

SUBMETIDO 18/01/2022

APROVADO 14/03/2022

PUBLICADO ON-LINE 20/04/2022

PUBLICADO 10/10/2023


EDITOR ASSOCIADO
Andre Luis Christoforo

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6604>


ARTIGO ORIGINAL


Avaliação da qualidade dos agregados empregados na produção de concreto no município de Araruna, Paraíba

 Thiago de Sá Sena ^{[1]*}

 Cinthia Maria de Abreu Claudino ^[2]

 Daniel Costa da Silva ^[3]

 Maria Ingridy Lacerda Diniz ^[4]

 Maria das Vitórias do Nascimento ^[5]

[1] engthiagosena@gmail.com
Universidade Federal do Ceará (UFC), Brasil

[2] cinthiamariaac@gmail.com
Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Brasil

[3] daniel.costa.silva@hotmail.com
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Brasil

[4] mariaingridydiniz@gmail.com
Universidade Federal de Campina Grande (UFCC), Brasil

[5] vitoriaeng@yahoo.com.br
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Brasil

RESUMO: Agregados são importantes na construção civil e são aplicados de acordo com suas dimensões e resistência na produção do concreto. Para regulamentar os parâmetros dos agregados na produção de concreto existe a Norma Brasileira NBR 7211, de 2019, com especificações de agregados para concreto. Diante da expansão do setor construtivo, torna-se relevante garantir a qualidade desse material. Assim, este estudo averiguou a qualidade dos agregados graúdos e miúdos utilizados na produção de concreto em Araruna-PB. Amostras desses agregados foram coletadas em dez obras para caracterização laboratorial. Assim, para os agregados miúdos, constatou-se, pelo módulo de finura, que as areias não eram adequadas para concreto; as massas específica e unitária, por sua vez, estavam conformes aos parâmetros da norma e da literatura. Quanto aos percentuais de torrões de argila, observou-se que 70% das areias estão dentro do limite da NBR 7211; em relação ao teor de material pulverulento, 60% estavam acima do limite. Para as amostras dos agregados graúdos, 60% mostraram-se inadequadas, segundo o diâmetro máximo. Quanto à massa unitária, as amostras estão na faixa normal; para absorção de água, entretanto, apenas 30% das amostras estão adequadas. Esse cenário é preocupante, visto que, para obtenção de estruturas de concreto duráveis e seguras, devem-se utilizar agregados cujas características atendam ao que dispõe a norma regulamentar, o que não se constatou neste estudo.

Palavras-chave: agregado; concreto; controle tecnológico.

Quality assessment of aggregates used in the production of concrete in the municipality of Araruna, Paraíba

ABSTRACT: Aggregates are important in civil construction and they are applied in concrete production according to their dimensions and strength. Brazilian standard NBR 7211 about concrete aggregates was created to regulate the

*Autor para correspondência.

aggregate parameters in concrete production. Given the construction sector expansion, it is important to guarantee this material quality. This study investigated the quality of large and small aggregates used in concrete production in Araruna, State of Paraíba, Brazil. Aggregate samples were collected in ten construction sites to further laboratory characterization. Thus, it was verified for the small aggregates, by the fineness modulus, that the sands were not suitable for concrete, but the specific and unitary masses were under the standard and literature. Regarding clay clods percentage, it was observed that 70% of the sands were within the NBR 7211 limit, while the content of powdery material, 60% were above the limit. For large aggregate samples, 60% were inadequate according to the maximum diameter. About the unit mass, it was in the normal range, and for water absorption, only 30% of the samples were adequate. This scenario is worrisome because in order to obtain durable and safe concrete structures, it is not recommended to use any of the aggregates with any characteristics that do not comply with the standard NBR 7211.

.....
Keywords: *aggregate; concrete; technological control.*
.....

1 Introdução

Nas primeiras civilizações, empregavam-se os materiais na forma original como eram encontrados na natureza, mas logo se começou a trabalhá-los para que se adaptassem às mais variadas finalidades. Na construção civil, predominavam a pedra, a madeira e o barro. Devido ao aumento nas exigências, passou-se, porém, a se demandarem materiais de maior resistência, com maior durabilidade e melhor aparência. Assim, era preciso um material de fácil produção e moldagem, surgindo, então, o concreto (BAUER, 2019).

Os materiais de construção possuem origens diferentes e devem desenvolver funções específicas e previsíveis, de modo que possam permitir e assegurar uma obra de construção civil. O conhecimento das propriedades desses materiais resulta na aplicação adequada de cada um deles, além de permitir a sua utilização de forma inovadora tecnologicamente, o que tem sido de suma importância na viabilização de soluções altamente complexas dentro da construção civil no decorrer dos últimos anos (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013).

De acordo com Luz e Almeida (2012), o território brasileiro conta com propriedades geológicas variadas, havendo uma gama muito grande de rochas que podem ser empregadas como agregado; esse emprego varia conforme a disponibilidade e localização desse material na região.

Os agregados são materiais granulares, sem forma ou volume pré-estabelecidos, com características e tamanho de acordo com uso em obra de construção civil (SERNA; REZENDE, 2009). Grande parte dos agregados se encontra disposta na natureza em forma de rochas ou solos sedimentares, por isso necessitam de um processamento para o melhoramento de suas propriedades, como ocorre com o agregado graúdo, que, ao ser extraído da rocha, ainda deve passar por um processo de britagem para uniformizar o material triturado, e a areia, que, após extração da jazida, ainda passa por uma lavagem (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A aplicação dos agregados no setor da construção civil é feita conforme suas dimensões e resistência. Os agregados graúdos são utilizados na produção de concreto, por terem um bom entrosamento com a pasta de cimento, o que acarreta resistências elevadas a cargas mecânicas, bem como um produto final com ótima durabilidade. Já

os agregados médios e finos são, geralmente, destinados ao preenchimento ou para se enrijecer uma mistura (LUZ; ALMEIDA, 2012).

