

# REACÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: VERIFICAÇÃO E COMBATE DA REATIVIDADE DO AGREGADO MIÚDO DE QUARTZITO

<sup>(1)</sup> Thales Rodrigues Guerra

<sup>(2)</sup> Maria Cláudia Sousa Alvarenga

<sup>(3)</sup> Cassiano Rodrigues de Oliveira

<sup>(4)</sup> Leonardo Carvalho Mesquita

<sup>(1)</sup> Estudante do curso de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba.

<sup>(2)</sup> Professora do curso de Engenharia Civil- Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba.

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto do curso de Química- Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba.

<sup>(4)</sup> Professor do curso de Engenharia Civil- Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba.

Presidente da banca: Maria Cláudia Sousa Alvarenga

Membro: Cassiano Rodrigues de Oliveira

Membro: Leonardo Carvalho Mesquita

Data: 14/12/2017

**RESUMO:** Genericamente a reação álcali agregado (RAA) é um fenômeno que ocorre internamente nas estruturas de concreto devido às reações químicas entre os álcalis do cimento e alguns compostos minerais presentes em determinados agregados, que acabam sendo liberados durante a hidratação do cimento, trazendo consequências como fissurações ou deslocamentos da estrutura. Existem algumas formas de se combater esse problema, e uma delas é realizar adições pozolânicas na massa. Nessa perspectiva, este trabalho tem por objetivo estudar a reatividade da areia de quartzito e o combate da RAA com o uso de sílica ativa. Ainda, analisou-se a resistência de argamassas com adição da rocha ornamental de quartzito, extraída de pedreira próxima à represa de Furnas, Minas Gerais, para uso na construção civil. Verificou-se que a rocha analisada possui potencial reativo e que a sílica ativa pode minimizar o efeito expansivo na argamassa. Ainda, observou-se que a argamassa produzida com areia de quartzito obteve resultados insatisfatórios com relação à resistência à compressão.

**PALAVRAS-CHAVE:** reação álcali-agregado, expansão em argamassa, Sílica Ativa, Reação álcali sílica, prevenção.

## 36 ALKALI-AGGREGATED REACTION - VERIFICATION AND COMBAT OF 37 THE REACTIVITY OF THE AGGREGATED KIND OF QUARTZITO

38 **ABSTRACT:** Generally the aggregate alkali reaction (RAA) is a phenomenon that  
39 takes place internally in the concrete structures due to the chemical reactions between  
40 the alkalis of the cement and some mineral compounds in some groups that end up  
41 being released during the hydration of the cement, bringing consequences as  
42 fissurations or displacements of the structure. There are a few ways to combat this  
43 problem, and one of them is to make Pozolan additions in the mass. In this perspective,  
44 this work has the objective to study the reactivity of the quartz sand and the combat of  
45 the RAA with the use of active silica. Also, the resistance of mortars with the addition  
46 of ornamental quartzite rock, extracted from a quarry near Furnas dam, Minas Gerais,  
47 for use in civil construction was analyzed. It was verified that the analyzed rock has  
48 potential reactive and that the active silica can minimize the expansive effect in the  
49 mortar. Also, it was observed that the mortar produced with quartz sand obtained  
50 unsatisfactory results in relation to the compressive strength.

51 **KEYWORDS:** alkali-aggregate reaction, expansion in mortar, active silica, alkali silica  
52 reaction, prevention.

### 53 1. INTRODUÇÃO

54 De acordo com Araújo (2016), a segurança das obras é um assunto bastante  
55 discutido no meio técnico, sendo o foco aquelas construído em concreto, e que  
56 infelizmente são afetadas por patologias que virão a se manifestar ao longo do tempo  
57 com o consequente surgimento de fissuras, manchas ou até deslocamentos excessivos.  
58 Essas movimentações e/ou deformações inesperadas podem trazer graves consequências  
59 à estrutura e devem ser estudadas a fundo para que sejam identificadas maneiras que  
60 previnam a incidência de tais fenômenos.

61 Uma das principais causas dessas patologias é explicada pela ocorrência da reação  
62 álcali agregados (RAA) (TORRES, 2016). Genericamente a RAA é um fenômeno que  
63 ocorre internamente nas estruturas de concreto devido a reações químicas ocasionadas  
64 entre alguns constituintes mineralógicos reativos contidos no agregado e hidróxidos  
65 alcalinos, como por exemplo,  $Na^+$ ,  $OH^-$ ,  $K^+$  e umidade, que acabam sendo liberados  
66 durante a hidratação do cimento (SILVA, 2010).

67 Essa patologia pode ocorrer de duas maneiras distintas, separadas de acordo com  
68 sua mineralogia e o mecanismo envolvido, em reação álcali sílica (RAS) e reação álcali

69 carbonáticas (RAC) (SOUZA, 2016). O mesmo autor explica que a RAS é o tipo mais  
70 comumente encontrado nas obras brasileiras. Esta reação é responsável pela formação  
71 de um gel higroscópico que tem a capacidade de absorver a água presente no concreto  
72 ou no exterior da estrutura, ocupando os poros do concreto e, por conseguinte gerando  
73 expansões que são responsáveis pelas fissurações.

74 Já a RAC ocorre com a interação entre álcalis do cimento e hidróxido de  
75 magnésio, causando a ocorrência da desdolomitação entre os agregados vindos a gerar  
76 deslocamentos na estrutura (COUTO, 2008).

77 Além disso, espera-se contribuir também na questão ambiental, já que, segundo  
78 Faleiros (2010), os resíduos da exploração do quartzito chegam a cerca de 70% de todo  
79 material extraído, podendo alcançar porcentagens ainda maiores dependendo da  
80 qualidade e integridade dos blocos retirados.

81 Baseado nestas informações, o objetivo do presente trabalho é investigar e discutir  
82 a potencialidade reativa do quartzito, sua capacidade estrutural quando testado em  
83 ensaios de compressão e verificar a eficiência da sílica ativa no combate e prevenção da  
84 RAA.

## 85 **2. REVISAO BIBLIOGRÁFICA**

86 A RAA é considerada como umas das principais causas de surgimento de  
87 manifestações patológicas em estruturas de concreto. Ocorrem devido a vários  
88 parâmetros microscópicos e aleatórios relacionados à própria reação e à complexidade  
89 intrínseca do material (FERREIRA, 2013).

90 Essa patologia não leva a estrutura a um colapso imediato, já que a mesma se  
91 desenvolve ao longo de anos. Sendo assim a adoção de medidas mitigadoras, como a  
92 adição de materiais pozolânicos, poderia evitar este grave problema (ARAÚJO, 2016).

93 Sanches (2008) cita o desconhecimento técnico de uma solução viável que  
94 contorne ou que recupere elementos já acometidos pelo processo químico da RAA. De  
95 acordo com Araújo (2016), em um processo de recuperação de fundações acometida por  
96 essa patologia gera onerosidade em função das intervenções realizadas na estrutura,  
97 onde é necessário realizar obras de reforço estrutural, limpeza das fissuras e outras  
98 soluções. Ainda segundo Sanches (2008), a prevenção é a forma mais eficaz e  
99 econômica de se combater a RAA.

100 Poole (1992), ao definir a RAA, explica que a água faz-se necessária na reação  
101 química para a formação dos seus produtos, como o gel silício-alcálico, que tende a

102 inchar e expandir com a absorção de umidade. O referido autor destaca também que a  
103 temperatura é um importante catalisador no desenvolvimento das reações.

104 Couto (2008) explica que esse processo patológico ocorre internamente em uma  
105 estrutura de concreto. Sendo assim, sua identificação visual somente é possível quando  
106 o problema já está acentuado na estrutura. Com relação às manifestações patológicas, as  
107 fissuras e deslocamentos de elementos estruturais são os fenômenos mais comuns  
108 (FERREIRA, 2013).

109 A ABNT NBR NM 15577-1:2008, p.2 define a RAA como:

110 [...] reação química que ocorre em argamassas ou concretos  
111 envolvendo os íons hidroxila ( $OH^-$ ) associados com o componente  
112 alcalino sódio e potássio, provenientes do cimento Portland ou outras  
113 fontes, com certas fases minerais que podem estar presentes em  
114 agregados graúdos ou miúdos. Sob certas condições, pode ocorrer  
115 expansão deletéria do concreto ou da argamassa. Há dois tipos  
116 principais de reação álcali-agregado: reação álcali-sílica e reação  
117 álcali-carbonato.

118 Segundo Munhoz (2008) e a ABNT NBR NM 15577-1:2008, usualmente a RAA  
119 é dividida em reação álcali-sílica e reação álcali-carbonato, diferenciando-se pela  
120 composição mineralógica reativa do agregado e do mecanismo envolvido. E a seguir  
121 tem-se a explicação desses processos:

## 122 **2.1. REAÇÃO ÁLCALI SÍLICA (RAS)**

123 A RAS é uma reação química entre íons hidroxilas ( $OH^-$ ) associada aos álcalis  
124 óxido de sódio ( $Na_2O$ ) e óxido de potássio ( $K_2O$ ), com alguns agregados como as  
125 opalas, quartzo microcristalino, quartzo deformado, vidro vulcânico e vidros reciclados  
126 por exemplo. Em estruturas de concreto, a reação só é processada na presença de água,  
127 que pode ser de fonte externa ou interna. O controle da RAA através da prevenção é a  
128 forma mais segura e econômica, podendo ser executada com a utilização de agregados  
129 não reativos, utilização de cimento Portland com baixo teor de álcalis e cimento com  
130 adições pozolânicas.

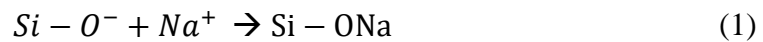
131 Segundo Pereira (2016), há três componentes essenciais necessários para que  
132 ocorra a RAA em estruturas de concreto: alto teor de álcalis do cimento, umidade  
133 suficiente para catalisar a reação e sílica reativa do agregado. De acordo com Couto  
134 (2008), o comportamento deletério no concreto manifesta-se de acordo com o limite  
135 equivalente de sódios encontrados no cimento em relação ao seu consumo de concreto,  
136 sendo um limite seguro um consumo de 1,8 a 3,0 kg/m<sup>3</sup> de  $Na_2O_{eq}$ .

137 O comportamento deletério do agregado está relacionado a fatores como: teor de  
138 agregado reativo e o tamanho das partículas. Sendo constatado um aumento nas  
139 expansões quando o tamanho da partícula diminui e a área específica do agregado  
140 reativo aumenta. (COUTO, 2008).

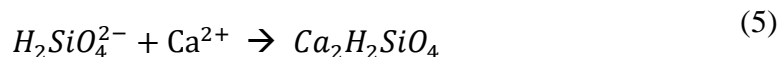
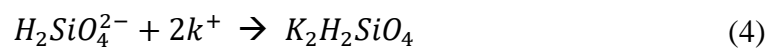
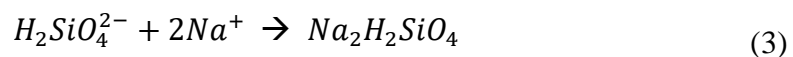
141 Em seu projeto de revisão, a ABNT NBR NM 15577-1:2008 acrescenta ainda que  
142 o produto formado na RAS, o gel de álcali sílica, pode causar a expansão anormal e  
143 fissuração do concreto em serviço.

144 Pode-se também explicar essa reação por meio de suas reações químicas que  
145 ocorrem em dois estágios, apresentado a seguir.

146 No primeiro estágio tem-se a formação de gel sílico-alcálico, formado pelo ataque  
147 do grupo silanol pelos íons hidroxilas, dissociados na solução alcalina dos poros do  
148 concreto, conforme explicado nas equações 1 e 2.

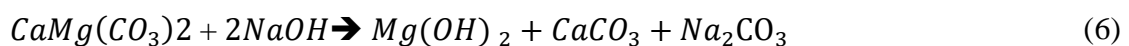


149 Por fim os excessos de íons hidroxilas passam a atacar as ligações mais internas  
150 da sílica, o que ocasionará a absorção de água e dos íons alcalinos, levando a formação  
151 dos seguintes subprodutos, como demonstra as equações 3, 4 e 5.



