

Avaliação do potencial de reatividade álcali-agregado de areias naturais do estado do Paraná

Miranda, Dayane C. ¹; Bronholo, Jeferson L. ²; Bragança, Mariana O. G. P. ³, Portella, Kleber F. ⁴; Figueira, Isabella F. R. ⁵; Medeiros, Betina L. ⁶, Hasparyk, Nicole P. ⁷; Kuperman, Selmo C. ⁸

¹Engenheira Civil, PPGECC-UFPR/Lactec, dayane.miranda@lactec.org.br

²Especialista, Lactec-IEP/Lactec, jeferson.luiz@lactec.org.br

³Doutora, PPGECC-UFPR/Lactec, mariana.portella@lactec.org.br

⁴Doutor, PIPE-UFPR/Lactec, portella@lactec.org.br

⁵Doutora, Lactec, isabella.figueira@lactec.org.br

⁶Mestre, Lactec, betina@lactec.org.br

⁷Doutora, Eletrobras Furnas, nicole@furnas.com.br

⁸Doutor, DESEK, selmo@desek.com.br

Resumo: Neste estudo objetivou-se alertar a comunidade técnico-científica local com relação à investigação do grau de reatividade potencial, quanto à Reação Álcali-Agregado (RAA), de 11 areias extraídas no Estado do Paraná. Foram investigados os aspectos geológicos e as características físico-químicas dos agregados estudados. Com relação aos resultados, 73% das amostras apresentaram expansões superiores ao previsto pela norma NBR 15577-1:2018. Além disso, os teores de finos foram compreendidos fora da zona ótima indicada pela NBR 7211:2009, induzindo a dificuldades para o alcance de trabalhabilidades desejadas em concretos e argamassas. Os grãos apresentaram tipologias diferenciadas e diferentes fases minerais associadas. Quanto ao grau de expansibilidade, concluiu-se que os agregados da Formação Ponta Grossa não apresentaram reatividade potencial. Já os agregados com potencial reativo foram os dos depósitos aluvionares, com fontes em rochas migmatíticas e gnáissicas, em rochas areníticas e conglomeráticas (Grupo Itararé) e os de origem eólica (Formação Caiuá).

Palavras-chave: RAA, areias naturais, expansão, ensaio acelerado.

Abstract: This study aimed to warn the local technical-scientific community about the investigation of the degree of alkali aggregate reaction (AAR) potential of 11 sands from the Paraná State. Geological aspects and physicochemical characteristics were investigated. Concerning the results, 73% of the sands presented expansions higher than those established by the standard NBR 15577-1: 2018. In addition, their fines were out of the optimum zone settled by NBR 7211:2009, leading to difficulties in achieving desired workability in concrete and mortar. The grains had presented distinctive typologies and different associated mineral phases. Regarding the degree of expandability, it was concluded that aggregates from Ponta Grossa Formation did not present reactivity potential. Nevertheless, the aggregates from alluvial deposits with sources in migmatite and gneissic rocks, sandstone and conglomerates (Itararé Group) and those from wind origin (Caiuá Formation) performed a potential behavior.

Keywords: AAR, natural sands, expansion, accelerated test.

1. Introdução

A reação álcali agregado (RAA) é o resultado da interação de hidróxidos alcalinos (NaOH e KOH), presentes na solução dos poros do concreto, com fases reativas dos agregados, gerando produtos com potencial expansivo na presença de umidade [1]. Como resultado, há a fissuração do concreto, a diminuição de sua resistência mecânica e a alteração do seu módulo de elasticidade, afetando por conseguinte a durabilidade das estruturas [2].

A reação álcali-agregado pode ser classificada de acordo com a fase mineral envolvida na reação em: álcali-sílica e álcali-carbonato [3]. O tipo álcali-sílica (RAS), a mais recorrente, resulta da interação dos hidróxidos alcalinos provenientes do cimento e a sílica amorfa ou pouco cristalina presente em alguns tipos de agregados, dentre eles a opala, a tridimita, a cristobalita, os vidros vulcânicos (expansão inicial mais acelerada) e o quartzo (reação mais lenta) [4]. Como resultado, há a produção de um gel sílico-alcalino, que gera tensões internas, podendo causar fissuração em mapa, deslocamentos nos elementos estruturais e alteração no módulo de elasticidade do concreto [5,6,7]. O primeiro registro de observação da RAS data de 1940 e foi feito por Stanton na Califórnia [8]. O tipo álcali-carbonato (RAC) é mais incomum e provém da reação dos álcalis dos poros do concreto com alguns tipos de agregados dolomíticos argilosos, em um processo de desdolomitização, resultando em expansão [4].