O concreto convencional é um material de ampla aplicabilidade no setor da construção civil. Tal material é composto por uma mistura de cimento, água e agregados miúdo e graúdo, estes últimos compondo 70% do volume total da mistura, o que contribui para a resistência ao desgaste superficial e auxilia na redução da retração da pasta de cimento e água. A dosagem dos componentes do concreto deve estar em conformidade com os parâmetros exigidos de resistência, trabalhabilidade e durabilidade (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013).

Os agregados que fazem parte da mistura de concreto devem apresentar uma composição mineralógica suficientemente capaz de assegurar resistência e durabilidade contra os esforços mecânicos para os quais as estruturas de concreto foram projetadas. Sua resistência deve, ainda, ser superior à da pasta de cimento, caso contrário os grãos se romperão antes da pasta. Os agregados tradicionalmente empregados são as britas de granito e gnaiss, as quais, em geral, satisfazem essas condições (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013).

A normatização tem a finalidade de regulamentar a qualidade, a classificação, a produção e a aplicação de vários materiais. Em cada país existem órgãos com a função de estabelecer tais diretrizes. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão responsável pela normatização no Brasil (BAUER, 2019). A norma que dita os parâmetros dos agregados para produção de concreto é a NBR 7211 (ABNT, 2019).

Assim, para garantir que os agregados possuam os parâmetros necessários descritos nas normas, é importante realizar o controle tecnológico, o que consiste em um método usado para determinação e monitoramento de várias características físicas e químicas de materiais empregados no setor da construção civil, como é o caso dos agregados minerais. Esse controle tem como objetivo principal ditar aspectos e prever comportamentos que afetam diretamente a qualidade dos produtos finais – no caso dos agregados minerais, o concreto ou argamassa confeccionados a partir dessa matéria-prima (FERNANDES; NUMMER, 2018).

O controle tecnológico é realizado por meio de ensaios, buscando-se verificar a qualidade dos materiais que serão utilizados na obra, checando aspectos relativos à resistência e durabilidade do material (BACK *et al.*, 2018; YAZIGI, 2021). Muitas vezes, no entanto, essa tarefa é negligenciada, principalmente nos locais afastados dos grandes centros, onde a mão de obra é carente de qualificação.

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), é preciso fazer o controle não somente do concreto, mas também dos agregados, água e aditivos. Segundo a NBR 12654 (ABNT, 2000), o controle tecnológico deve ser elaborado em função do grau de responsabilidade da estrutura, das condições agressivas existentes no local da obra e do conhecimento prévio das características dos materiais disponíveis para a execução das obras.

Caracterizar tecnologicamente um material de construção é, de modo abrangente, entendê-lo em relação às suas propriedades intrínsecas – como sua natureza, sua origem, sua constituição bem como seu comportamento –, quando submetido a solicitações específicas e em relação a determinados parâmetros técnicos, os quais devem ser atendidos para cumprimento de funções pré-estabelecidas para composição de uma estrutura (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013).

Tendo em vista a importância dos agregados no concreto e a expansão do setor construtivo nos últimos anos em Araruna-PB, desde a implantação do campus VIII da

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), este estudo teve como objetivo analisar os agregados graúdos e miúdos empregados na produção de concreto na zona urbana desse município, para verificar, por meio de ensaios, suas características e verificar sua adequação à norma NBR 7211 (ABNT, 2019), que estabelece parâmetros para agregados na produção de concreto.

Estudos sobre a qualidade dos agregados miúdos com base em suas características foram realizados por Souza, Silva e Pina (2017), Araújo *et al.* (2020), Esquerdo *et al.* (2020) e Sousa *et al.* (2021). Essas pesquisas, no entanto, se limitam a analisar somente os agregados miúdos. No estudo aqui apresentado, são analisados os agregados miúdos e graúdos separadamente e de forma conjunta, numa relação comparativa, a fim de se verificar se as características dos agregados atendem à NBR 7211 (ABNT, 2019) dentro da uma mesma obra em que o concreto é produzido.

Nas seções seguintes, é apresentada uma revisão da literatura e das normas relacionadas às principais características dos agregados avaliados neste estudo. Depois, é explicada a metodologia adotada, apresentando-se a discussão dos resultados obtidos com a metodologia utilizada. Por último, são apresentadas as considerações finais quanto ao cenário dos agregados utilizados na produção de concreto nas obras no município de Araruna-PB.

2 Referencial teórico

O teor de umidade dos agregados e os aspectos relacionados às dimensões dos seus grãos, considerando-se sua classificação de acordo com o tamanho de suas partículas, podendo ser agregados graúdos e miúdos, serão abordados nesta seção, além de ensaios relativos à qualidade desse material para utilização em misturas de concreto, visto que, segundo Mehta e Monteiro (2014), as características dos agregados – como massa específica, umidade, classificação, granulometria, forma e textura – determinam as propriedades plásticas do concreto fresco.

2.1 Características dos agregados

As principais características dos agregados graúdos e miúdos, como o módulo de finura das areias, a dimensão máxima do agregado graúdo, as massas unitária e específica, a taxa de absorção dos agregados graúdos, as impurezas, o teor de torrões de argila e o percentual de material pulverulento serão apresentadas nesta subseção.

2.1.1 Teor de umidade

Segundo a NBR 9775 (ABNT, 2011), o teor de umidade superficial do agregado é a taxa percentual de água aderida à superfície dos grãos, que corresponde à razão entre a massa do agregado úmido e a massa do agregado seco. Esse teor é de suma importância para a dosagem do concreto, porque há uma proporção adequada de água e cimento na mistura dos materiais – o fator água/cimento, que deve ser ajustado conforme o teor de umidade dos agregados.

Conforme Ribeiro, Pinto e Starling (2013), o fenômeno do inchamento, que é comumente observado nas areias, é ocasionado devido à água presente no próprio

agregado, o que provoca um acréscimo no seu volume aparente, causado pelo afastamento de seus grãos. A NBR 6467 (ABNT, 2009) estabelece o método de ensaio para determinação do inchamento dos agregados miúdos para concreto, especificamente para agregados naturais.