## 152 2.2. REAÇÃO ÁLCALI CARBONATO (RAC)

153 Segundo Couto (2008) essa reação ocorre com a interação entre álcalis do cimento  
154 e hidróxidos de magnésio, que sucederá a desdolomitação entre os agregados, fazendo o  
155 hidróxido alcalino se regenerar, enfraquecendo a zona de transição entre os agregados e  
156 a pasta de cimento, motivando fissuras devido à perda de aderência dos materiais.  
157 Hidróxidos alcalinos do cimento reagem com a dolomita ( $CaMg(CO_3)_2$ ) disponível do  
158 agregado formando brucita ( $Mg(OH)_2$ ), carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ) e carbonato  
159 alcalino, como representado pela Equação 6:



160 Concomitantemente, o carbonato alcalino (carbonato de sódio) reage com os  
161 produtos da hidratação do cimento, dentro da pasta, regenerando a calcita, renovando a  
162 fonte de hidróxido alcalino, levando à nova desdolomitização. Este ciclo ocorrerá até o  
163 consumo total da dolomita ou até que a concentração de álcalis tenha sido reduzida por  
164 reações secundárias. A reação de desdolomitização está demonstrada pela Equação 7:



165 O resultado é a formação de agentes, que quando colocados em presença de  
166 umidade, expandem-se. Esta reação deletéria causa problemas à estrutura, como as  
167 fissurações e deslocamentos, como estudado por Stanton, em 1940.

### 168 **2.3. MÉTODO DE ANÁLISE E COMBATE DA RAA**

169 Para prever e diagnosticar as reações álcali agregado e seus efeitos deve-se seguir  
170 ensaios normatizados pela ABNT NBR NM 15557:2008, como método acelerado de  
171 prismas de argamassa. É um dos ensaios mais utilizados para os estudos da RAA. Por  
172 possibilitar que em um pequeno intervalo de tempo, seja possível ter conhecimento do  
173 comportamento deletério dos agregados em relação a sua reatividade potencial, e ainda  
174 ser possível o estudo de formas de mitigação dessa reação, da maneira como foi  
175 proposta neste artigo.

176 Estes estudos são necessários, pois essas manifestações patológicas provenientes  
177 de RAA, como por exemplo, a fissuração não ordenada em forma de mapa, também  
178 podem ter outras causas. Sendo assim, a seguir, serão discutidos alguns estudos e  
179 formas de combate da RAA.

180 Lima (2016) abordou a influência da moagem da cinza do bagaço de cana-de-  
181 açúcar na atividade pozolânica. Segundo o autor, adições pozolânicos são materiais  
182 siliciosos, que na presença de água reagem com o hidróxido de cálcio formando  
183 compostos com propriedades ligantes. Adicioná-lo aos concretos e argamassas pode  
184 melhorar algumas de suas características, como por exemplos a redução da porosidade,  
185 aumento da resistência, mitigação da reação álcali agregado e aumento da resistividade  
186 elétrica.

187 Essas características tornam a pozolana um aditivo importante para elevar a  
188 durabilidade do concreto, reduzindo consideravelmente a RAA, fissuras de origem  
189 térmica, e outros.

190 O autor concluiu que o material pesquisado não apresentou índices que  
191 permitam que seja classificado como pozolânico, mas à medida que se aumentava o  
192 grau de moagem do material, a interação com a cal também aumentava, tornando  
193 possível que em estudos futuros sejam alcançado índices de reatividade adequados.  
194 Sendo assim o material precisa de mais estudos para mostrar sua efetividade pozolânica  
195 no combate da RAA.

196 Araújo (2016) fez um estudo de caso em fundações de edifícios afetados por  
197 RAA. O referido autor explica que quadros de intensa fissuração na parte superior dos  
198 blocos de fundação, concentrados exatamente na região de baixa compressão e com  
199 aberturas expressivas nos cantos mais extremos são fortes indicadores de um quadro de  
200 RAA.

201 Após a suspeita da ocorrência da patologia, procedeu-se com a escolha das  
202 fundações a serem analisadas. Em seguida essas foram escavadas para a retirada de  
203 testemunhos, que foram levados para análises. No referido estudo, os testemunhos  
204 passaram por análise petrográfica e avaliação de microscopia eletrônica. Foi feita a  
205 identificação visual da presença de gel branco, mostrando que os agregados eram  
206 potencialmente reativos.

207 A presença de RAA foi confirmada pela constante observação de bordas de reação  
208 ao redor dos agregados graúdos em ensaio petrógrafos, e ainda pela verificação de  
209 microfissuras no concreto.

210 Nesse estudo, apesar da constatação de poucos riscos de ruína da estrutura,  
211 recomendou-se combater o desenvolvimento e ampliação da reação por meio de obras  
212 de reforço, da escavação ao redor, da limpeza das fissuras, do uso de armadura de  
213 reforço e injeção de epóxi.

### 214 **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

215 Na Figura 1 é apresentado o fluxograma dos procedimentos realizados neste  
216 trabalho.

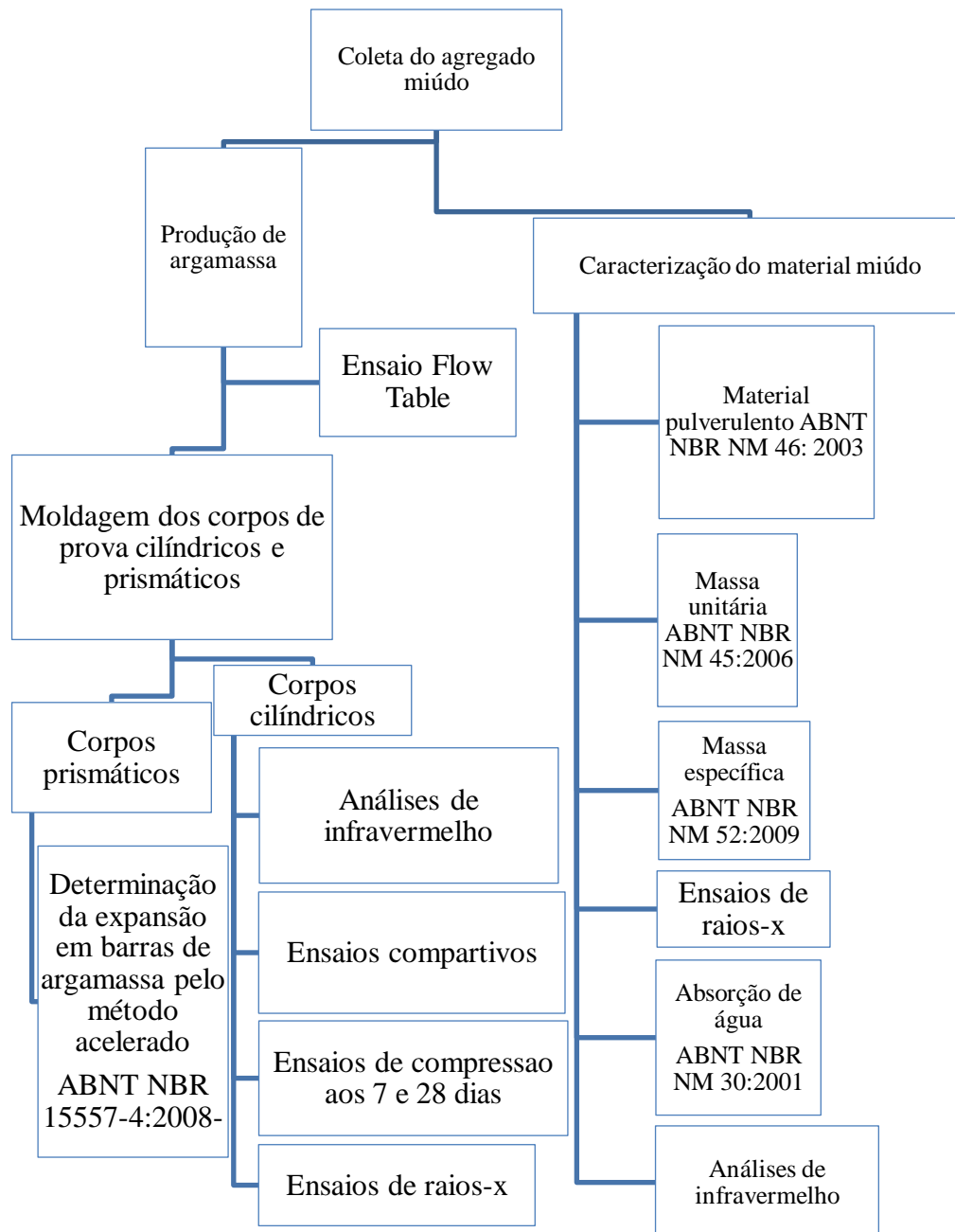


Figura 1 - Fluxograma com o procedimento experimental.

217  
218  
219

220

### 3.1. MATERIAIS

221

A coleta de amostras de agregados de quartzito foi realizada em uma pedreira localizada na cidade de São José da barra – MG, próxima a represa de Furnas.

223

224

Utilizaram-se britadores do tipo mandíbula para preparar o material, que foram armazenados em áreas da própria pedreira. Para a coleta seguiu-se as orientações da

225

ABNT NBR NM 26:2000, que estabelece os procedimentos para amostragem de

226

agregados, desde sua extração até o armazenamento e transporte das amostras

227

representativas destinadas aos ensaios de laboratório. Na Figura 2 é apresentado o



228 britador de mandíbula usado na britagem do rejeito e na Figura 3 os depósitos de rejeito  
229 de quartzito da pedreira.



230  
231

Figura 2 – Britador tipo mandíbula usado na britagem do rejeito



232  
233

Figura 3 - Depósito de rejeitos na pedreira

234 O agregado miúdo coletado foi submetido a ensaios de caracterização física,  
235 difração de raios-X, espectroscopia de absorção molecular de infravermelho, além de  
236 ser utilizado na confecção de argamassas analisadas em ensaio acelerado em barras de  
237 argamassa, conforme prescreve a ABNT NBR NM 15577/4:2008 e testes de resistência  
238 a compressão.

239 Além dos componentes habituais usados na argamassa, foram adicionadas  
240 misturas em diferentes percentuais de sílica ativa (SA). A adição esta normalizada pela  
241 ABNT NBR NM 12653. Ressalta-se que a expansão nas barras de argamassa diminui  
242 significativamente com adições ativas (MUNHOZ, 2008). Todos os ensaios seguiram as  
243 prescrições de normas pertinentes a seus procedimentos e foram integralmente  
244 realizados no Laboratório de materiais de construção de engenharia civil da  
245 Universidade Federal de Viçosa – campus Rio Paranaíba - MG.

### 246 **3.2. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

247 Para o desenvolvimento do trabalho optou-se pelo estudo de dois grupos distintos  
248 de moldagem de corpos de prova (Cp's) onde substituiu-se integralmente o agregado

249 miúdo tradicionalmente comercializado por resíduos de quartzito para a produção de  
 250 barras de argamassa e Cp's cilíndricos, tendo como referência 1:2,25:0,47 em massa  
 251 como prescrito pela ABNT NBR NM 15577/4:2008.

252 Foi realizado também o ensaio *flow table* com a finalidade de se observar o índice  
 253 de consistência do material. Para melhor entendimento, os ensaios estão nomeados da  
 254 seguinte maneira: S0-47, por exemplo, diz tratar-se de uma amostra feita com 0% de SA  
 255 e uma relação água/cimento (*a/c*) de 0,47, seguindo esta lógica para todas as outras  
 256 amostras. Ressalta-se que houve variação de sílica, em algumas relações de *a/c*, além da  
 257 mistura de agregados (areia natural de rio e areia de quartzito), conforme apresentado a  
 258 seguir.

259 Na Tabela 1 é apresentada a composição da mistura dos dois grupos estudados  
 260 neste trabalho, ensaios realizados e número de Cp's para cada traço em massa.

261 Tabela 1 – Ensaios realizados (traço com 100% de areia de quartzito).

Grupo 1	Ensaios realizados					Obs.
	Flow Table	Resistência à compressão (7 e 28 dias)	Raio X	MBA <sup>1</sup>	Infravermelho	
SO-47	sim	sim	sim	<u>sim</u>	<u>sim</u>	Ensaios com repetição estão assinalados com <u>sublinhado</u>
S3-47	sim	sim	não	não	não	
S6-47	sim	sim	sim	<u>sim</u>	<u>sim</u>	
S9-47	sim	sim	não	não	não	
S12-47	sim	sim	sim	<u>sim</u>	<u>sim</u>	
S15-47	sim	sim	não	não	não	
Grupo 2	Ensaios realizados					Obs.
		Resistência à compressão (7 e 28 dias)	Raio X	MBA	Infravermelho	
SO-49	sim	sim	não	não	não	Ensaios com repetição assinalados com <u>sublinhado</u>
S3-51	sim	sim	não	não	não	
S6-53	sim	sim	sim	sim	sim	
S9-55	sim	sim	não	não	não	
S12-57	sim	sim	sim	sim	sim	
S15-59	sim	sim	não	não	não	

262 Optou-se pela sílica ativa com o objetivo de se estudar a capacidade mitigadora  
 263 desta adição sobre a expansão causada pela RAS, além da possibilidade de se observar  
 264 prováveis alterações na resistência a compressão dos corpos de prova.

