



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:
Limitações e possibilidades**



DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS ECOLÓGICOS: UMA APLICAÇÃO A PARTIR DO PÓ DE CONCHAS E LODO DE MARMORARIA

1SAMUEL ELIAS SOBOLWSKY WERNER - samuwerner@univali.edu.br
UNIVERSIDADE - SIGLA

GEORGE LUIZ BLEYER FERREIRA – bleyer@univali.br
UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ - UNIVALI

ÁREA: 9 – ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE

SUBÁREA: 9.5 – PRODUÇÃO MAIS LIMPA E ECOEFICIÊNCIA

RESUMO: *TENDO EM VISTA O DESENVOLVIMENTO URBANO DESENFREADO E A ESCASSEZ DE RECURSOS NATURAIS, TEM-SE BUSCADO DESENVOLVER TECNOLOGIAS CAPAZES DE CONCILIAR O DESENVOLVIMENTO MITIGANDO OS IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE. DESTE MODO, CONSIDERANDO A DISPOSIÇÃO IRREGULAR DOS RESÍDUOS DE CONCHAS NOS MUNICÍPIOS PRODUTORES DE MARISCOS NO ESTADO DE SANTA CATARINA E O RESÍDUO DE PÓ DE MÁRMORES, NÃO APROVEITADO PELAS MARMORIARIAS, ESTRUTUROU-SE A PRESENTE PESQUISA OBJETIVANDO DESENVOLVER BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO COM RESÍDUOS DE CONCHA E LODO DE MARMORAIA, SUBSTITUINDO PARCIALMENTE A AREIA. COMO METODOLOGIA BUSCOU-SE ATENDER OS PARÂMETROS MÍNIMOS EXIGIDOS NA ABNT NBR 9781/2013 QUANTO A ABSORÇÃO DE ÁGUA E A COMPRESSÃO. FORAM PREPARADAS AMOSTRAS COM 30%, 40%, 50% E 60% DE AREIA E SUBMETIDAS AOS TESTES. COMO RESULTADO, QUANTO A ABSORÇÃO DE ÁGUA, OS PAVERS APRESENTARAM MELHOR RESULTADO DOS QUE UTILIZADOS COMERCIALMENTE E COM RELAÇÃO AOS TESTES DE COMPRESSÃO, EMBORA OS MESMOS NÃO ATINGIRAM O MÍNIMO ESTABELECIDO PELA NORMA, EM COMPARAÇÃO COM OS PAVERS COMERCIAIS, APRESENTARAM RESULTADO SUPERIOR.*

PALAVRAS-CHAVES: *BLOCO ECOLÓGICO; RESÍDUO DE CONCHAS; LODO DE MARMORIA.*

1. INTRODUÇÃO

O setor da Construção Civil é um dos setores que mais crescem no sul do Brasil, considerando a exploração de recursos naturais inerente ao desenvolvimento da mesma, se faz necessária a adequação da produção de maneira a desenvolver meios e produtos que possam atenuar os impactos deste setor, a começar pela gestão eficiente dos recursos utilizados neste setor, tendo em vista que a administração destes tem grande relevância em poupar recursos naturais e financeiros. O mercado de pedras ornamentais mármore e granito cresce diretamente associado ao crescimento da construção civil, pois as rochas ornamentais (granito e mármore) são bastante empregadas em edificações nos revestimento e pavimentações.

Como menciona Campos e Castro (2007), o processo de exploração de minerais resulta na produção de resíduo o que gera impacto ambiental. A lavra e o processamento das rochas ornamentais, em todas as suas etapas, produzem uma quantidade expressiva de resíduos, atingindo as faixas de 65 a 75%, em média. Devido às características físicas comuns deste tipo de mineral (mármore e granitos), se torna importante desenvolver novos produtos e usos para reinserir este recurso nos ciclos de produção e assim mitigar os impactos.

Similar a essa questão, embora em um outro setor, o Estado de Santa Catarina é o maior produtor nacional de Moluscos Bivalves, ostras e mexilhões entre outros. Produzindo cerca 97% do total nacional, somando um acúmulo de 15 mil toneladas por ano de acordo com a EPAGRI (2021). Entretanto, a produção destes moluscos resulta também na geração de resíduo: As conchas, que são constituídas de 95% de carbonato de cálcio e representam, conforme observado por Hamester e Becker (2010), cerca de 80% do peso total do molusco, desta forma, a maior parte da produção é convertida em resíduo,

Os resíduos de conchas são um problema ambiental para as cidades produtoras de molusco pois as fazendas de criação dos moluscos localizadas na enseada geralmente lançam os resíduos da produção abaixo das zonas de cultivo, criando assim alguns montes de conchas no fundo do mar resultando na atração de organismos que são maléficos para o cultivo. Para Radavelli (2015), esse comportamento diz respeito a cerca de 66% dos produtores no município de Penha (SC), enquanto que outros 16% depositam em terrenos cedidos e 8% restante em terrenos abandonados.

Tendo em vista a problemáticas apontada, a presente pesquisa objetiva confeccionar um bloco de concreto intertravado (*paver*) com utilização parcial de resíduos de concha e lodo

de marmoraria como substituto parcial da areia, tendo em vista o atendimento aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 9871/2013.