Para o desenvolvimento da RAA três condições são fundamentais: a presença de agregado reativo, a elevada concentração de hidróxidos alcalinos e a umidade interna no concreto [4]. Portanto, para avaliar o risco de sua ocorrência, segundo a NBR 15577-1 (2018), é preciso analisar as condições de exposição da estrutura, as suas dimensões e o grau de reatividade do agregado [3].

A primeira etapa para definir a reatividade do agregado é a análise petrográfica do material de origem, cujo objetivo é investigar as suas características estruturais, mineralógicas e químicas. Esta análise pode ser realizada por meio das técnicas de microscopia óptica, difratometria de raios X, microscopia eletrônica de varredura, entre outras [9, 10]. Esta análise permite identificar a presença de minerais conhecidamente deletérios, avaliar a textura do agregado, a sua granulometria, a natureza da sua rocha de origem e, a partir destes dados, inferir sobre a potencialidade de reatividade do agregado. Caso o agregado seja identificado como potencialmente reativo, são necessárias análises complementares e o uso de mitigadores para a aceitação do material [4,10].

Além da análise petrográfica, devem ser realizados ensaios normatizados de expansão, em argamassa ou concreto. O mais empregado é o método acelerado em barras de argamassa, pelo curto tempo de ensaio. Este ensaio consiste na produção de barras de argamassa que permanecem submersas em solução de hidróxido de sódio, a 80°C por 30 dias. Neste período, verifica-se a expansão da barra, que deve ser menor que 0,19% para que o agregado seja considerado potencialmente inócuo. Caso este ensaio indique que o agregado é potencialmente reativo, deve ser determinada a expansão em prismas de concreto pelo método de longa duração. Nesse caso, a expansão final admitida para que o agregado seja considerado potencialmente inócuo, é de 0,04% ao final do período de análise. Alternativamente,

pode ser realizada a análise da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado. Neste ensaio os corpos de prova são mantidos sob umidade a uma temperatura de 60°C por 20 semanas. O agregado é considerado potencialmente reativo, segundo esta análise, se o prisma obtiver expansão superior a 0,03% ao final do ensaio [3].

Entretanto, na maioria dos casos, a verificação quanto ao grau de reatividade dos agregados é realizada apenas para o agregado graúdo, devido ao histórico de diversas rochas apresentarem minerais causadores da RAA. Por vezes, os agregados miúdos não são analisados e o seu potencial reativo é desconsiderado. Entretanto, como os grãos de areia apresentam área superficial maior e estão presentes em volume maior no concreto, podem causar dano considerável, caso apresentem reatividade. O potencial reativo de areias naturais da Região Metropolitana de Recife (PE) foi investigado em 2006, sendo observada uma maior tendência de reatividade de areias provenientes do norte do estado. Neste estudo os autores ressaltaram a importância da avaliação da reatividade das areias pelas concreteiras [11].

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar 11 amostras de areias coletadas em mineradoras do estado do Paraná a fim de alertar quanto àquelas que apresentassem potencialidade reativa álcali-silica no sentido de atuar preventivamente com o uso de mitigadores.

2. Experimental

Este estudo está inserido em um programa de P&D da ANEEL, em parceria de FURNAS e LACTEC, e neste, foram investigadas 11 amostras de areias naturais provenientes do estado do Paraná com cimento padrão, do tipo CP V – ARI, cujas características físico-químicas serão detalhadas nos itens subsequentes.

2.1 Areias Naturais

Os agregados naturais analisados neste estudo foram areias extraídas no estado do Paraná, de rios ou cavas. As amostras receberam uma nomenclatura referente ao seu número de registro, conforme ordem de recebimento. Os locais de coleta dos agregados miúdos encontraram-se, principalmente, em áreas de afloramentos de rochas sedimentares da Bacia do Paraná (Figura 1), exceto os agregados dos pontos 1 e 8. As identificações e origens, bem como as descrições das unidades geológicas e principais características estão apresentadas na Tabela 1.