A umidade da areia precisa ser determinada, para se corrigir a relação entre água e cimento do concreto. De acordo com Bai *et al.* (2020), ajustar o teor de umidade do agregado pode melhorar o desempenho do concreto, para atender aos requisitos desejados de qualidade e resistência.

2.1.2 Dimensão dos grãos

A classificação dos agregados em graúdo e miúdo é realizada conforme o tamanho de seus grãos, o que se observa a partir da separação desses agregados em peneiras normatizadas pela ABNT. Ribeiro, Pinto e Starling (2013) afirmam que, por meio do ensaio de granulometria, é possível determinar a dimensão máxima característica e o módulo de finura do agregado, aspectos que são de suma importância para especificar a aplicação dos agregados em concretos. A composição granulométrica influencia diretamente a qualidade desse produto, essencialmente no que diz respeito à trabalhabilidade, compacidade e resistência mecânica.

2.1.2.1 Agregado miúdo

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019), agregado miúdo é areia de origem natural ou resultante de britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira 4,75 mm e ficam retidos na peneira 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010b).

Segundo Silva (2012), as areias têm como composto principal o quartzo, porém sua composição química e mineralógica varia conforme sua origem, que pode ser orgânica, química, vulcânica ou clástica. Em sua forma natural, é oriunda de arenitos não consolidados, aluviões, depósitos residuais, solos de alterações, dunas e outros. Na forma industrializada, é representada pelo subproduto de britagem ou lavra de pedreira.

2.1.2.2 Agregado graúdo

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019), o agregado graúdo é o pedregulho ou a brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 75 mm e ficam retidos na peneira 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010b). Parte considerável do concreto são agregados graúdos e miúdos, que representam cerca de 70% a 80% do volume do concreto obtido (WANG *et al.*, 2012).

A resistência do concreto depende muito da estrutura interna, natureza da superfície e forma dos agregados (BAMIGBOYE *et al.*, 2016). Nesse sentido, os agregados graúdos devem apresentar elevada resistência à compressão, baixo índice de abrasão Los Angeles,

baixo teor de materiais friáveis e boa aderência à pasta de cimento (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013).

As britas são classificadas, comercialmente, de acordo com intervalos de tamanhos, na série normal de peneiras da NBR 7211 (ABNT, 2019), como: brita 0 (4,8 mm – 9,5 mm), brita 1 (9,5 mm – 19,0 mm) e brita 2 (19,0 mm – 25,0 mm), geralmente as mais empregadas na fabricação de concreto convencional; brita 3 (25,0 mm – 38,0 mm) e brita 4 (38,0 mm – 64,0 mm), mais aplicadas em concreto massa; por último, pedra de mão (acima de 76 mm de diâmetro), utilizada, na maior parte dos casos, para construção de fundações (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013).

2.1.3 Módulo de finura

O módulo de finura de um agregado corresponde à soma das porcentagens retidas acumuladas em massa, nas peneiras da série normal da NBR 7211 (ABNT, 2019), dividida por 100. O valor do módulo de finura decresce à medida que o agregado vai se tornando mais fino, ou seja, quanto maior o módulo de finura, mais grosso é o agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O módulo de finura tem relação com a área superficial do agregado – e, por isso, interfere na água de molhagem para que o agregado miúdo tenha uma certa consistência. O módulo de finura deve ser mantido constante dentro de certos limites, no intuito de evitar mudanças no traço da mistura de concreto (NEVILLE, 2013).

Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2013), a partir do módulo de finura, os agregados miúdos podem ser classificados como areias grossas, médias e finas, o que, por conseguinte, definirá suas utilizações em concretos, chapisco, emboço e reboco, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 ►

Classificação das areias quanto ao módulo de finura.

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2013)

Tipos	Módulo de finura MF	Aplicação
Areia grossa	$MF > 3,3$	Concreto e chapisco
Areia média	$2,4 < MF < 3,3$	Emboço e concreto
Areia fina	$MF < 2,4$	Reboco

2.1.4 Dimensão máxima do agregado

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019), a dimensão máxima característica ou o diâmetro máximo do agregado corresponde à abertura nominal da peneira, em milímetros, da série normal ou intermediária, em que o agregado contar com uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5% de sua massa.

A NBR 6118 (ABNT, 2014), que trata de projeto de estrutura de concreto, recomenda que o diâmetro máximo do agregado não supere determinados limites, no intuito de evitar danos e não atrapalhar o processo de concretagem no caso de estruturas de concreto armado – a dimensão máxima característica do agregado graúdo para aplicação em misturas de concreto armado não deve ultrapassar em 20% a espessura do cobrimento nominal.

2.1.5 Massa unitária e massa específica

De acordo com a NBR 16972 (ABNT, 2021c), a massa unitária é a relação entre a massa e o volume aparente do agregado, em que o volume aparente é a soma do volume dos grãos com o volume dos vazios. A massa unitária pode ser usada como medida indireta da quantidade de vazios entre os grãos de agregados bem como para relacionar quantidades de material em peso para volume.

De acordo com Ribeiro, Pinto e Starling (2013), através da massa unitária, é possível fazer a classificação dos agregados em leves, normais e pesados, tendo em vista que tal valor é fornecido pela relação entre a massa e o volume de sólidos, assim como o volume de vazios. Essa classificação dos agregados conforme a massa unitária está apresentada no Quadro 2, assim como exemplos de agregados de acordo com a sua classificação e aplicações.

Quadro 2 ▼

Classificação dos agregados segundo a massa unitária.