265 Após os ensaios de ruptura, partes das amostras eram pulverizadas em grãos, os  
 266 menores possíveis, para passarem por análises químicas de infravermelho e raio-x, com

<sup>1</sup> MBA – Método acelerado de barras de argamassa

267 a finalidade de identificação de eventuais novos produtos produzidos pela RAS. Na  
 268 Figura 4 são apresentados os Cp's cilíndricos em cura para os ensaios de compressão.  
 269 Em paralelo ao primeiro grupo de amassamentos, foram realizados ensaios  
 270 comparativos, seguindo três variações com adição de areia comum aos traços em massa,  
 271 onde os resultados foram confrontados.



272

273 Figura 4 - Cp's cilíndricos para ensaios de compressão

274 Na Tabela 2 é mostrada a relação de materiais utilizados no ensaio comparativo,  
 275 onde foi feito o desmolde com 14 horas e com 24 horas. Todos os traços apresentados  
 276 na Tabela 2 foram ensaiados apenas à resistência à compressão aos 7 dias.

277

Tabela 2 – Traços utilizados nos ensaios comparativos.

Primeira situação:			Segunda situação:			Terceira situação:		
Traços	Proporção de		Traços	Proporção de		Traços	Proporção de	
	AN <sup>2</sup> (%)	AQ <sup>3</sup>		AN (%)	AQ		AN(%)	AQ
S0-47*	100	0	S0-47**	100	0	S0-47***	0	100
	75	25		75	25		25	75
	50	50		50	50	S12-47***	100	75
S12-47*	75	25	S12-47**	75	25		25	75
	50	50		50	50			
	0	100		0	100			

278

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL MIÚDO UTILIZADO

279 Inicialmente fez-se o quarteamento de todo o agregado miúdo coletado de acordo  
 280 com a ABNT NBR NM 10007:2004, obtendo assim amostras homogêneas para os  
 281 ensaios. A próxima etapa foi executar ensaios de massa específica conforme a ABNT  
 282 NBR NM 52:2009 e absorção de água conforme ABNT NBR NM 30:2001 .

283 Os ensaios para a determinação da massa unitária e do volume de vazios dos  
 284 agregados miúdos foram realizados segundo as diretrizes da ABNT NBR NM 45:2006,  
 285 enquanto que o teor de material pulverulento foi determinado conforme proposto pela

<sup>2</sup> Areia natural

<sup>3</sup> Areia de quartzito

286 ABNT NBR NM 46:2003. O agregado miúdo, como dito anteriormente, foi analisado  
287 por raios-x e infravermelho, identificando assim suas fases químicas e mineralógicas.

### 288 **3.4. MÉTODO ACELERADO DE BARRAS DE ARGAMASSA**

289 A ABNT NBR NM 15577-4:2008 recomenda que sejam moldados três Cp's  
290 prismáticos (25mm x 25mm x 285 mm) para o ensaio de barras acelerado. Para a análise  
291 de expansão, na dosagem da argamassa a norma separa os agregados em dois tipos, de  
292 acordo com sua massa específica. Para materiais que apresentam massa específica  
293 superior a 2,45 g/cm<sup>3</sup>, como ocorreu com o agregado estudado, que possui 2,64 g/cm<sup>3</sup>,  
294 as quantidades de material seco para a mistura de três barras devem ser de 440 g de  
295 cimento e 990 g de agregado.

296 A mistura foi feita com a ajuda de um misturador mecânico e foi iniciada com  
297 velocidade 1 do equipamento, que pode chegar a 3, por 30 segundos para mistura da  
298 água e do cimento. Em seguida foi sendo adicionada a sílica ativa e o agregado miúdo à  
299 mistura, sendo o areia dividida em cinco partes iguais para a inserção na cuba. Após esse  
300 período, deixou-se o misturador em repouso e coberto com pano limpo e úmido por  
301 cerca de 1 min e 30 seg, quando o equipamento foi ligado por mais um minuto.

302 Como orientado por Bonato (2015), imediatamente após o encerramento deste  
303 procedimento, foi iniciado o processo de moldagem das barras de argamassa. A  
304 disposição do material na forma foi feita em quatro porções de mesmo volume  
305 adensando-se cada camada com cerca de 30 golpes de soquete até se obter um material  
306 com consistência homogênea, e por fim rasado com o auxílio de uma espátula. Após  
307 moldado, colocou-se imediatamente o molde em câmara úmida, permanecendo assim  
308 por cerca de (24 <sup>+/-</sup> 2) horas.

309 Encerrado este tempo, as barras foram removidas do molde, protegidas da  
310 umidade, identificadas e feita uma leitura inicial do comprimento com uma precisão de  
311 <sup>+/-</sup> 0,001 mm. Em seguida as barras foram imersas horizontalmente em um recipiente  
312 com água, tomando-se o cuidado para que suas paredes não tocassem entre si e  
313 submetidas a banho termorregulador em estufa a com temperatura aproximada de 80  
314 graus Celsius por cerca de 24 horas.

315 Na sequência, as barras foram imersas em um recipiente contendo solução de  
316 hidróxido de sódio (*NaOH*) com volume suficiente para cobrir por completo o prisma  
317 de argamassa, à temperatura de 80°C por 28-30 dias. Como feito por Bonato (2015), foi  
318 utilizado 30 g de *NaOH* sólido e 600 mL de água destilada.

319 Após 16 dias imersas em solução de *NaOH*, as barras foram novamente medidas  
320 com o auxílio de um paquímetro e os resultados foram representados em porcentagens  
321 de expansão. No método descrito pela NBR 15577-4:2008 Agregados – Reatividade  
322 álcali-agregado. Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo  
323 método acelerado fica explicitada que se forem registrados valores de expansão  
324 superiores a 0,2% aos 16 dias estando em solução alcalina, deve-se considerar o  
325 agregado como reativo.

326 Expansões no intervalo de 0,1 a 0,2 % são considerados potencialmente reativos,  
327 exigindo mais informações acerca do agregado para decisão de seu uso e sugere-se  
328 leitura até os 30 dias. Por fim as medições que não superarem 0,1% aos 16 dias  
329 classificam o agregado como inócuo.

## 330 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

331 Tendo como base os ensaios executados e o referencial teórico, procedeu-se com a  
332 avaliação e discussão sobre a reatividade do material utilizado nesta investigação,  
333 observando se houve sucesso na mitigação da reação com o uso de sílica ativa (SA) em  
334 proporções pré-estabelecidas nos amassamentos, observando os efeitos dessa adição na  
335 argamassa por meio de análises de infravermelho e raios-x e por fim o comportamento  
336 com relação a resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos.

### 337 4.1 CARACTERIZAÇÃO

338 Os resultados da caracterização do agregado miúdo de quartzito são apresentados  
339 na Tabela 3. Verificou-se que o teor de material pulverulento está acima do limite  
340 normativo, que é de 3% a 5%, o que pode causar um aumento do custo da argamassa, já  
341 que a área específica do material fino é maior do que da areia convencional.

342 Tabela 3- Resumo dos ensaios de caracterização.

<b>Massa específica</b>	2,64 g/cm <sup>3</sup>
<b>Massa unitária</b>	1,34 kg/dm <sup>3</sup>
<b>Módulo de finura</b>	1,7
<b>Impurezas orgânicas</b>	Mais claro que a solução padrão
<b>Material pulverulento</b>	31,6 %
<b>Coefficiente de inchamento</b>	1,47

343

## 4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Todos os amassamentos do primeiro grupo foram ensaiados ao ensaio de *flow table* apresentaram índice de consistência adequados, atendendo as exigências da ABNT NBR NM 67:1998. Utilizando o traço padrão, e fazendo a ruptura aos 7 dias nenhuma das amostras estudadas apresentaram resistência mecânica, mesmo havendo repetição dos ensaios por 3 vezes. Já aos 28 dias foi observado que as amostra S12-47 e S6-53 alcançaram resistências de 9,3 MPa e 0,6 MPa, respectivamente. Todas as outras amostras analisadas não apresentaram nenhuma resistência.

Para verificar se o problema era com o material ou com os procedimentos experimentais, procederam-se ensaios comparativos, onde o traço se manteve sempre igual ao padrão utilizado (1:2,25:0,47). No entanto, mesclou-se areia comum aos ensaios. O primeiro teste realizado seguiu com a moldagem de 6 Cp's com desmolde após 14 horas da moldagem. Neste procedimento verificou-se que apenas o Cp confeccionado com 100% de areia de quartzito não resistiu e se quebrou ao meio, sugerindo a fragilidade do agregado.

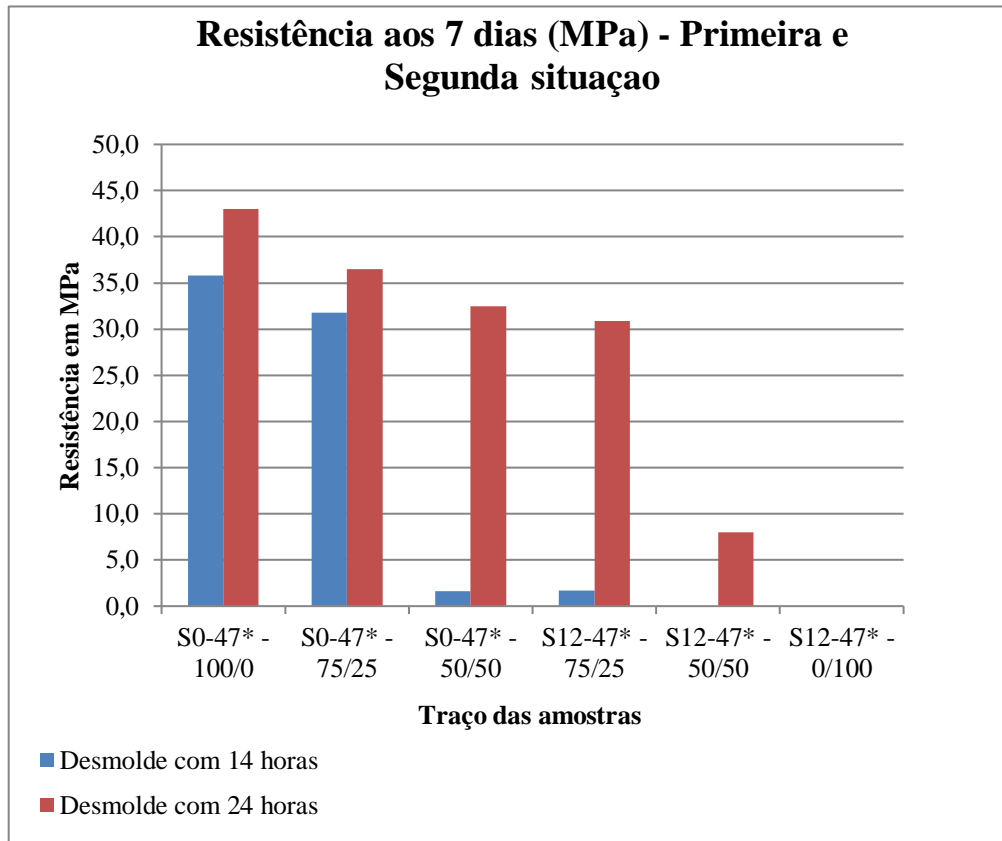
Tabela 4- Resistência a compressão aos 7 dias nos ensaios comparativos.