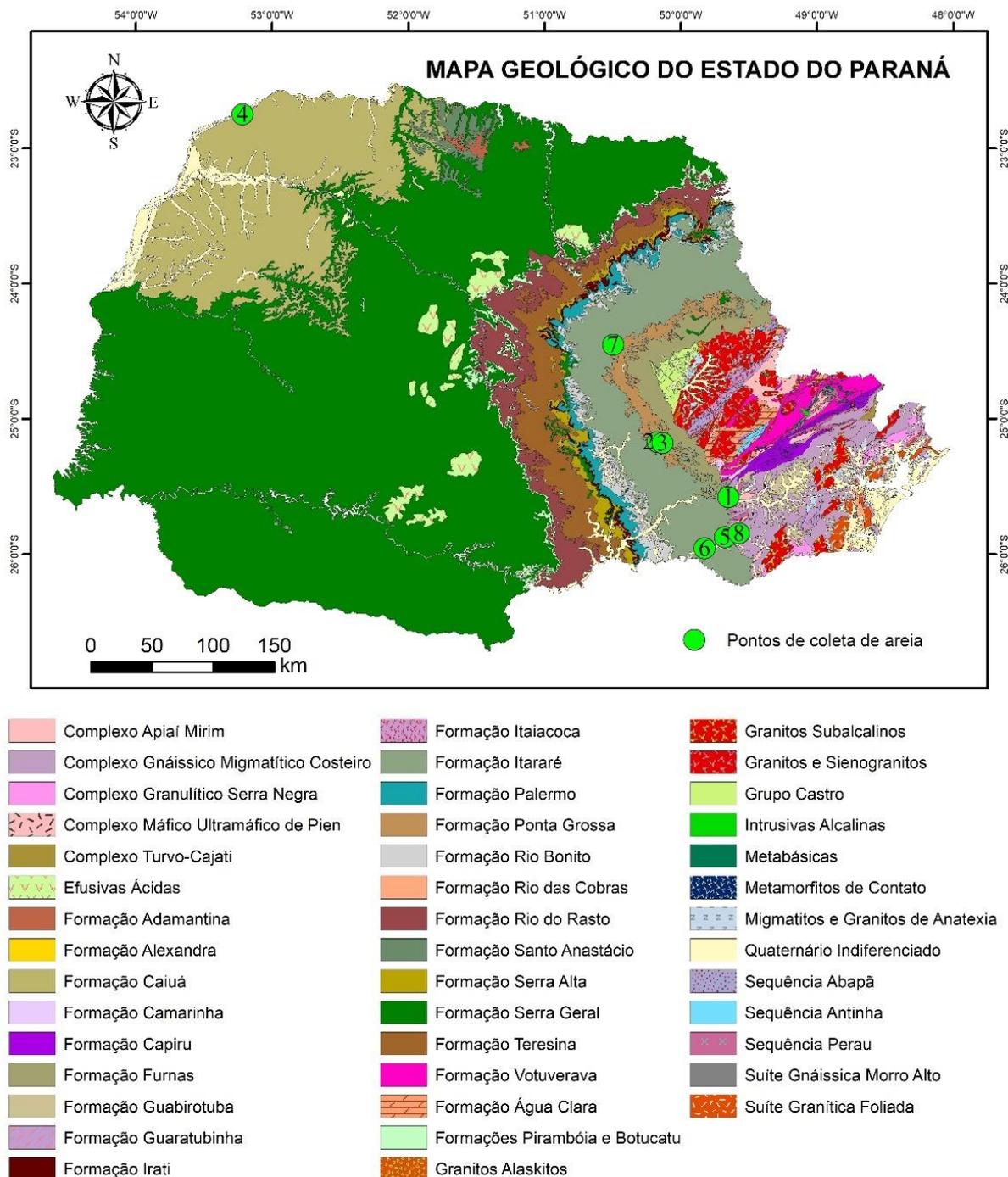


Figura 1: Mapa geológico do estado do Paraná com local de extração das areias

Tabela 1: Nomenclatura adotada para as areias, origem, unidades geológicas dos pontos de coleta e as principais características das unidades correspondentes

Amostra	Numeração correspondente no mapa	Origem	Unidade Geológica	Características principais da unidade
1.1024.18	1	Cava	Depósitos aluvionares	Os sedimentos que os compõem são formados por blocos, matacões, cascalhos, seixos, areias, siltes e argilas, em proporções variadas.
1.1025.18				
1.1100.18	2	Rio	Formação Ponta Grossa	Presença de folhelhos, arenitos finos e pelitos em geral.
1.1101.18	3	Cava		
1.0716.18	4	Rio	Depósitos aluvionares Formação Caiuá	Os sedimentos que os compõem são formados por blocos, matacões, cascalhos, seixos, areias, siltes e argilas, em proporções variadas. Arenitos provenientes de dunas eólicas e ambiente desértico.
1.0718.18				
1.1029.18	5		Depósitos aluvionares Formação Campo Mourão – Grupo Itararé	Os sedimentos que os compõem são formados por blocos, matacões, cascalhos, seixos, areias, siltes e argilas, em proporções variadas. Arenitos, folhelhos, siltitos e conglomerados.
1.1030.18	6			
1.1031.18	7		Formação Ponta Grossa	Presença de folhelhos, arenitos finos e pelitos em geral.
1.1032.18				
1.0624.18	8		Depósitos aluvionares Complexo Gnáissico Migmatítico	Os sedimentos que os compõem são formados por blocos, matacões, cascalhos, seixos, areias, siltes e argilas, em proporções variadas. Gnaisses e migmatitos.