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2013)

	Leves	Normais	Pesados
Massa unitária γ_a (kg/dm³)	$\gamma_a < 1$	$1 < \gamma_a < 2$	$\gamma_a > 2$
Exemplos	Escória de alto-forno, lodo de esgoto, argila expandida	Areia, brita e pedregulho	Barita, limonita, magnetita
Exemplos de utilização	Pré-moldados	Obras correntes	Concretos de estruturas especiais: blindagem contra radiação

De acordo com a NBR 16916 (ABNT, 2021a), a massa específica de um agregado é a relação entre a sua massa no estado seco e o volume ocupado por essa massa seca, sem considerar os poros permeáveis.

Deve-se atentar para a massa específica, visto que, segundo Mehta e Monteiro (2014), os fatores como a exsudação e a segregação, que interferem na qualidade do concreto, têm suas principais causas relacionadas aos índices inadequados de massa específica, pequena quantidade de partículas e métodos irregulares de adensamento.

2.1.6 Taxa de absorção de água do agregado graúdo

A taxa de absorção de água do agregado graúdo é determinada de acordo com a norma NBR 16917 (ABNT, 2021b), que define a quantidade de água que o agregado é capaz de absorver em percentual relativo à sua massa no estado seco.

De acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2019), para os agregados produzidos a partir de rochas com absorção de água inferior a 1%, determinados conforme a NBR 16917 (ABNT, 2021b), o limite de material fino pode ser alterado de 1% para 2%.

2.1.7 Impureza no agregado

Geralmente existem, nos agregados miúdos e graúdos, substâncias que são consideradas nocivas à produção do concreto, como os torrões de argila, os materiais

pulverulentos ou as impurezas orgânicas; essas substâncias são consideradas materiais contaminantes, por isso devem estar presentes nesse tipo de mistura em teores limitados para que não prejudiquem a qualidade final ou o desempenho do concreto com o surgimento de patologias (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013).

Deve ser verificado se o agregado possui algum material que inviabilize seu uso, tais como: partículas que podem causar reações químicas expansivas com o cimento; partículas de granulometria igual ou inferior à do cimento, que enfraquecem a estrutura do material hidratado; partículas com baixa resistência ou com expansões e contrações excessivas; material que interfira na pega e no endurecimento do cimento; impurezas que prejudiquem as armaduras do concreto armado (LUZ; ALMEIDA, 2012).

2.1.8 Torrões de argila

Conforme a norma NBR 7218 (ABNT, 2010a), torrões de argila e materiais friáveis são definidos como partículas presentes nos agregados, capazes de serem rompidas com a aplicação de pressão entre os dedos polegar e indicador.

Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2013), tanto o agregado graúdo quanto o agregado miúdo para a produção de concreto não devem possuir argila em modo de torrões friáveis, em percentual relativo ao peso do agregado, em quantidade maior que os limiares estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2019), que determina como limite o máximo de 3% de torrões de argila para o agregado miúdo e o intervalo limite de 1% a 3% de torrões de argila para o agregado graúdo, de acordo com o tipo de concreto.

2.1.9 Material pulverulento

O material pulverulento é composto por partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, abrangendo os materiais solúveis em água. A taxa desse material é dada pela diferença de massa entre a amostra de agregado com material pulverulento e a massa após processo de lavagem, conforme descrito na norma NBR 16973 (ABNT, 2021d).

Conforme a norma NBR 7211 (ABNT, 2019), nas areias naturais empregadas como agregado miúdo, o limite máximo aceitável de material pulverulento é de 3% em relação à massa do agregado quando este é utilizado para concretos sujeitos a desgaste superficial. Quando esse agregado é empregado em concretos protegidos contra desgaste superficial, esse limite é estabelecido em 5%. Para o agregado graúdo, a norma prescreve um limite máximo de 1% em relação à massa do material.

3 Método da pesquisa

Nesta seção é explicada, de forma sistemática, a metodologia da pesquisa, abordando-se em que tipo de estudo a pesquisa se enquadra, a caracterização e localização da área estudada, a coleta e acondicionamento das amostras de agregados e os instrumentos e técnicas normativas utilizados para obtenção dos resultados.

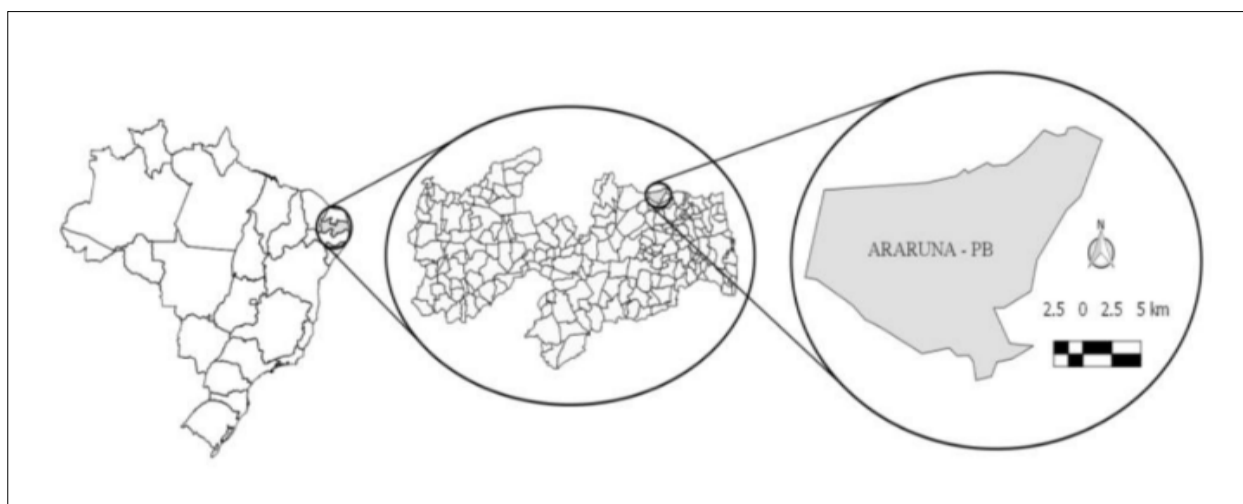
3.1 Tipo de estudo

A pesquisa foi realizada de maneira qualitativa e quantitativa, método que, de acordo com Köche (2011), examina as relações entre duas ou mais variáveis de um determinado fenômeno sem manipulá-las. A partir disso, como retorno da aplicação de tais métodos, a fim de atingir o objeto da pesquisa, obtiveram-se as situações dos agregados minerais graúdos e miúdos analisados no estudo.