Primeira situação: desmolde com 14 horas			Segunda situação: desmolde com 24 horas			Terceira situação: desmolde com 24 horas		
Traços	Proporção de materiais		Traços	Proporção de materiais		Traços	Proporção de materiais	
	AN/AQ (%)	Resis.7 <sup>4</sup> (MPa)		AN/AQ (%)	Resis.7 (MPa)		AN/AQ (%)	Resis.7 (MPa)
S0-47*	100/0	35,8	S0-47**	100/0	43,0	S0-47***	0/100	0,0
	75/25	31,8		75/25	36,5		25/75	4,5
	50/50	1,6		50/50	32,5	S12-47***	100/0	35
S12-47*	75/25	1,7	S12-47**	75/25	30,9	S12-47***	25/75	6,1
	50/50	0,0		50/50	8,02			
	0/100	0,0		0/100	0,0			

O segundo teste procedeu-se com a repetição dos traços anteriores, mas com desmolde feito como recomenda a norma ABNT NBR NM 5739:1994 com 24 horas. O terceiro teste também procedeu com a moldagem de mais 4 Cp's. No entanto variou-se mais uma vez as proporções de areia de quartzito e a comum. Todas as amostras foram

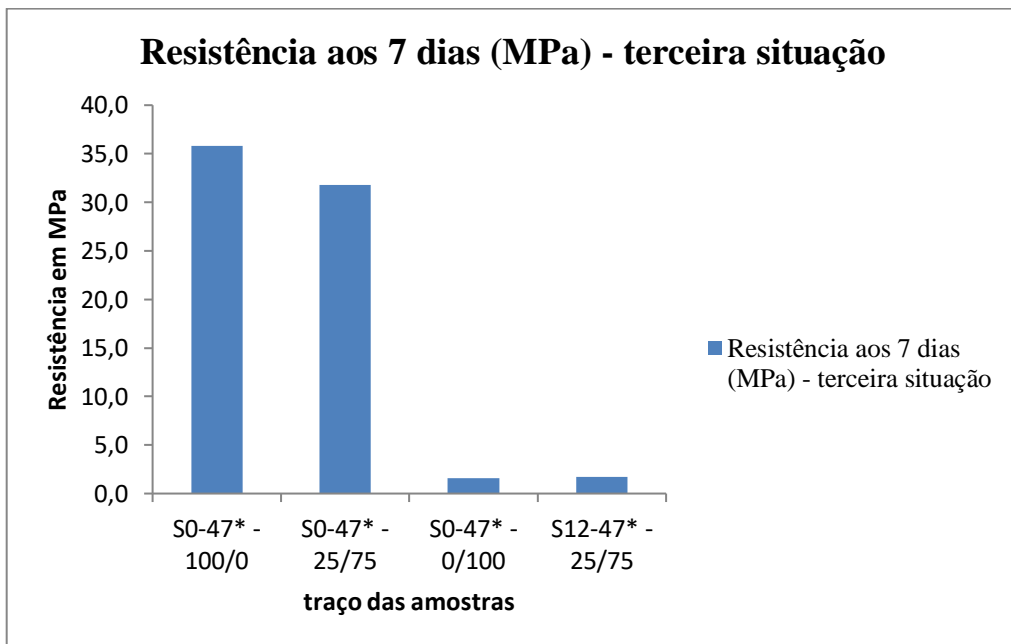
<sup>4</sup> Resistência à compressão aos 7 dias

364 colocadas em cura úmida e rompidas com idades de 7 dias. Os resultados são mostrados  
 365 na Tabela 4.



366  
 367  
 368

Figura 5 – Gráfico comparativo dos resultados da primeira e segunda situação



369  
 370

Figura 6 – Gráfica dos resultados dos ensaios da terceira situação

371 Na Figura 5 é apresentado o gráfico com os resultados obtidos nos ensaios de  
 372 compressão da primeira e segunda situação, enquanto que a figura 6 exhibe o gráfico da

373 terceira situação. Observando-se os resultados, verificou-se que os Cp's confeccionados  
374 com 100% de areia comum apresentaram resultados de resistência de 43 MPa e 36 MPa,  
375 enquanto que todos os cp's confeccionados com 100% de areia de quartzito  
376 continuaram a apresentar resistências nulas. Além disso, o fato de misturarem-se as  
377 areias em percentuais iguais ou diferentes conferiu também resultado de resistência à  
378 compressão.

### 379 **4.3 ENSAIOS DE INFRAVERMELHO**

380 Neste item é mostrado o resultado das análises de infravermelho nas amostras  
381 coletadas com 7 e 28 dias, após serem rompidas no ensaio de compressão. As amostras  
382 analisadas estão indicadas na Tabela 1. Todos os resultados gráficos estão expostos no  
383 apêndice A.

384 Ressalta-se que, por serem ensaios qualitativos, não foi possível mensurar a  
385 quantidade SA consumida em cada amostra. Apenas pode-se verificar que houve um  
386 aparente consumo deste material. Então, a partir disso foi feita uma correlação entre os  
387 resultados obtidos com os ensaios de barras de argamassa (MBA) com 16 dias e as  
388 informações obtidas com os ensaios de infravermelho, sendo possível observar e  
389 identificar uma relação entre os resultados obtidos em ambos os casos. Na Tabela 5 é  
390 mostrada as interpretações aferidas com os ensaios de espectrofotômetro de  
391 infravermelho.

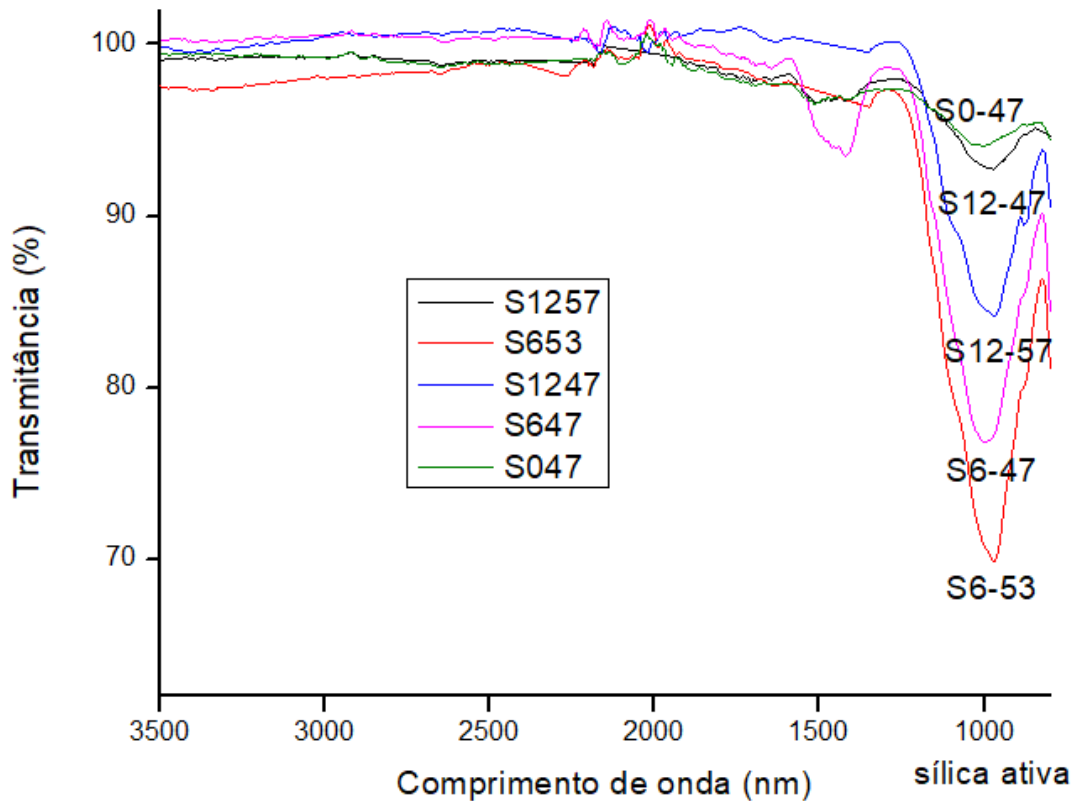
392 Tabela 5 - Resultados das análises de espectrofotômetro de infravermelho.

<b>Resultados das análises de espectro de infravermelho</b>			
<b>Amostras</b>	<b>Porcentagem de sílica (%)</b>	<b>Relação a/c</b>	<b>Picos de sílica</b>
S0-47	0	0,47	Baixa intensidade
S6-47	6	0,47	Média intensidade
S12-47	12	0,47	Baixa intensidade
S6-53	6	0,53	Alta intensidade
S12-57	12	0,57	Baixa intensidade

393 Com a análise aos 7 dias no espectrofotômetro de infravermelho e com os  
394 resultados de MBA, verifica-se que, no gráfico da amostra S0-47, que na banda  
395 característica da sílica, com uma transmitância em torno de 1000 nm, quase não foi  
396 detectado a atividade deste material, o que já era esperado, tendo em vista não ter sido  
397 feita nenhuma adição Pozolânica. A partir das amostras S6-47 e S12-47, como houve



398 essa adição, já foi possível relacionar o tamanho das bandas de sílica com ocorrência e  
399 magnitude da RAA. Na figura 7 temos todos os ensaios de infravermelho sobrepostos, e  
400 as análises individuais podem ser encontradas no apêndice A.



401

402

Figura 7 - Gráfico comparativo das amostras de infravermelho

403

404

405

406

407

Diante deste fato e analisando as informações obtidas no infravermelho, concluiu-se que houve atividade pozolânica da sílica no combate da reação, em intensidades diferentes, do mesmo modo como observado na expansão das barras. Com isso sugere-se que houve consumo de sílica ativa durante as reações, o que resultou no combate da RAA.

408

409

410

411

412

413

414

415

Nas amostras S6-53 e S12-57 aumentou-se a relação a/c para estudar se haveria influência nos efeitos da RAA. Percebeu-se que tanto no ensaio de MBA quanto no de infravermelho houve maior intensidade desta reação. A amostra S6-53 com 6% de SA apresentou o resultado mais crítico de expansão e a banda de sílica mais ampla comparada a todas as outras amostras, sugerindo que houve pouco ou nenhum consumo da adição. A amostra S12-57, apesar de ter a maior relação a/c, se mostrou inócua a RAA com uma adição de 12% de SA, onde boa parte deste material pode ter sido consumida.

416

#### 4.4 ANÁLISES DE RAIOS-X

417

418

419

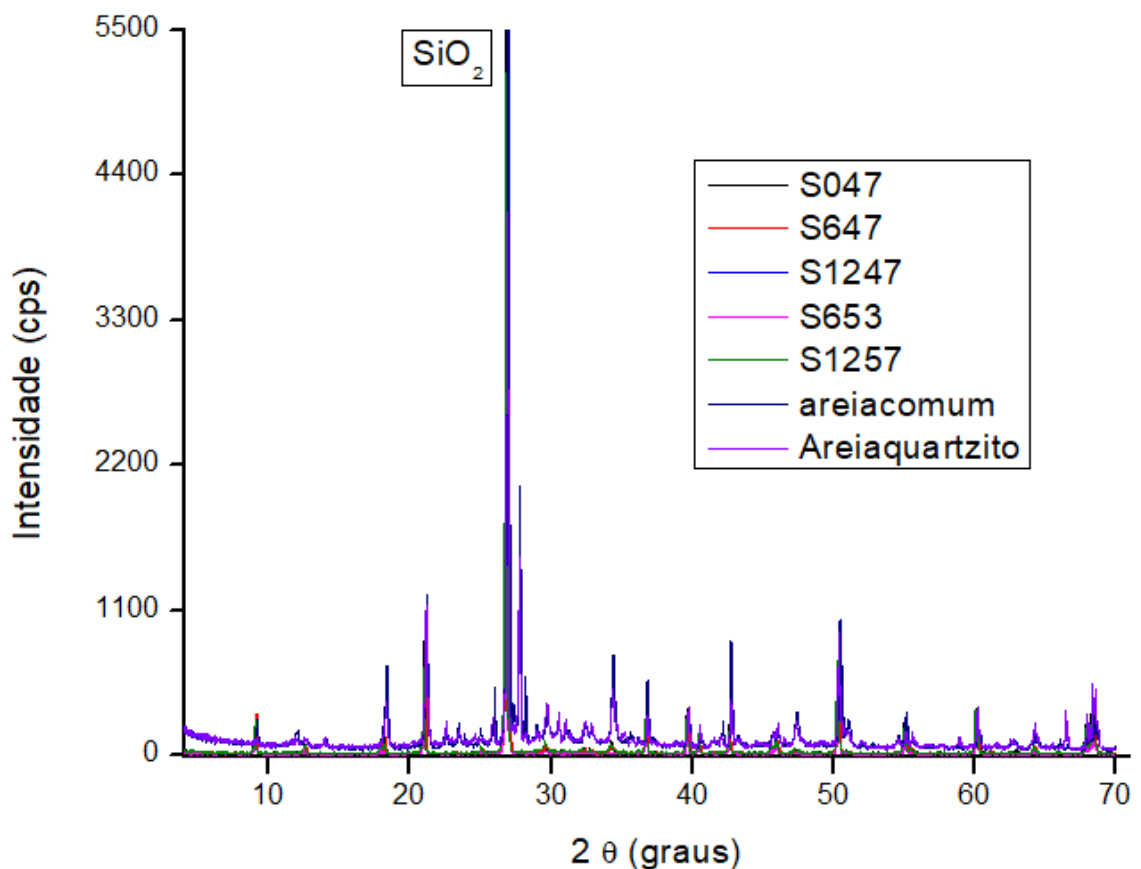
420

421

422

423

Através dos ensaios de difração de raios-x observou-se que a composição mineral é praticamente a mesma para todas as amostras avaliadas aos 7 dias ,destacando-se os picos de sílica ( $\text{SiO}_2$ ),principalmente em  $26,66^\circ$ , associando ao quartzo. Uma vez que todas as amostras apresentaram grande similaridade de forma, não foi necessário repetir os ensaios aos 28 dias. Na figura 8 é apresentado o ensaio de raio-x com a sobreposição de todas as amostras estudadas. As análises individuais podem ser encontradas no apêndice B.