A caracterização do material foi realizada conforme as normas técnicas descritas na NBR 15577-1:2018 [3]. Para a análise mineralógica qualitativa das areias, houve a moagem prévia das amostras em moinho de alta energia. Esta análise foi realizada por difratometria de raios X (DRX), utilizando o difratômetro D8 Advanced Eco, da marca Bruker, com tubo de raios X de Cu, $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$. Como parâmetros adicionais da análise, foram utilizados: corrente de 25 mA e tensão de 40 kV, passo de 0,0204863 s, velocidade de passo de 0,1 s e com varredura 2θ entre 5 e 70°. A identificação das fases minerais foi realizada a partir da comparação com os padrões do banco de dados do Crystallography Open Database, COD.

Adicionalmente, as amostras foram ainda avaliadas em relação ao grau de arredondamento, ou morfometria, que corresponde à descrição da forma do grão, expressa pela esfericidade e arredondamento [12]. Em princípio, o grau de arredondamento ou angularidade reflete a distância e o rigor do transporte ocorrido pelo grão. Grãos angulosos e de baixo grau de arredondamento são, em geral, indicativos de desagregação física ou química direta a partir da rocha ou *in situ*. Estes, correspondem a grãos introduzidos recentemente no sistema de drenagem, em que o transporte e conseqüente choque com outras partículas não tiveram ainda tempo para arredonda-los e marcar suas superfícies [13]. A esfericidade e o arredondamento foram avaliados por comparação visual de imagens das partículas selecionadas, analisadas *in natura*, em microscópio óptico acoplado no equipamento Ion Mill SEM Prep, da Technoorg Linda.

2.2 Cimento

Foi utilizado cimento padrão, do tipo CP V – ARI, sem adição, com finura de (4900 ± 200) cm^2/g , com $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ de $(0,90 \pm 0,10)\%$ e expansão em autoclave inferior a 0,20%, conforme requisitos da norma 15577-4:2018 [14].

2.3 Argamassas

Com o objetivo de analisar o potencial de reatividade dos agregados, foi efetuado o ensaio de expansão em barras de argamassa pelo método acelerado, previsto na NBR 15577-4:2018 [14]. O traço utilizado foi 1:2,25, com relação água/cimento de 0,47, seguindo especificação da NBR 15577-4:2018 [14].

3. Resultados

3.1 Caracterização do cimento

A caracterização das propriedades químicas, físicas e mecânicas do cimento está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades do cimento tipo CP V ARI 32, utilizado na realização das dosagens das argamassas para o teste de RAA, segundo a NBR 15577-4:2018 [10].

Propriedades Mecânicas			Propriedades Químicas			
Características	Valor obtido	Exigências da NBR 16697/2018	Características	Valor obtido	Exigências da NBR 16697/2018	
Resistência à compressão axial (MPa)	1 dia	30,6	$\geq 14,00$	Al_2O_3 (%)	4,91	-
	3 dias	38,7	$\geq 24,00$	SiO_2 (%)	18,7	-
	7 dias	42,5	$\geq 34,00$	Fe_2O_3 (%)	2,68	-
	28 dias	52,9	-	CaO (%)	61,2	-
Propriedades Físicas			MgO (%)	2,54	$\leq 6,50$	
Massa específica (g/cm^3)	3,07	-	SO_3 (%)	3,62	$\leq 4,50$	
Expansão a quente (mm)	0,0	$\leq 5,00$	Perda ao fogo (%)	3,94	$\leq 4,50$	
Tempo de Pega	Início (h:min)	2:25	$\geq 1:00$	CaO Livre (%)	1,81	-
	Fim (h:min)	3:45	$\leq 10:00$	Resíduo Insolúvel (%)	0,29	$\leq 1,00$
Consistência normal (%)	31,6	-	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ (%)	0,85	-	
Finura Blaine (cm^2/g)	4910	≥ 3.000	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,658 \cdot \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$			
Resíduo peneira #200 (%)	0,2	$\leq 6,00$				
Resíduo peneira # 325 (%)	0,6	-	Expansibilidade em autoclave (%)	0,10	$< 0,2$ (ASTM C 151)	

3.2 Caracterização das Areias Naturais

Os resultados dos ensaios de caracterização das amostras estão apresentados na Tabela 3. Foi possível observar que apenas as amostras 1.1024.18, 1.1032.18 e 1.1100.18 possuíram limite de finura dentro da zona ótima, de acordo com NBR 7211:2009 [15]. As demais areias apresentaram módulo de finura nas zonas superior e inferior utilizável da referida norma. Ressalta-se ainda que a amostra 1.1031.18 apresentou teor de impurezas acima do limite aceitável.