3.2 Local de estudo

O estudo foi realizado no município de Araruna, no estado da Paraíba, com localização apresentada na Figura 1, sendo essa cidade escolhida em consequência do relativo crescimento demográfico e econômico nos últimos anos, devido especialmente à implantação do campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba, que proporcionou avanços na educação, no comércio e na infraestrutura local.

Figura 1 ▼
Localização geográfica do estudo.
Fonte: Neves (2016)



A pesquisa teve como objeto de estudo uma amostra de dez obras do município de Araruna-PB, local onde se coletaram os agregados graúdos e miúdos utilizados na produção de concretos.

3.3 Coleta de amostras

A coleta das amostras de agregados para as análises em laboratório foi realizada em dez canteiros de obras diferentes, espalhados na cidade de Araruna, em quantidades suficientes para realização de todos os ensaios. Os agregados miúdos e graúdos foram selecionados, separados e armazenados de acordo com a quantidade e as orientações estabelecidas nas normas que regem os ensaios de caracterização desse material de construção. Alguns dos agregados coletados estão mostrados na Figura 2.

Figura 2 ▶

Agregados coletados para caracterização.
 (a) Agregado miúdo.
 (b) Agregado graúdo.

Fonte: acervo dos autores

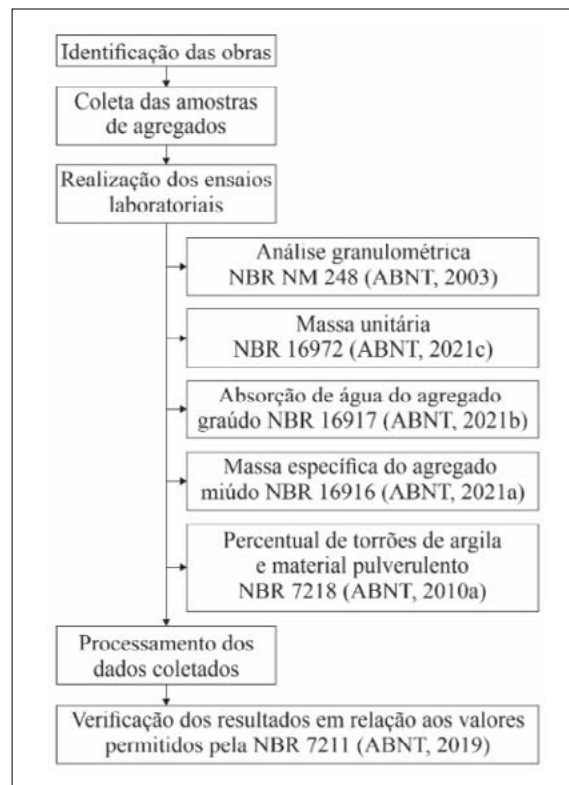


3.4 Instrumentos e técnicas

O estudo se desenvolveu de acordo com fluxograma apresentado na Figura 3, o qual apresenta todas as atividades e ensaios de caracterização de agregados realizados, além de suas respectivas normas de execução.

Figura 3 ▶

Fluxograma das atividades.
 Fonte: elaborada pelos autores (2021)



A análise granulométrica do agregado graúdo, para fazer a curva granulométrica das britas, foi realizada com as peneiras de aberturas 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,8 mm, 2,4 mm e 1,2 mm.

Os resultados obtidos foram processados e analisados de forma comparativa com os valores permitidos pela NBR 7211 (ABNT, 2019), a partir de tabelas com os valores referentes a cada característica dos agregados.

4 Resultados da pesquisa

Os resultados serão apresentados e discutidos separadamente para o agregado miúdo e o agregado graúdo, conforme as características e a sua aplicação na produção de concreto.

4.1 Agregado miúdo

As características analisadas nos agregados miúdos foram o módulo de finura, a massa específica, a massa unitária, o teor de argila em torrões e o percentual de material pulverulento.

4.1.1 Módulo de finura

A partir dos dados da análise granulométrica, foi possível calcular o módulo de finura de cada agregado miúdo coletado, para verificar em que tipo de areia tais agregados se enquadram. Assim, os resultados com os valores do módulo de finura e a classificação conforme o tipo de areia são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 ►
Módulo de finura e
tipo de areia.
Fonte: dados da pesquisa

Obra	Módulo de finura	Tipo de areia
1	2,65	Média
2	2,72	Média
3	2,54	Média
4	2,04	Fina
5	3,02	Média
6	2,04	Fina
7	2,59	Média
8	2,48	Média
9	3,07	Média
10	2,26	Fina

Verifica-se, entre as dez amostras, que sete se enquadram como areia média e apenas três como areia fina. Já que as areias coletadas estavam sendo usadas para produção de concreto convencional, o ideal é que se empregue areia média ou grossa. Esse resultado nos permitiu concluir que, em 70% das obras, estavam sendo utilizadas areias com módulo de finura adequado para produção de concreto, enquanto nos 30% restantes se utilizavam areias indevidas para essa finalidade.

Sousa *et al.* (2021) constataram, por meio do estudo da qualidade do agregado miúdo utilizado na construção civil, que esse tipo de agregado – classificado pelos autores como areia média a partir do valor do módulo de finura – pode ser empregado na produção de concreto. Além disso, os autores compararam os resultados à zona ótima do módulo de finura, que, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019), fica entre 2,20 e 2,90. Nesse sentido, 60% das obras analisadas por este estudo apresentaram-se dentro da zona ótima.

