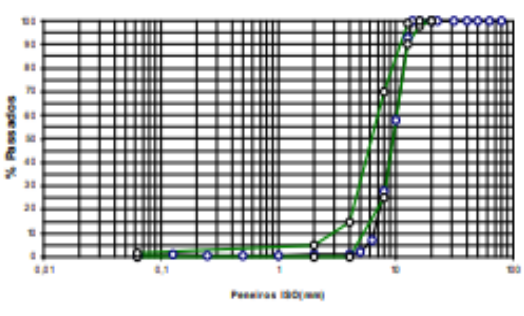
Tabela K: Granulometria dos materiais utilizados na ACC



RELATÓRIO DE ENSAIO
Análise Granulométrica
Método de peneiração - NP EN 933-1

Laboratório
Viseu

EMPREITADA Vale da Vaca (Viseu)			
CLIENTE Tecnovia Industria,S.A			
AMOSTRA			
AMOSTRA N°	29582.8960		
DATA DE COLHEITA	14/08/2024		
MATERIAL	Brita 4/12		
LOCAL DE COLHEITA	661 - INSTALAÇÃO SECUNDÁRI		
ORIGEM	Granito		
DATA RECEPÇÃO AMOSTRA	14/08/2024 16:07:38		
ENSAIO			
ENSAIO	Método de Peneiração NP EN 933-1		
PROCEDIMENTO USADO	<input checked="" type="checkbox"/> Lavagem e Peneiração <input type="checkbox"/> Peneiração a Seco		
SERIE PENEIROS USADA	Série Base + Série 2		
MASSA SECA TOTAL (M1)	2022,6		
MASSA SECA APÓS LAVAGEM (M2)	2016,9		
MASSA SECA DOS FINOS REMOVIDOS POR LAVAGEM (M1-M2)	5,7		
MALHA (mm)	MASSA RETIDA RI (g)	% RETIDA	% ACUMULADA PASSADA
80	0	0,0	100
63	0	0,0	100
50	0	0,0	100
40	0	0,0	100
31,5	0	0,0	100
22,4	0	0,0	100
20	0	0,0	100
16	0	0,0	100
14	0	0,0	100
12,5	138,8	6,9	93
10	707,7	35,0	58
8	608,1	30,1	28
6,3	425,5	21,0	7
5	106,1	5,2	2
4	16,7	0,8	1
2	5,5	0,3	1
1	0	0,0	1
0,500	0	0,0	1
0,250	0	0,0	1
0,125	0	0,0	1
0,063	7,1	0,4	
Fundo (P)	1,4		
Total (ΣRI+P)	2016,90		



%FINOS QUE PASSA O PENEIRO DE 0,063mm:

$$f = \left(\frac{[M1-M2]+P}{M1} \right) \times 100$$

0,4

VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS:

$$\left(\frac{[M2-(\Sigma RI+P)]}{M2} \right) \times 100 < 1\%$$

0,0

Válido

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS (TIPO / REFª INTERNA)

L01142 - Estufa, L01385 - Balança Digital (10100 g; 0,1g), L01787 - Série ISO 5

Observações:

<p>Ensaiado por: Allan Lantyer Data: 20/08/2024</p>	<p>Validado por: Manuel Silva Data: 20/08/2024</p>
--	---