Tabela 3: Caracterização física dos agregados

Identificação	Módulo de Finura	DMC (mm)	Teor de material pulverulento (%)	Absorção de água (%)	Massa espec. SSS (g/cm ³)	Teor de Impurezas (ppm)	Teor de argila (%)
1.0624.18	2,84	4,8	3,1	1,30	2,48	< 300	0,2
1.0716.18	2,89	4,8	0,0	0,32	2,22	< 300	0,0
1.0718.18	2,00	4,8	0,1	0,40	2,33	< 300	-
1.1024.18	2,38	4,8	3,0	0,50	2,48	< 300	0,2
1.1025.18	3,32	4,8	1,9	0,60	2,56	< 300	0,4
1.1029.18	3,11	4,8	0,2	0,80	2,49	< 300	0,4
1.1030.18	3,29	4,8	0,4	1,40	2,50	< 300	0,5
1.1031.18	1,82	1,2	0,2	0,60	2,51	> 300	-
1.1032.18	2,60	2,4	0,4	0,80	2,48	< 300	0,0
1.1100.18	2,39	4,8	1,4	0,50	2,50	< 300	1,8
1.1101.18	1,90	2,4	1,9	0,40	2,57	< 300	0,1

Os difratogramas de todas as amostras de areia da região, como ilustrado pela , quanto à constituição química, foram similares entre si, apresentando, além do quartzo, outras fases minerais, na parte passante em peneira de malha # 200 [10].

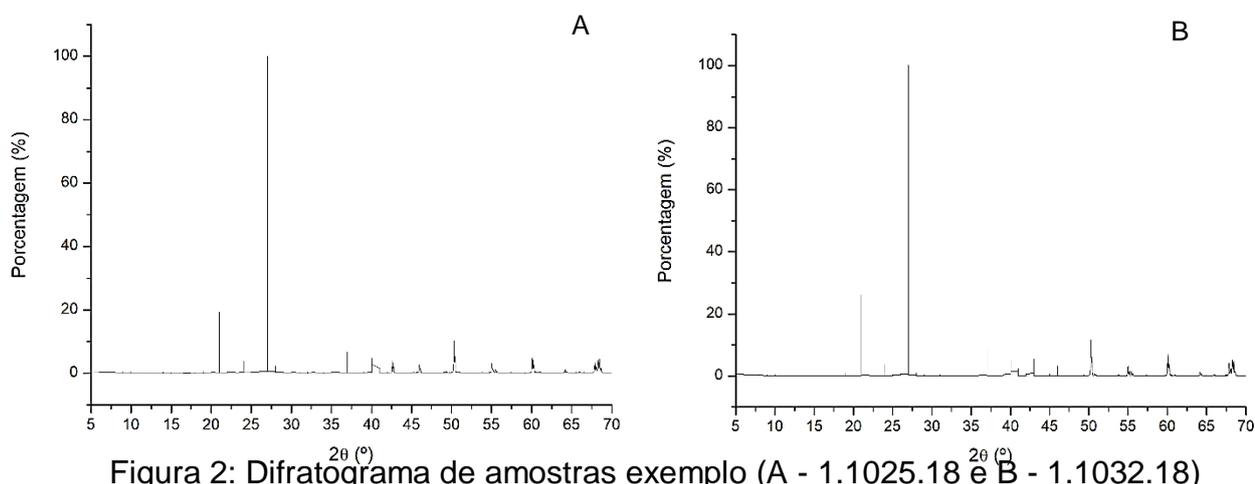
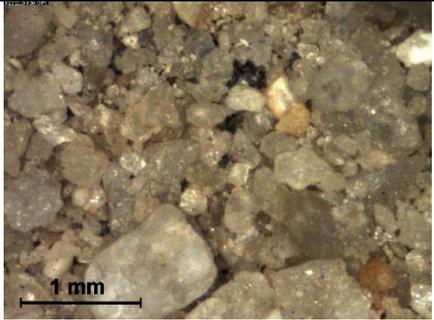
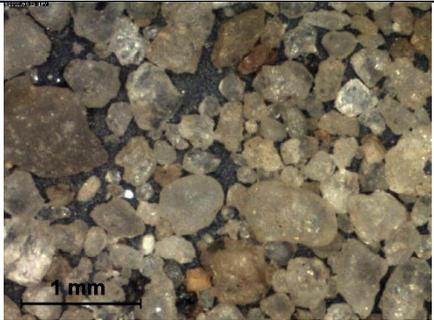
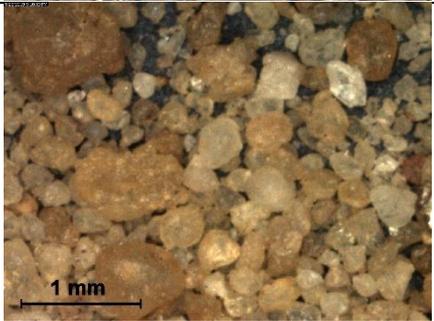
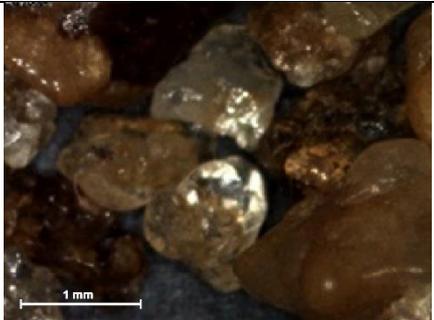