4.1.2 Massa específica

Os resultados dos ensaios de massa específica dos agregados miúdos estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 ▶

Massa específica dos agregados miúdos.
Fonte: dados da pesquisa

Obra	Massa específica (g.cm ⁻³)
1	2,33
2	2,33
3	2,63
4	2,46
5	2,57
6	2,38
7	2,57
8	2,59
9	3,20
10	2,82

De acordo com a literatura, a massa específica de uma areia fica, geralmente, em torno de 2,60 g.cm⁻³. Assim, ao considerar esse valor, em 70% das amostras os valores se encontram próximos da massa específica tomada como referência.

4.1.3 Massa unitária

Os valores de massas unitárias dos agregados miúdos obtidos por meio dos ensaios estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 ▶

Massa unitária do agregado miúdo.
Fonte: dados da pesquisa

Obra	Massa unitária (g.cm ⁻³)
1	1,51
2	1,56
3	1,43
4	1,51
5	1,55
6	1,52
7	1,53
8	1,65
9	1,44
10	1,49

Ao se compararem os resultados de massa unitária obtidos com os intervalos da Tabela 2, verifica-se que todas as amostras estão entre $1,00 \text{ g.cm}^{-3}$ e $2,00 \text{ g.cm}^{-3}$, logo, segundo a massa unitária, todas as areias se classificam como agregados normais, nem pesados nem leves. Então, todas as amostras de areias estudadas apresentaram um bom resultado quanto a esse parâmetro.

Ao analisarem os valores de massa unitária dos agregados miúdos utilizados na cidade de Santarém-PA, Esquerdo *et al.* (2020) observaram que 80% das amostras atendiam aos requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2019) quanto ao referido parâmetro.

4.1.4 Torrões de argila

A presença de quantidades consideráveis de torrões de argila – principalmente os de grandes dimensões – em concretos acaba acarretando pontos fracos no interior do material, pois esses torrões, quando dissolvidos, contornam os grãos resistentes, restringindo a aderência e, conseqüentemente, a resistência final do concreto produzido. Dessa forma, a determinação do teor de torrões de argila por meio de ensaios é importante. A Figura 4 ilustra um exemplo de presença dos torrões, constatados durante a realização dos ensaios.

Figura 4 ►

Torrões de argila destorroados no ensaio.
Fonte: acervo dos autores



Os resultados e os valores de massa inicial e final dos ensaios do percentual de torrões de argila nos agregados miúdos estão listados na Tabela 4.

Tabela 4 ►

Percentual de torrões de argila no agregado miúdo.
Fonte: dados da pesquisa

Obra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Torrões de argila (%)
1	200,06	184,72	7,67
2	200,09	198,56	0,76
3	200,09	195,08	2,50
4	200,01	195,33	2,34
5	200,04	196,04	2,00
6	200,11	179,54	10,28
7	200,13	181,63	9,24
8	200,07	197,23	1,42
9	200,21	198,69	0,76
10	200,09	196,42	1,83

Os agregados com finalidade de produzir concreto têm um limite de tolerância de 3% para torrões de argila, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019). Ao se comparar o limite estabelecido pela norma com os resultados obtidos na Tabela 4, verifica-se que 30% das areias se encontram acima do limite de tolerância e 70% abaixo desse limite; esses 70%, portanto, estão adequados para aplicação na produção de concreto.

De acordo com os estudos de Souza, Silva e Pina (2017), mesmo sendo lavado, o agregado miúdo ainda pode apresentar um teor de argila em torrões acima do valor aceito pela norma NBR 7211 (ABNT, 2019). Ao caracterizar o agregado miúdo na microrregião do agreste potiguar, os autores obtiveram 6,32% de argila em torrões, valor maior que o limite de tolerância estabelecido pela norma.

4.1.5 Material pulverulento

Os valores das massas iniciais, das massas finais e dos percentuais de material pulverulento dos agregados miúdos estão listados na Tabela 5.

Tabela 5 ▶
Percentual de material pulverulento nos agregados miúdos.
Fonte: dados da pesquisa

Obra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Material pulverulento (%)
1	500,62	466,62	6,79
2	500,72	493,53	1,44
3	500,19	473,62	5,31
4	500,2	473,61	5,32
5	500,06	495,87	0,84
6	500,48	420,59	15,96
7	500,47	464,91	7,11
8	500,23	424,77	15,09
9	500,09	487,65	2,49
10	500,11	492,16	1,59

Os agregados para produção de concreto devem apresentar um percentual de 3% a 5% de tolerância no teor de material pulverulento, conforme a norma NBR 7211 (ABNT, 2019). Assim, se comparado o intervalo de limite estabelecido por essa norma com os resultados expressos na Tabela 5, percebe-se que 60% das areias estão acima desse limite e 40% abaixo dele. Esses resultados são preocupantes, visto que, segundo Araújo *et al.* (2020), que analisaram o controle dos agregados miúdos em obras de Sobral-CE, a maior parte dos agregados miúdos usados na produção de concreto está com excesso de finos – um peneiramento para remoção das frações granulométricas indesejadas, antes do preparo da mistura de concreto, é um procedimento indicado nesses casos.