424

425

Figura 8: Gráfico comparativo das amostras de raio-x

426

#### 4.5 EXPANSÕES DAS BARRAS DE ARGAMASSA

427

428

429

430

431

432

Inicialmente percebeu-se que, nas barras sem adições pozolânicas, o material estudado pode ser considerado potencialmente reativo, já que se obtiveram expansões maiores que 0,100%. Além disso, a SA mostrou-se eficiente para mitigar a ocorrência da RAA para alguns traços, conforme Tabela 6. Como foram encontradas expansões superiores a 0,100% procedeu-se com as medições por 30 dias, como recomenda a ABNT NBR NM 15577-4:2008.

<b>Traços</b>	<b>16 dias (%)</b>	<b>30 dias (%)</b>	<b>Classificação das barras</b>
SO-47	0,143	0,146	PR
S6-47	0,094	0,097	Inócuo
S12-47	0,035	0,035	Inócuo
S0-49	0,133	0,136	PR
S6-53	0,161	0,168	PR
S12-57	0,073	0,080	Inócuo

434 Outra observação importante reside no fato de que a relação *a/c* e a quantidade de  
 435 material Pozolânico podem interferir na intensidade da RAA. Como mostra o resultado  
 436 da amostra S6-53, que sofreu a maior porcentagem de expansão, sendo moldados com  
 437 uma *a/c* de 0,53 e apenas 6% de SA e a amostra S12-47 que teve a menor expansão  
 438 entre todas as barras com uma relação de 0,47 e 12% de SA.

439 Os resultados encontrados de RAA já eram esperados, pois o quartzito é uma  
 440 rocha silicosa, como pode ser comprovado nos ensaios de raios-X, e como explica  
 441 Couto (2008) a forte deformação encontrada no quartzo, fase mineralógica do quartzito,  
 442 faz com que este agregado seja classificado como potencialmente reativo.

## 443 5. CONCLUSÃO

444 Por meio da correlação entre ensaios das barras de argamassa e as análises de  
 445 infravermelhos realizados, percebeu-se que seria necessário à adoção de medidas  
 446 mitigadoras para um uso seguro do agregado. Ainda percebeu-se através dos ensaios de  
 447 raios-x a ocorrência da RAA do tipo RAS.

448 A Sílica Ativa (SA), como uma adição Pozolânica, mostrou-se capaz de combater  
 449 a RAA, em alguns casos, conforme os resultados demonstrados.

450 A partir dos ensaios de MBA percebeu-se que com uma relação de *a/c* de 0,47 e  
 451 com uma adição de 6% de SA a RAA foi combatida. No entanto, aumentando essa  
 452 relação até 0,57, constatou-se a necessidade de pelo menos 12% de adição pozolânica  
 453 para combater a reação.

454 Apesar do sucesso obtido no combate da RAA com o uso da SA, os ensaios a  
 455 compressão realizados mostraram que argamassa utilizando quartzito não apresentou

456 resistência estrutural satisfatória, exigindo mais pesquisas e estudos que venham a  
457 apresentar uma solução definitiva para essa deficiência.

## 458 **6. AGRADECIMENTOS**

459 Primeiramente agradeço a Deus pela força que permitiu minha caminhada até  
460 aqui, minha família, a Camila, meu grande amor por todo o amor incondicional,  
461 carinho, confiança e por nunca medirem esforços para tornar minha jornada mais leve e  
462 gratificante. Deixo meus sinceros agradecimentos a Universidade Federal de Viçosa  
463 Campus de Rio Paranaíba, a meus orientadores Maria Cláudia Sousa Alvarenga e  
464 Cassiano Rodrigues de Oliveira pelo apoio e toda dedicação a este trabalho. E por fim e  
465 não menos importante, a todos os amigos que me ajudaram de alguma maneira durante  
466 a realização deste projeto.

## 467 **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

468 ARAÚJO, Diógenes Tavares de; SOBRINHO, Carlos Welligton de Azevedo Pires.  
469 Blocos de Fundações de Edifícios Afetados por Reação Álcalis-Agregado (RAA):  
470 Estudo de Caso. **REVISTA DE ENGENHARIA E PESQUISA APLICADA**, [S.l.],  
471 v. 1, n. 1, p. 13-21, abr. 2016.

472 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 10007-**  
473 **2004-** Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 21 p.

474 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM**  
475 **12653:2015-** Materiais pozolânicas. Rio de Janeiro, 2014, 10 p.

476 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 5739:**  
477 **2007-** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro,  
478 1994, 9 p.

479 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 26:2000-**  
480 Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2000, 10 p.

481 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67:1996-**  
482 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do troco de cone. Rio de  
483 Janeiro, 1998, 8 p.

484 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 30:2001-**  
485 Agregado miúdo – determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001, 3 p.

486 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 45:2006-**  
487 Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro,  
488 2003, 12 p.

489 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 46:2003-**  
490 teor de material passante na peneira de 75 µm Rio de Janeiro, 2003, 6 p.

491 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM NBR**  
492 **45:2006-** determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 2003, 6 p.

493 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM NBR**  
494 **15577-1:2008-** Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação  
495 da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio  
496 de Janeiro, 2008, 11 p.

497 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 15577-**  
498 **4:2008-** Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 4: Determinação da expansão  
499 em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2008, 12 p.

500 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 52:2009-**  
501 determinação da massa específica de agregado miúdo Rio de Janeiro, 2002, 14 p.

502 BONATO, Luciano C. **REAÇÃO ALCALI-AGREGADO, PRINCIPAIS CAUSAS**  
503 **E ESTUDO DE REATIVIDADE POTENCIAL - CAMPO MOURÃO.** 2015. 68f.  
504 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Civil. Universidade  
505 Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

506 CARDOSO, Anderson Francisco Alencar; SOUZA, Paulo Sérgio Lima; BRANCO,  
507 Vitor Hugo Lopes. **REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO - VERIFICAÇÃO DA**  
508 **REATIVIDADE DO AGREGADO GRAÚDO, FRENTE AOS ÁLCALIS DO**  
509 **CIMENTO, DAS PRINCIPAIS JAZIDAS FORNECEDORAS DE AGREGADOS**  
510 **PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM. Revista RETEC , OURINHOS,**  
511 **v. 8, n. 2, p. 38-49, dez. 2015.**

512 COUTO, T. A. **Reação álcali-agregado: estudo do fenômeno em rochas siliciosas.**  
513 2008. 154. F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de  
514 Goiás, Escola de Engenharia, Goiás, MG, 2008.

515 FALEIRO, Flávio Fernandes; LOPES, Luciana Maria. **ASPECTOS DA MINERAÇÃO**  
516 **E IMPACTOS DA EXPLORAÇÃO DE QUARTZITO EM PIRENÓPOLIS-GO.**  
517 **REVISTA ATELIÊ GEOGRÁFICO , GOIÂNIA, v. 4, n. 11, p. 148-162, agosto**  
518 **2010.**

519 FALEIRO, Flávio Fernandes; LOPES, Luciana Maria. ASPECTOS DA MINERAÇÃO  
520 E IMPACTOS DA EXPLORAÇÃO DE QUARTZITO EM PIRENÓPOLIS-GO.  
521 **REVISTA ATELIÊ GEOGRÁFICO** , GOIÂNIA, v. 4, n. 11, p. 148-162, agosto  
522 2010.

523 FERREIRA, Anna Paula Guida; FARAGE, Michèle Cristina Resende; BARBOSA,  
524 Flávio de Souza. Modelling of the mechanical behavior of concrete affected by alkali-  
525 aggregate reaction. **Revista ESCOLA DE MINAS**, [S.l.], v. 66, n. 1, p. 35-40, mar.  
526 2013.

527 LIMA, Jofre Silva ; MONTEIRO, Eliana Cristina Barreto. Influencia da Moagem da  
528 Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar na Atividade Pozolânica. **Revista DE**  
529 **ENGENHARIA E PESQUISA APLICADA** , [S.l.], v. 1, n. 1, p. 23-28, abr. 2016.

530 Munhoz, Flávio André da Cunha. **Efeito de adições ativas na mitigação das reações**  
531 **álcali-sílica e álcali-silicato**. - São Paulo: EPUSP, 2008.

532 Munhoz, Flávio André da Cunha. **Efeito de adições ativas na mitigação das reações**  
533 **álcali-sílica e álcali-silicato**. - São Paulo: EPUSP, 2008.

534 PEREIRA, E; PORTELLA, K. F.; BRAGANÇA, M. O. G. P.; OCHILISKI, L. M.;  
535 OLIVEIRA, I. C. Pyrite Oxidation and its effects on Portland cement mortars subject to  
536 internal sulfates attack (ISA). **REVISTA MATÉRIA**, v.21, n.2, pp. 342 -354 2016.

537 POOLE A B. **INTRODUCTION TO ALKALI-AGGREGATE REACTION IN**  
538 **CONCRETE**. In: Swamy R N, editors .The alkali-silica reaction in concrete, London:  
539 Blackie and son ltd; 1992, chapter 1.

540 SANCHES, L.F.M. Contribuição ao estudo dos métodos de ensaio na avaliação das  
541 reações álcali-agregados em concretos. São Paulo, 2008. 170 dissertação de mestrado –  
542 Escola politécnica, universidade de são Paulo.

543 SILVA. D. J. F; V. FAZZAN; FIORITI. C. F; AKASAKI. J. L. | H. M. Estudo dos  
544 **Efeitos do LiNO<sub>3</sub> na Reação Álcali-Sílica e Comparação com os Efeitos da Cinza**  
545 **Volante na Reação**. Revista ibracon, vol.3, pp 310-321 ,setembro 2010.

546 SOUZA, L.; ZOLETT, E. R.; CARRAZEDO, R. Estudo dos efeitos do uso da escória  
547 de aciaria na expansão de corpos de prova sujeitos à reação álcali-agregado. **REVISTA**  
548 **IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS** , SÃO PAULO, v. 9, n. 4, p. 572-  
549 586, agosto 2016.

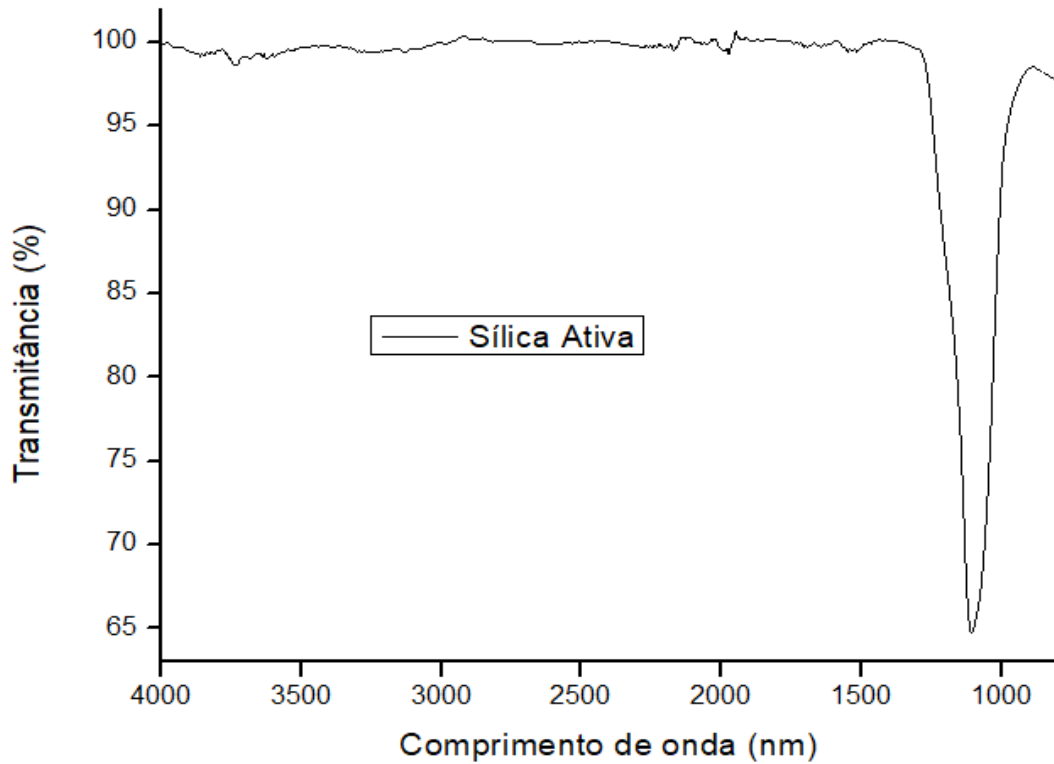
550 STANTON, T.E .Expansion of concrete throught reaction between cement and  
551 aggregate. **Proceeding of American Society of Civil Engineers** , v.66, p.1781–1811.  
552 940.