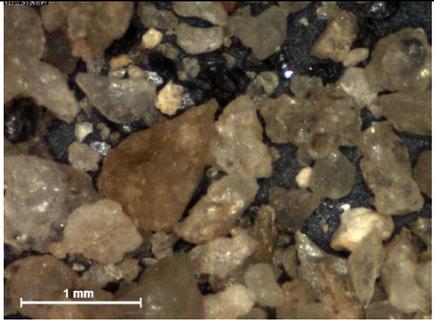
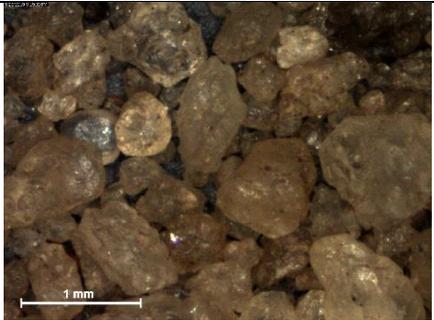
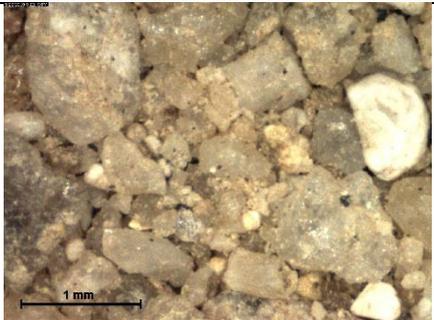
Figura 2: Difratograma de amostras exemplo (A - 1.1025.18 e B - 1.1032.18)

Os resultados obtidos para a avaliação do grau de arredondamento das amostras estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Grau de arredondamento das amostras de areia natural, provenientes do Estado do Paraná.

1.1024-18	Grãos angulares a sub angulares com arestas cortantes. A superfície é irregular e as faces são côncavas e convexas. Estão presentes grãos de minerais máficos.	
-----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

1.1025-18	Grãos angulares a sub angulares com arestas cortantes. A superfície é irregular e as faces são côncavas e convexas. A composição granulométrica desses grãos é heterogênea, ou seja, são presentes grãos milimétricos a submilimétricos.	
1.1100-18	Grãos arredondados a sub-arredondados com superfície fosca, que sugere transporte eólico e presença de alguns grãos angulares. A composição granulométrica desses grãos é heterogênea, ou seja, estão presentes grãos milimétricos a submilimétricos.	
1.1101-18	Grãos arredondados a sub-arredondados com superfície fosca, que sugere transporte eólico e presença de alguns grãos angulares. Os grãos submilimétricos são mais arredondados e foscos. A composição granulométrica desses grãos é heterogênea, ou seja, estão presentes grãos milimétricos a submilimétricos.	
1.0716-18	Grãos sub-arredondados com as superfícies polidas que conferem um aspecto brilhante o que sugere transporte em meio hídrico.	
1.0718-18	Grãos arredondados com as superfícies polidas que conferem ao grão, um aspecto brilhante o que sugere transporte em meio hídrico. Estão presentes, também, alguns grãos arredondados que são mais foscos e a distribuição granulométrica é homogênea.	