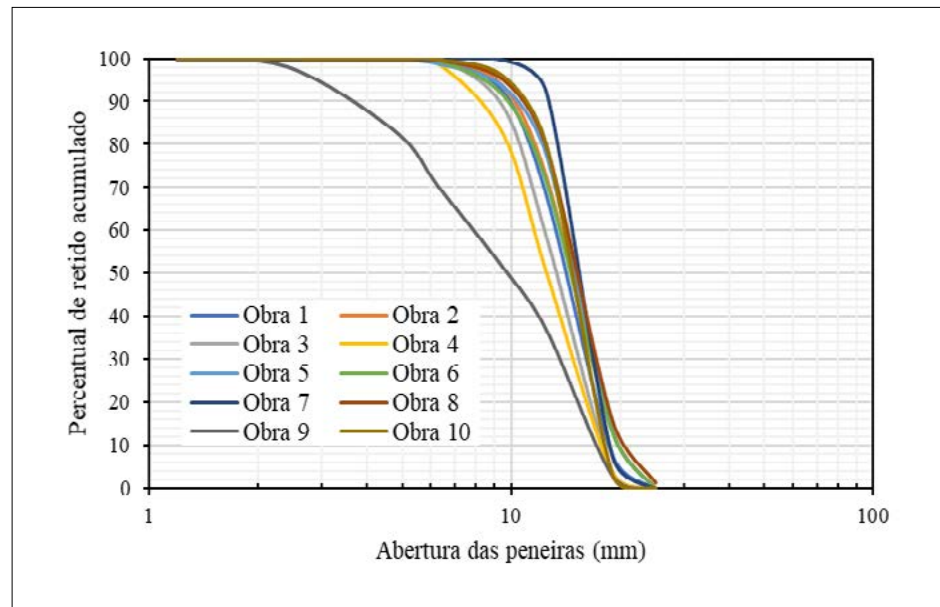
4.2 Agregado graúdo

As características analisadas nos agregados graúdos foram o diâmetro máximo do agregado, a massa unitária e a taxa de absorção de água.

4.2.1 Diâmetro máximo do agregado

A partir dos ensaios de granulometria dos agregados graúdos, foi possível gerar a curva granulométrica dos agregados graúdos por obra, em relação ao percentual de retido acumulado e às aberturas das peneiras em milímetros, como apresentado na Figura 5.

Figura 5 ►
Curvas granulométricas dos agregados graúdos por obra.
Fonte: dados da pesquisa



Observa-se que, entre as dez obras analisadas, a que apresenta brita de graduação mais variada e diferente é a obra 9 – as demais, portanto, contam com curvas granulométricas bem semelhantes.

A análise granulométrica dos agregados graúdos também foi feita no intuito de verificar em que tipo de brita os agregados se enquadram para uso em concreto, sendo possível determinar o diâmetro máximo de cada amostra de brita. Assim, os valores do diâmetro máximo e a classificação conforme o tipo de brita são elencados na Tabela 6.

Tabela 6 ►
Diâmetro máximo e tipo de brita por obra.
Fonte: dados da pesquisa

Obra	D_{max} (mm)	Tipo de brita
1	25	2
2	25	2
3	19	1
4	19	1
5	25	2
6	25	2
7	25	2
8	25	2
9	19	1
10	19	1

Ao observar a Tabela 6, constatou-se que quatro amostras têm o diâmetro característico máximo de 19 mm, ou seja, 40% das britas são do tipo 1; seis amostras têm 25 mm de diâmetro máximo característico, significando que 60% das britas são do tipo 2.

Como se trata de obras residenciais, ambos os tipos de britas servem para produção de concreto convencional, mas, considerando que todas as amostras foram coletadas como brita 1, apenas 40% se enquadram como tal. Isso chama a atenção, porque o tipo de brita pode interferir na concretagem quanto aos espaçamentos das armaduras, o que pode ocasionar problemas futuros aos elementos da estrutura bem como pode interferir na dosagem da mistura de concreto, que geralmente é determinada considerando a brita 1 como agregado graúdo.

4.2.2 Massa unitária

Os valores de massas unitárias dos agregados graúdos obtidos por meio dos ensaios estão indicados na Tabela 7.

Tabela 7 ►
Massa unitária do
agregado graúdo.
Fonte: dados da pesquisa

Obra	Massa unitária (g.cm⁻³)
1	1,52
2	1,52
3	1,53
4	1,54
5	1,47
6	1,52
7	1,39
8	1,49
9	1,45
10	1,48

Assim como os agregados miúdos, todas as britas se classificam como agregado normal, logo todas as britas estudadas estavam adequadas quanto a esse parâmetro.

4.2.3 Absorção de água

Os valores das massas iniciais, das massas finais e dos percentuais de absorção de água dos agregados graúdos estão listados na Tabela 8 (próxima página).

Tabela 8 ►

Absorção de água pelo agregado graúdo.

Fonte: dados da pesquisa

Obra	Massa seca (g)	Massa úmida (g)	Absorção de água (%)
1	2000,23	2041,11	2,04
2	2000,69	2036,61	1,80
3	2000,37	2057,54	2,86
4	2000,13	2058,04	2,90
5	2000,29	2051,4	2,56
6	2000,19	2057,36	2,86
7	2000,09	2028,79	1,43
8	2000,28	2029,05	1,44
9	2000,24	2083,78	4,18
10	2000,39	2040,61	2,01

Como o fator limite definido por norma é de 2%, observa-se que, dos resultados apresentados na Tabela 8, somente 30% das amostras de brita se mostram adequadas quanto à taxa de absorção, enquanto 70% das britas apresentaram taxa maior que 2%.

Tabela 9 ▼

Levantamento das características dos agregados e classificação para uso em misturas de concreto.

Fonte: dados da pesquisa

Os agregados de todas as obras se mostraram adequados quanto à massa unitária; assim sendo, os dados desse parâmetro não foram considerados na análise geral para verificar em qual obra os agregados estavam conformes à NBR 7211 (ABNT, 2019). Os resultados considerados e a situação dos agregados para aplicação em concreto estão na Tabela 9.

Obra	Tipo de areia	Massa específica da areia (g.cm ⁻³)	Torrões de argila (%)	Material pulverulento (%)
1	Média	2,33	7,67	6,79
2	Média	2,33	0,76	1,44
3	Média	2,63	2,50	5,31
4	Fina	2,46	2,34	5,32
5	Média	2,57	2,00	0,84
6	Fina	2,38	10,28	15,96
7	Média	2,57	9,24	7,11
8	Média	2,59	1,42	15,09
9	Média	3,20	0,76	2,49
10	Fina	2,82	1,83	1,59

Obra	Tipo de brita	Taxa de absorção da brita (%)	Situação geral dos agregados
1	2	2,04	Inadequados
2	2	1,80	Inadequados
3	1	2,86	Inadequados
4	1	2,90	Inadequados
5	2	2,56	Inadequados
6	2	2,86	Inadequados
7	2	1,43	Inadequados
8	2	1,44	Inadequados
9	1	4,18	Inadequados
10	1	2,01	Inadequados

Assim, para este estudo, ao verificar separadamente os agregados miúdo e graúdo, apenas duas das areias se mostraram adequadas, e nenhuma das britas estava conforme à orientação especificada na norma NBR 7211 (ABNT, 2019). Três delas, porém, poderiam ser empregadas em misturas de concreto, caso esse material fosse dosado para brita 2. Ao considerar que os agregados miúdo e graúdo são empregados em conjunto na produção do concreto, nenhuma das obras utilizava agregados adequados nessa produção.