553 TORRES, I.F; ANDRADES, T. ANÁLISE DE RISCO DA FORMAÇÃO DE  
554 ESTRINGITA TARDIA EM BLOCOS DE FUNDAÇÃO NA REGIÃO  
555 METROPOLITANA DE RECIFE - PE- BRASIL. **REVISTA EDUCAÇÃO** , SÃO  
556 PAULO, v. 9, n. 3, p. 357-394, jun. 2016.

557

## APÊNDICE A - ANÁLISES DE ESPECTROFOTÔMETRO DE INFRAVERMELHO DAS AMOSTRAS

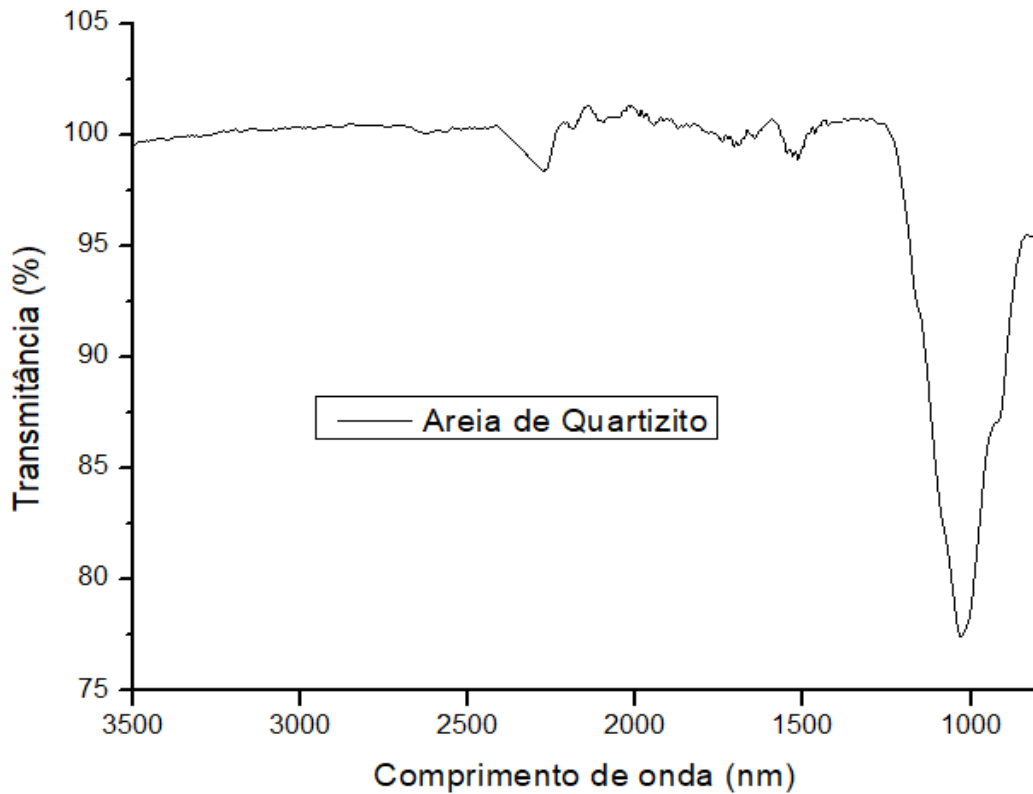
558



559

Figura 9- Gráfico de infravermelho da Sílica ativa

560

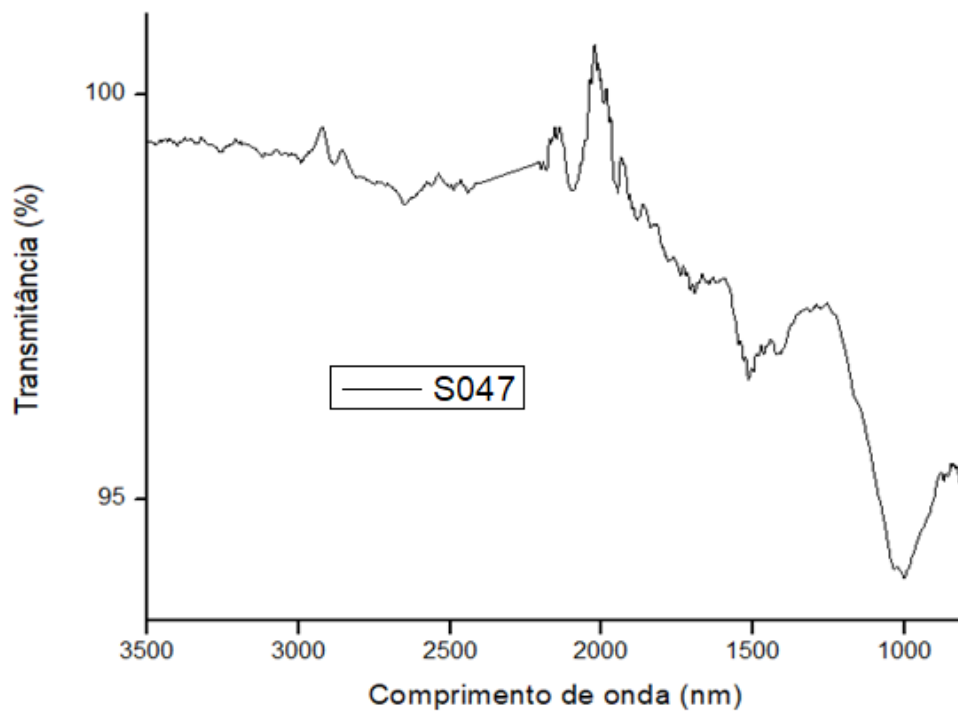


561

Figura 10- Gráfico de infravermelho da areia de quartizito

562

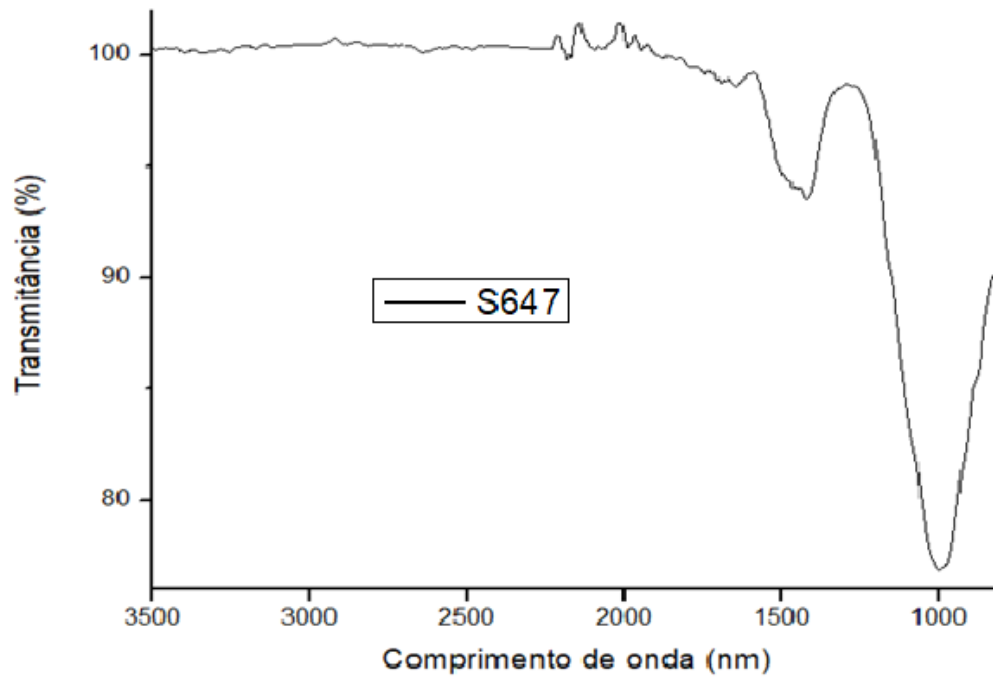




563

564

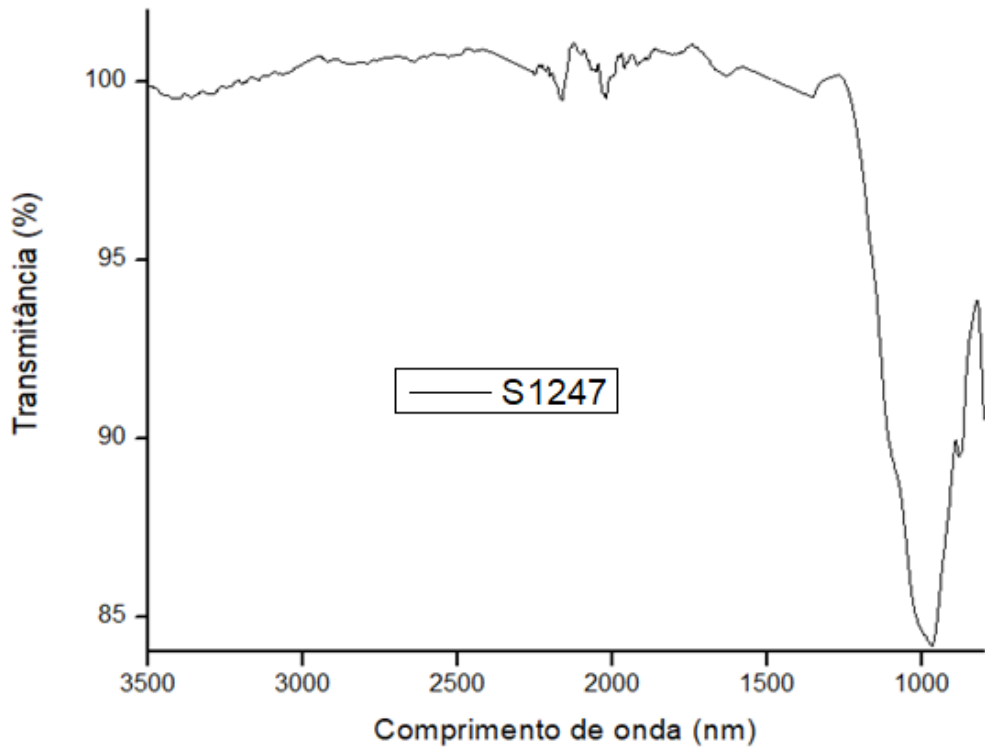
Figura 11- Gráfico de infravermelho da amostra S0-47