1.1029-18	Grãos angulares a sub-angulares com arestas cortantes. A superfície é irregular e as faces são côncavas e convexas. A distribuição granulométrica é heterogênea.	
1.1030-18	Grãos angulares a sub-angulares com arestas cortantes. A superfície é irregular e as faces são côncavas e convexas. A distribuição granulométrica é heterogênea.	
1.1031-18	Grãos arredondados a sub-arredondados com predominância dos grãos arredondados apresentarem um aspecto fosco.	
1.1032-18	Grãos sub-angulares com superfície polida que confere um brilho vítreo e subordinadamente grãos arredondados com aspecto fosco. A distribuição granulométrica é homogênea.	
1.0624-18	Grãos sub-angulares com presença de poucos grãos arredondados com superfície fosca. A superfície dos grãos é irregular. A distribuição granulométrica é heterogênea.	

3.3 Argamassas

As medidas de expansão das barras de argamassa produzidas com as 11 amostras de areia estão apresentadas na Figura 3.

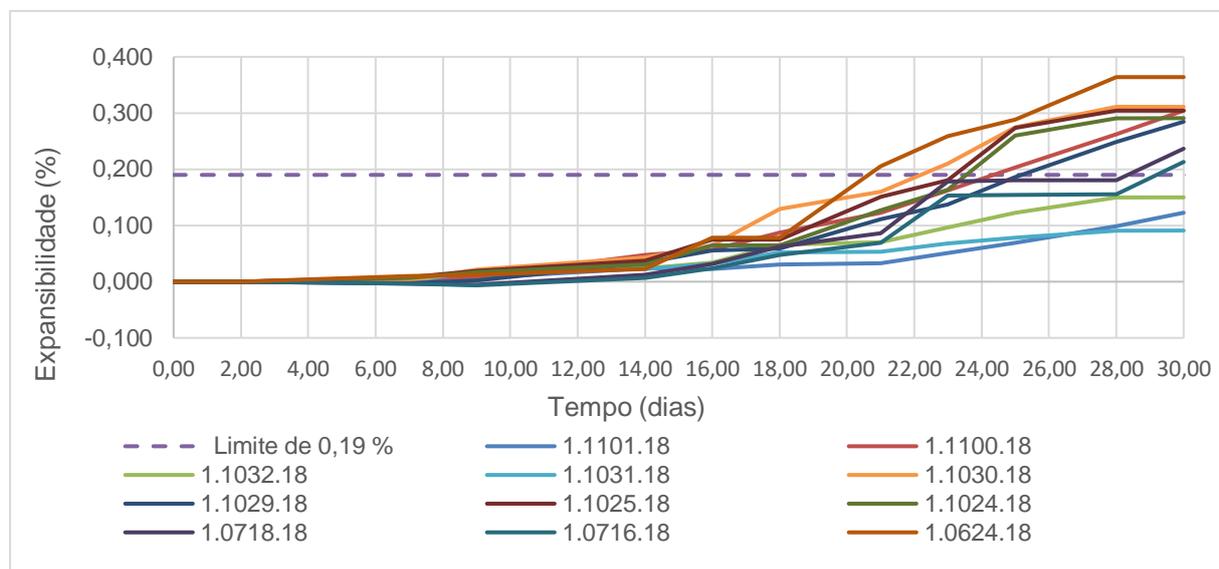


Figura 3: Expansibilidade das barras de argamassa avaliadas.

Foi possível verificar que apenas três areias, das onze testadas, apresentaram expansão menor do que o limite de 0,19%, estabelecido pela NBR 15577-1:2018 [12] para a idade de 30 dias, sendo as amostras 1.1031.18, 1.1032.18 e 1.1101.18. Entretanto, devido ao crescimento tardio das expansões nessas (após 22 dias), eventualmente, em idades futuras a taxa de crescimento pode se manter, dependendo dos minerais envolvidos na reação. A amostra que apresentou maior expansão, a 1.0624.18, apresentou fases químicas reativas no DRX. A areia que desenvolveu menor expansão, 1.1031.18, apresentou os menores teores e proporções de fases reativas. Portanto, inferiu-se relação entre a presença e o teor destas fases com a reatividade álcali-agregado [9].

Na análise da expansibilidade das argamassas frente às características geológicas dos agregados de origem, pode-se inferir que os sedimentos oriundos da Formação Ponta Grossa não apresentaram reatividade e, em geral, mostraram-se como grãos arredondados a sub-arredondados, subordinadamente sub-angulares. Já, os agregados com reatividade potencial, tiveram como origem os depósitos aluvionares com áreas fonte em rochas migmatíticas e gnáissicas, de rochas areníticas e conglomeráticas do Grupo Itararé e por fim os de origem eólica oriundas da Formação Caiuá. Os agregados com origem de rochas gnáissicas e migmatíticas apresentaram-se angulares com arestas cortantes e os da Formação Caiuá foram arredondados, em sua maioria, com superfícies lisas. Ainda, que de forma preliminar, os sedimentos com potencial reativo encontrados sugeriram eventual correlação com as condicionantes geológicas locais.