5 Considerações finais

A partir dos dados obtidos, foi possível perceber a situação dos agregados nas obras analisadas no município de Araruna, estado da Paraíba, bem como obter o diagnóstico da qualidade dos materiais empregados na produção de concreto, ao se identificarem os pontos que mais demandam atenção para que possam ser corrigidos.

Além das características aqui abordadas, há inúmeras outras que auxiliam na identificação da qualidade dos agregados, como a resistência ao desgaste e ao esmagamento e a resistência do concreto produzido com os agregados caracterizados, para verificar a influência de cada parâmetro na capacidade do concreto produzido.

Notou-se também que a desconformidade dos agregados com a norma NBR 7211 pode ser relacionada a dois fatores: os padrões de produção das pedreiras e dos areais na cidade de Araruna e o armazenamento dos agregados no canteiro de obras. Então, recomenda-se que os fornecedores de agregados aumentem o controle de qualidade em sua produção e que o armazenamento dos agregados nas obras seja o mais adequado possível, longe de substâncias nocivas e protegidos de intempéries.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467**: Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218**: Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2010a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9775**: Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654**: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916**: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917**: Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16973**: Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021d.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte I: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro: ABNT, 2010b.

ARAÚJO, L. E. F.; CARVALHO, F. M.; SANTANA, K. A.; RODRIGUES, M. D. A.; SALES, J. C. A falta de controle dos agregados miúdos em diferentes obras de Sobral. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 67714-67723, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-271>.

BACK, A. H.; PINHEIRO, R. J. B.; NUMMER, A. V.; FERNANDES, P. N.; WOJAHN, R. E.; FERREIRA, A. M. C. Análise de uma jazida de rocha localizada em Santa Maria/RS e a caracterização de seu material granular. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL (CBGE), 16., 2018, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: ABGE, 2018. Disponível em: http://www.schenautomacao.com.br/cbge/envio/files/trabalho_97.pdf. Acesso em: 31 mar. 2022.

BAI, G.; ZHU, C.; LIU, C.; LIU, B. An evaluation of the recycled aggregate characteristics and the recycled aggregate concrete mechanical properties. **Construction and Building Materials**, v. 240, 117978, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117978>.

BAMIGBOYE, G. O.; EDE, A. N.; UMANA, U. E.; ODEWUMI, T. O.; OLOWU, O. A. Assessment of strength characteristics of concrete made from locally sourced gravel aggregate from South-South Nigeria. **Current Journal of Applied Science and Technology**, v. 12, n. 5, p. 1-10, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.9734/BJAST/2016/20365>.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. v. 1.

ESQUERDO, F. L.; SOUSA JÚNIOR, M. C.; NEVES, P. H. L.; CASTRO, S. B.; BUDELON, A. S. Análise dos agregados miúdos utilizados na cidade de Santarém por difração de raios x. **Revista Uniaraguaia**, Goiânia, v. 15, n. 2, p. 25-32, 2020. Disponível em: <https://sipe.uniaraguaia.edu.br/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/article/view/943>. Acesso em: 16 out. 2023.

FERNANDES, P.; NUMMER, A. V. Controle tecnológico de agregados minerais em diferentes pedreiras do Rio Grande do Sul. *In*: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIPAMPA: SALÃO DE EXTENSÃO, 10., 2018, Santana do Livramento. **Anais [...]**. Santana do Livramento: UNIPAMPA, 2018. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/18108/seer_18108.pdf. Acesso em: 31 mar. 2022.

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica**: teoria da ciência e iniciação à pesquisa. 14. ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. **Manual de agregados para construção civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestruturas, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: Editora Nicole Pagan Hasparyk, IBRACON, 2014.

NEVES, Y. T. **Tratamento alternativo de águas subterrâneas em comunidades rurais**. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2016. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/12159>. Acesso em: 31 mar. 2022.

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RIBEIRO, C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013.

SERNA, H. A.; REZENDE, M. M. Agregados para a construção civil. *In*: RODRIGUES, A. F. S. (coord.). **Economia mineral do Brasil**. Brasília: DNPM, 2009. p. 602-635. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>. Acesso em: 27 ago. 2023.

SILVA, G. A. **Diagnóstico do setor de agregados para a construção civil na Região Metropolitana de Natal – RN**. 2012. 193 f. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Mineral) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/11694>. Acesso em: 31 mar. 2022.

SOUSA, R. M. L.; SILVA, P. F.; OLIVEIRA, F. C.; SOUSA, H. F.; LOPES, P. D.; CHAVES, F. A. O.; FALCÃO, M. S.; PAZ, G. M.; SOARES, R. A. L. Quality study of the small aggregate used in civil construction. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, e420101422295, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.22295>.

SOUZA, M. M.; SILVA, A. L. O.; PINA, L. V. G. Caracterização de agregado miúdo fornecido na microrregião do agreste potiguar, popularmente denominada “areia barrada”. **Holos**, ano 33, v. 4, p. 395-407, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2017.5954>.

WANG, A.; DENG, M.; SUN, D.; LI, B.; TANG, M. Effect of crushed air-cooled blast furnace slag on mechanical properties of concrete. **Journal of Wuhan University of Technology – Materials Science Edition**, v. 27, p. 758-762 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11595-012-0543-y>.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 18. ed. São Paulo: Blucher, 2021.