565

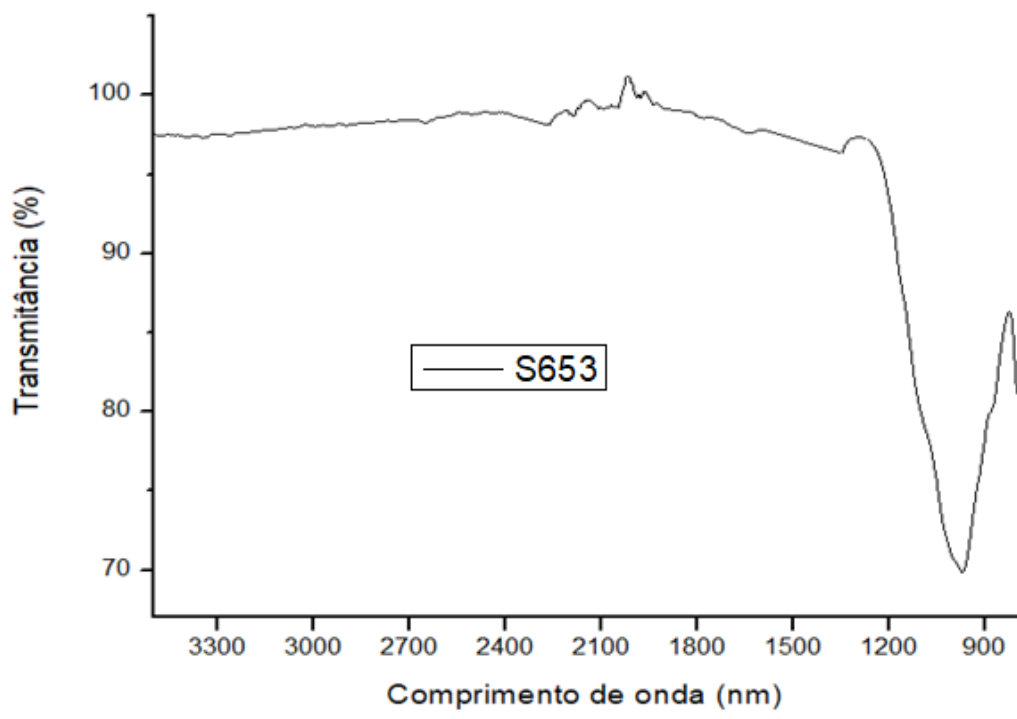
566

Figura 12- Gráfico de infravermelho da amostra S6-47



567  
568

Figura 13- Gráfico de infravermelho da amostra S12-47



569  
570

Figura 14- Gráfico de infravermelho da amostra S6-53

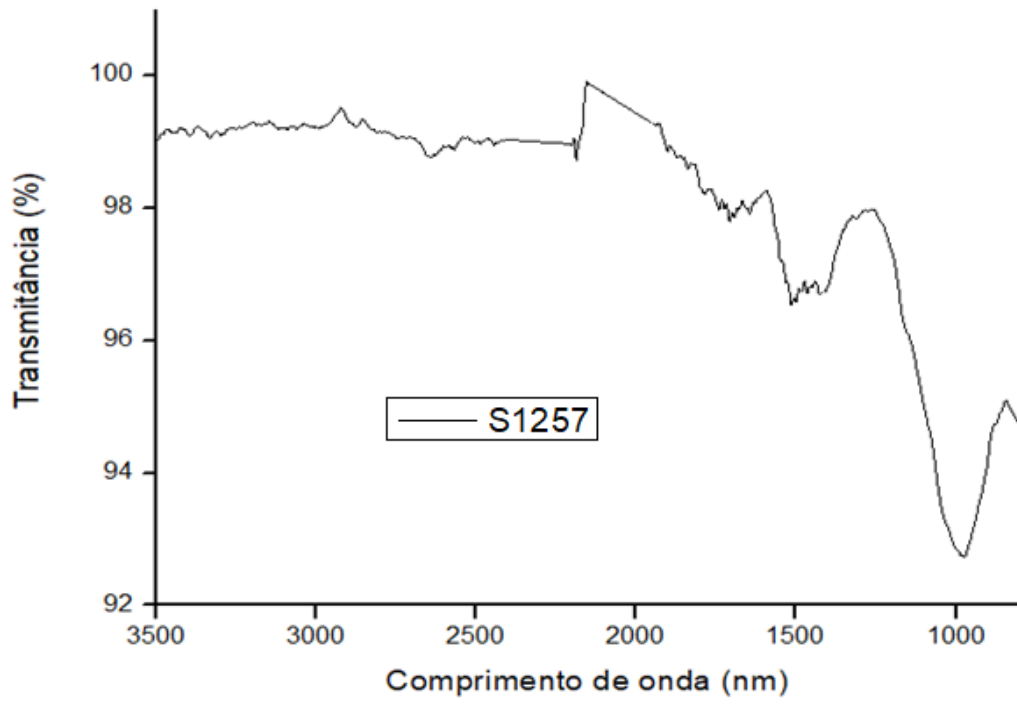
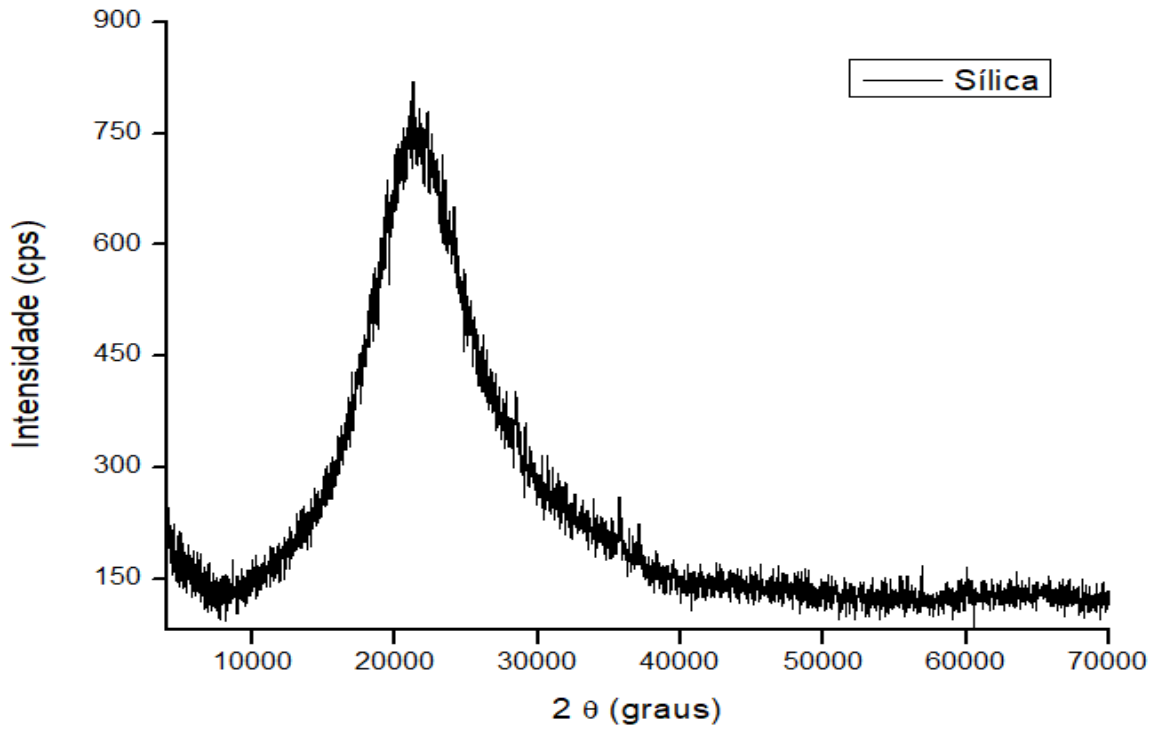


Figura 15- Gráfico de infravermelho da amostra S12-57

571  
572  
573  
574  
575  
576  
577  
578  
579  
580  
581  
582  
583  
584  
585

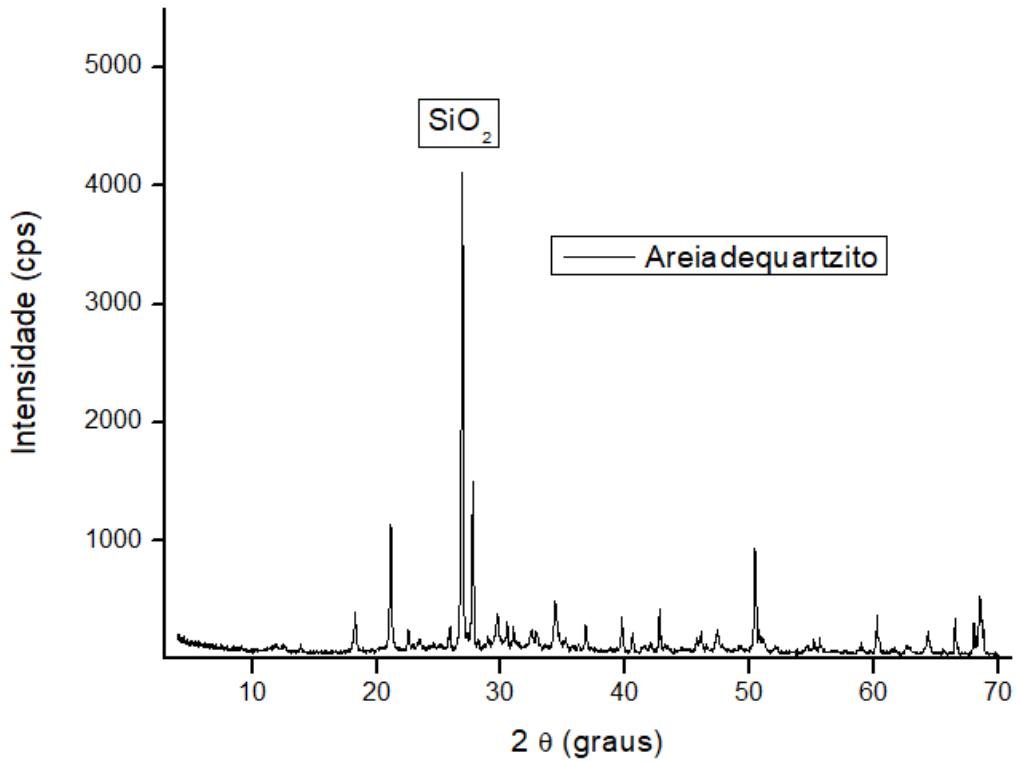


587

588

Figura 16- Gráfica Sílica ativa

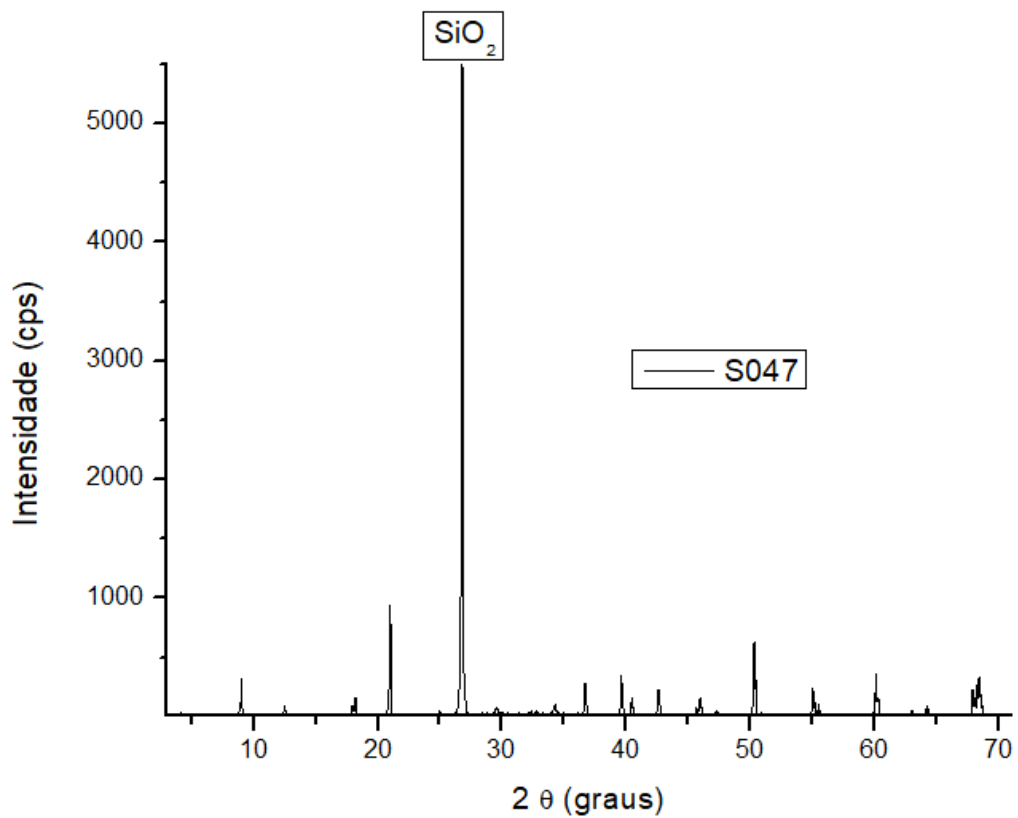
589



590

591

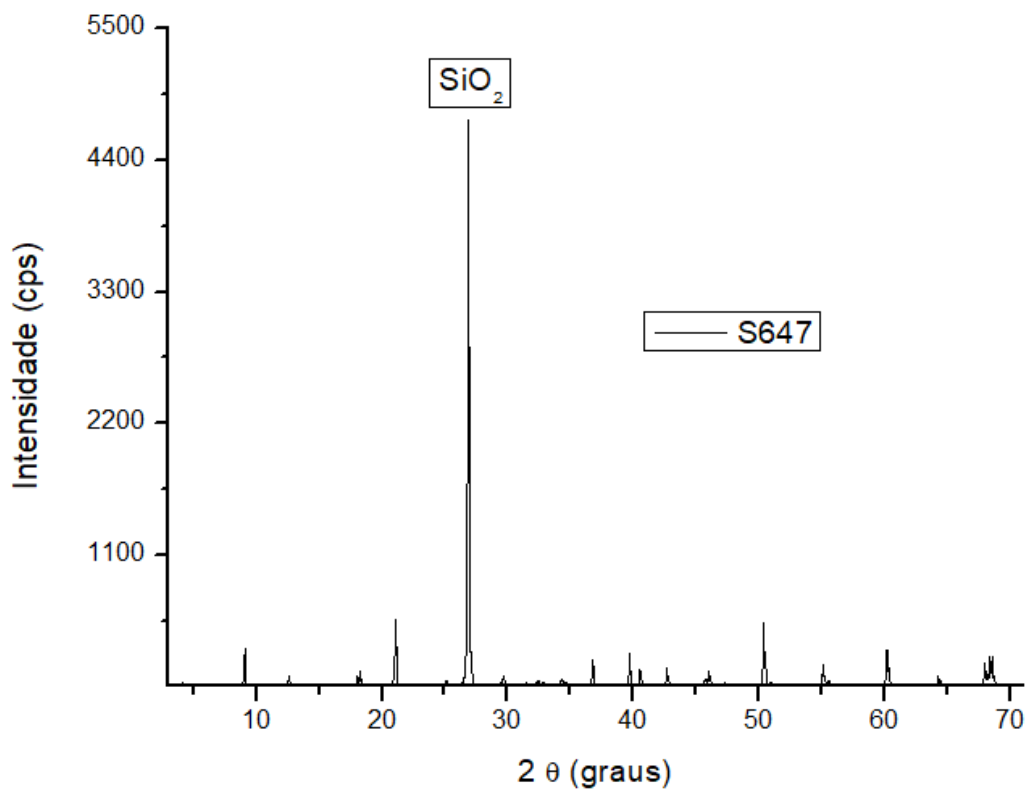
Figura 17- Gráfico de raios-x da areia de quartzito