4. Conclusão

A partir dos resultados apresentados é possível afirmar que a maioria das amostras de areia natural (73%) se apresenta inadequada para a produção de concretos caso não sejam empregados materiais mitigadores da RAA, por apresentarem níveis de expansão superiores ao limite estabelecido pela NBR 15577-1:2018 [12]. Ademais, a maioria das areias não apresentou distribuição granulométrica adequada, pois seu teor de finos estava fora da zona ótima e, apresentando teores diferenciados de outras fases minerais além do quartzo. Além disto, este fator pode induzir ao consumo excessivo de água ou ao aumento significativo nos teores de aditivos químicos para atingir as trabalhabilidades desejadas durante a produção de concretos.

A análise a partir do grau de arredondamento indicou que a tipologia das amostras foi diversificada, possuindo formato arredondado ou angular (conforme transporte via eólica ou hídrica) e apresentando composição granulométrica diversa. Além disso, foi possível inferir uma relação entre os fatores geológicos dos agregados e seu grau de reatividade, tendo em vista que os reativos tiveram como origem os depósitos aluvionares com fontes em rochas migmatíticas e gnáissicas, de rochas areníticas e conglomeráticas do Grupo Itararé e também origem eólica oriundos da Formação Caiuá. Adicionalmente, os agregados que não apresentaram reatividade provêm de rochas da Formação Ponta Grossa. Através da análise de teor e proporção de fases químicas reativas presentes nas areias, foi possível também inferir relação entre este fator e o grau de reatividade das amostras.

Ressalta-se a importância, a partir deste estudo, da realização de ensaios e análises quanto à reatividade dos agregados miúdos a fim de evitar o aparecimento de manifestações patológicas decorrentes da RAA e, portanto, aumentar a durabilidade das estruturas, atuando preventivamente.

5. Agradecimentos

Este trabalho teve o apoio em infraestrutura e financeiro de Furnas Centrais Elétricas S.A /ANEEL/Lactec, P&D 0394-1504-2015; Lactec – Mestrado Profissional; CNPq DT, processo número 302672 / 2016. CNPq lei 8010/90 (LI 15/2187214-1; LI 14/4695814-5; LI14/3410726- 9).

6. Referências

- [1] Taylor, H. F. W. (1990) Cement Chemistry. St Edmundsbury Press. Londres, Reino Unido.
- [2] Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (2014) Concreto: estrutura, propriedades e materiais. HASPARYK, N. P. (Ed.). 2. ed. São Paulo: IBRACON: Instituto Brasileiro do Concreto.
- [3] NBR 15577-1 (2018) Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.

- [4] Fournier, B.; Bérubé, M. A. (2000) Alkali-aggregate reaction in concrete: a review of basic concepts and engineering implications. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27(2): 167-191.
- [5] Forster, S. W. *et al.* (1998) ACI 221.1R-98: State-of-the-Art Report on Alkali-Aggregate Reactivity Reported by ACI Committee 221. , 98: 1–31.
- [6] Hasparyk, N. P. (2005) Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- [7] Hasparyk, NP (2011): Reação álcali-agregado no concreto. In: *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1ª Edição. São Paulo: IBRACON. Editor Geraldo Cechella Isaia, II, 27, 933-101.
- [8] Stanton, T. E. (1940). Influence of cement and aggregate on concrete expansion. *Engineering News-Record*.
- [9] NBR 7389 (2009) Avaliação petrográfica de agregados. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [10] Bronholo, J. L.; Hasparyk, N. P.; Portella, K. F.; Bragança, M. O. G. P.; Medeiros, B. L.; Kuperman, S. C. (2019) Potencial reativo de várias areias naturais brasileiras para RAA. In: 62º Congresso Brasileiro do Concreto (no prelo).
- [11] Andrade, T.; Silva, J. J. R.; Hasparyk, N. P.; Silva, C. M. (2006) Investigação do potencial de reatividade para o desenvolvimento de RAA dos agregados miúdos e graúdos comercializados na Região Metropolitana do Recife. II Simpósio sobre Reação Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto. Ed. Kuperman, S. C.; Hasparyk, N. P. Anais IBRACON. Rio de Janeiro.
- [12] Suguio, K.(1980). Rochas Sedimentares. São Paulo: Edgard Blücher, 500p.
- [13] Dias, J. A. (2004) A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos. Capítulo V, Morfoscopia, 2004.
- [14] NBR 15577-4 (2018) Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [15] NBR 7211 (2009) Agregados para concreto - Especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.