592

593

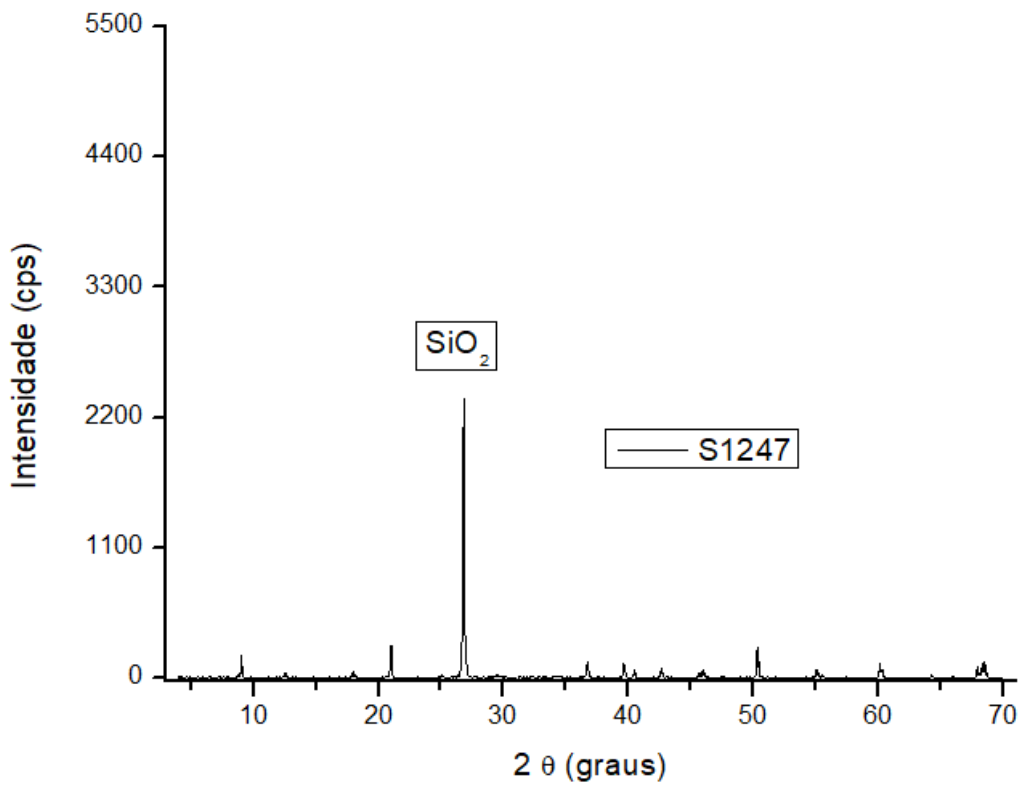
Figura 18- Gráfico de raios-x da amostra S0-47



594

595

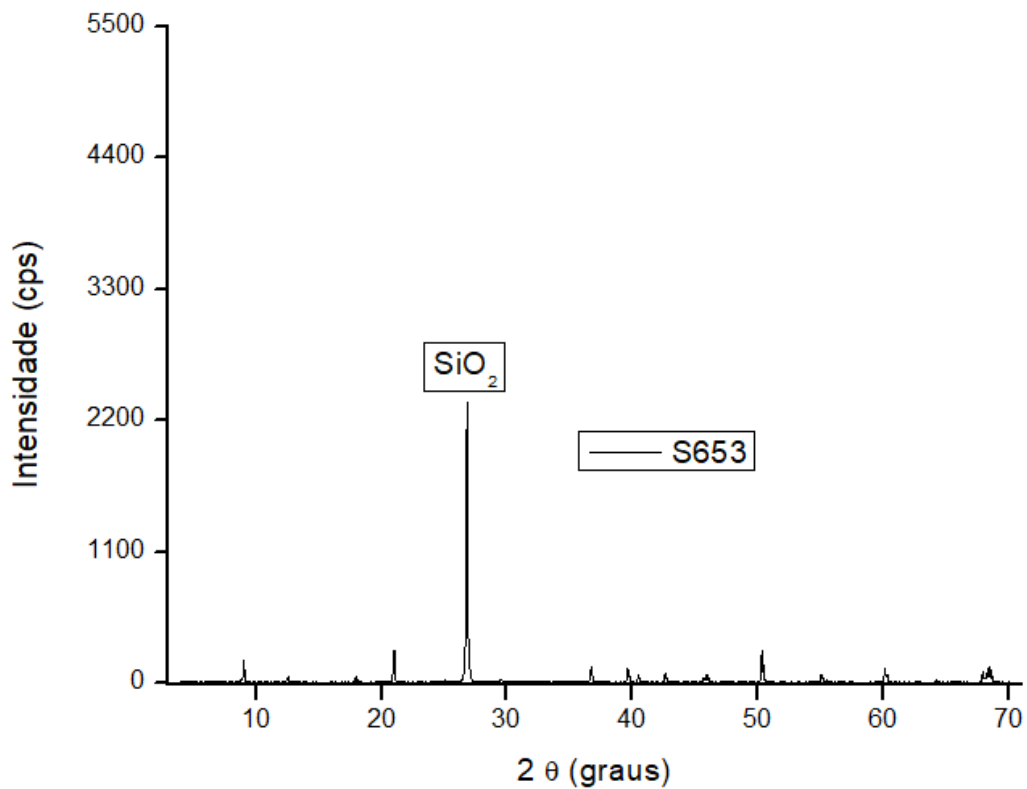
Figura 19- Gráfico de raios-x da amostra S6-47



596

597

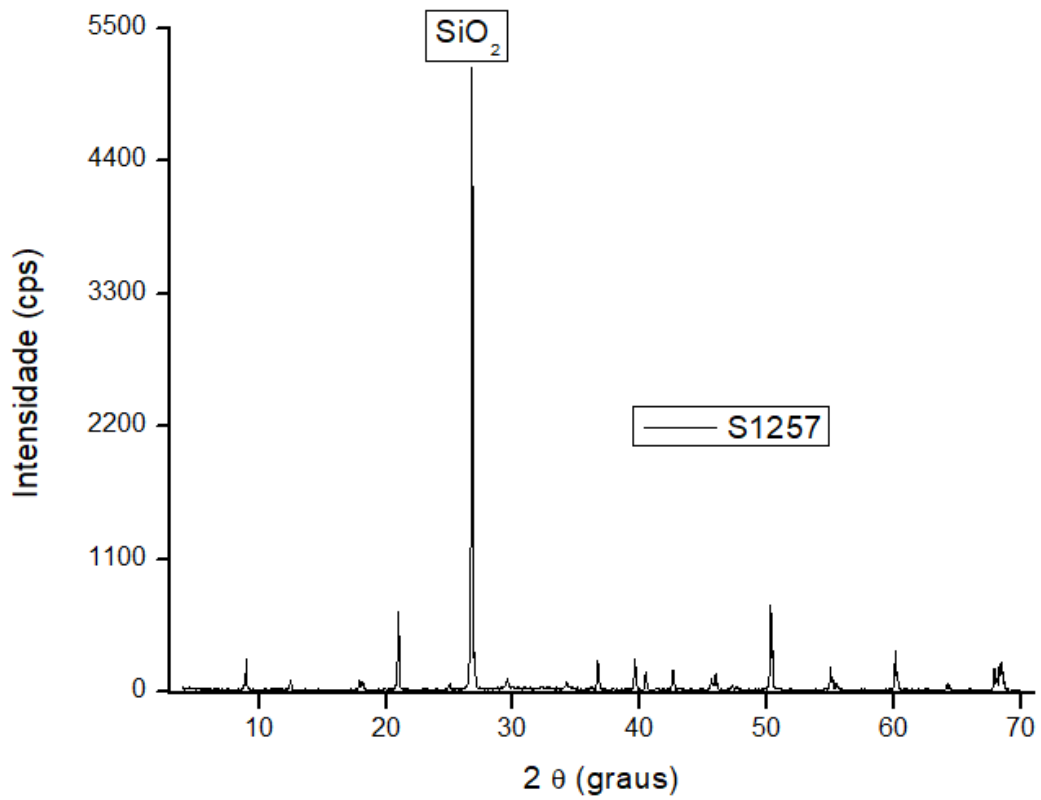
Figura 20- Gráfico de raios-x da amostra S12-47



598

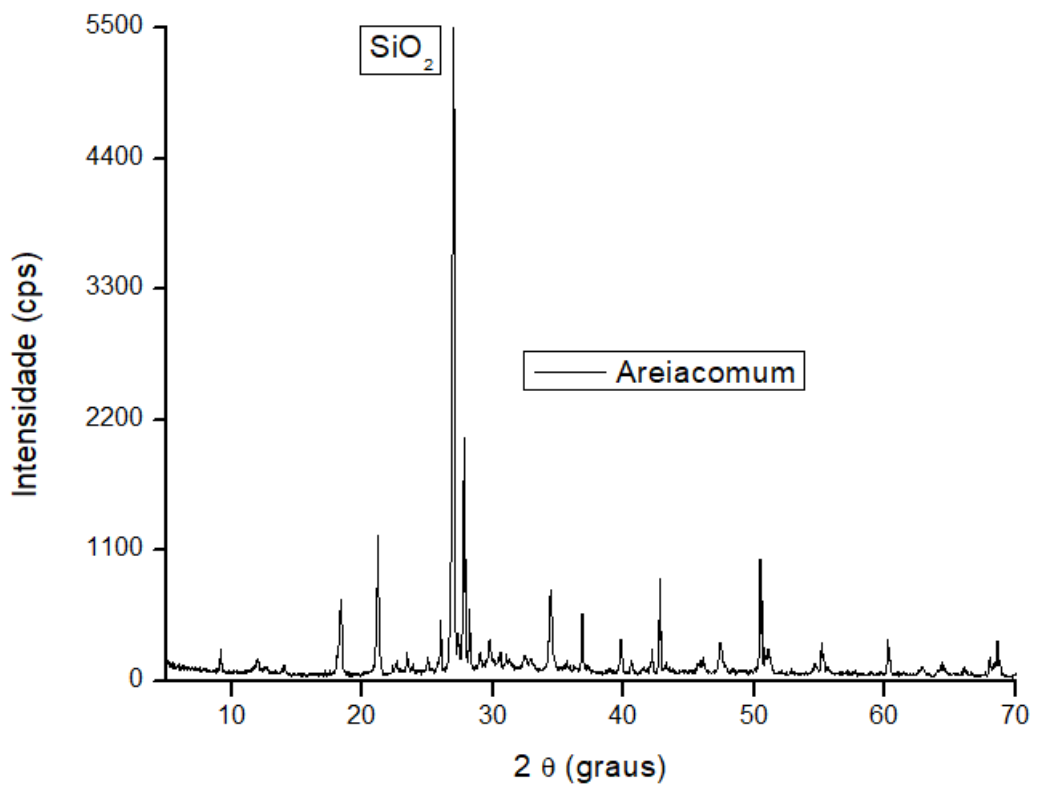
599

Figura 21- Gráfico de raios-x da amostra S6-53



600  
601  
602

Figura 22- Gráfico de raios-x da amostra S12-57



603  
604

Figura 23- Gráfico de raios-x da areia comum