2. METODO DE PESQUISA

2.1 PREPARATIVOS PARA O ENSAIO

Os resíduos de marmoraria foram coletados em setembro de 2023 junto a uma empresa de marmoraria na cidade de Itajaí, SC e as conchas de marisco no mesmo mês junto a cooperativa de maricultores da cidade de Penha, SC. No que diz respeito às conchas de marisco, as mesmas passaram por um processo prévio de limpeza manual, visto que havia matéria orgânicas no seu interior. Em seguida as conchas foram devidamente lavadas com água em bateladas em uma betoneira do Laboratório de Tecnologia (LATEC) da UNIVALI, para dessalinização, conforme a Figura 1. Foram realizadas 7 lavagens de 5 minutos cada, posteriormente a secagem foi feita junto a estufa por 24h a 100°C, mostrado na Figura 2.

Figura 1 - Lavagem das conchas em betoneira



Figura 2 – Conchas na estufa de secagem



Após a secagem foi realizado a moagem em moinho de martelos da marca MAQTRON® modelo B-609, e com um motor de 3000 RPM, como se pode observar na Figura 3. É possível observar as conchas moídas na Figura 4, a granulometria obtida foi resultante de apenas uma moagem simples a seco no moinho de martelos que durou 20 minutos no total, atingindo a granulometria necessária, ou seja, inferior a 4,57mm e superior a 150 micras.

Figura 3 - Moinho de martelos e conchas



Figura 4 - Moinho de martelos e motor



Após a moagem das conchas, foi realizado o peneiramento conforme a norma ABNT NBR 16697/2018, sendo que para a substituição da areia, o material deve passar pela peneira de 4,75 mm e ficar retido na de 150 micras (Figura 5), com a plataforma vibratória por 5 minutos (Figura 6). Em seguida foi realizado a separação do material utilizável e não utilizável.

Figura 5 – Conchas prontas para peneiramento



Figura 6 – Mesa vibratória para peneiramento



Quanto ao lodo de marmoraria, se fez necessária a secagem do material na estufa por 24h a uma temperatura de 100°C (Figura 7). Após a secagem (Figura 8), foi observado que o mesmo possui granulometria fina e é semelhante ao cimento, sendo que conforme realizado o peneiramento, constatou-se que 34% do material pesado ficou retido entre as peneiras de 2,4mm e 150 micras, 66% tem a granulometria inferior a 150 micras, e menos de 1% ficou retida na peneira de 4,75mm, sendo assim, não foi necessária a moagem.

Figura 7 – Lodo para inserção na estufa



Figura 8 – Lodo de marmoraria seco



Após a pesagem foi realizada a mistura para as substituições definidas, para cada caso foi identificada uma sacola plástica com a devida porcentagem de substituição da areia (Figura 9). Com o auxílio de caixas de madeira com o volume já definido para as substituições, foi realizada a mistura (Figura 10).

Figura 9 – Sacolas para identificação



Figura 10 – Caixa dosadora



2.2 PRODUÇÃO DOS PAVERS PARA ENSAIO

Os corpos de teste dos blocos intertravado para pavimento foram fabricados utilizando porcentagens variadas de substituição dos agregados com resíduos de conchas moídas e lodo de marmoraria, sendo estabelecida as relações descritas na Tabela 2. Para cada proporção foi fabricado 3 corpos de prova que resultou na fabricação de 12 corpos de prova, sendo que, cada traço leva o nome da respectiva porcentagem de areia que foi substituída, ou seja, se a areia foi substituída em 30% o traço leva esse nome e assim sucessivamente.

As porcentagens propostas para os traços foram adotadas com base na literatura, no entanto, os percentuais de lodo de marmoraria e conchas de marisco, não encontrados na literatura, optou-se por proporções abrangentes com um intuito exploratório, considerando que a pesquisa servirá como base para trabalhos posteriores.

Tabela 2 – Proporção de materiais em partes e substituição da areia em porcentagem

Traço	Cimento	Substituto cimento	Brita	Areia	Substituto 1 areia	Substituto 2 areia	Substituição total de areia em % (nome do traço)
		Lodo de Marmoraria			Lodo de Marmoraria	Conchas	
1:6	0,9	0,1	3	2,0	0,5	0,5	30
1:6	0,9	0,1	3	1,8	0,6	0,6	40
1:6	0,9	0,1	3	1,4	0,8	0,8	50
1:6	0,9	0,1	3	1,2	0,9	0,9	60

Com as devidas proporções os corpos de testes foram prensados (Figura 11) por maquinário de fabricação de blocos intertravado (Figura 12).

Figura 11 – Elaboração dos traços



Figura 12 – Prensagem dos pavers



2.3 ENSAIO DOS CORPOS DE PROVA

Após o processo de cura dos *pavers*, os mesmos foram submetidos aos testes de absorção (Figura 13), na qual os corpos de prova foram inseridos no tanque de imersão por 24 horas a uma temperatura média de 23°C. Após foram pesados a cada 2 horas até que não se constatou diferença de 0,5% em relação a massa total. Em seguida foram submetidos a estufa a 110°C por 24 horas e pesados a cada 2 horas até que após duas pesagens sucessivas não houvesse alteração no peso do corpo de prova, conforme preconiza a ABNT NBR 9781/2013. Assim, no 28º dia foram realizados os testes de compressão (Figura 14).

Para comparação dos resultados foram pegos no mercado 3 blocos intertravado

Figura 13 – Pavers no tanque de imersão



Figura 14 – Corpos de prova rompidos



comumente comercializados, para servir como comparativo para os testes de absorção de água e resistência a compressão. Estes blocos utilizam brita 0 (zero), pó de brita, areia, cimento CPV-ARI e água com aditivo de estabilizador plastificante CQ Plast PM 5000.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 TESTE DE ABSORÇÃO D'ÁGUA

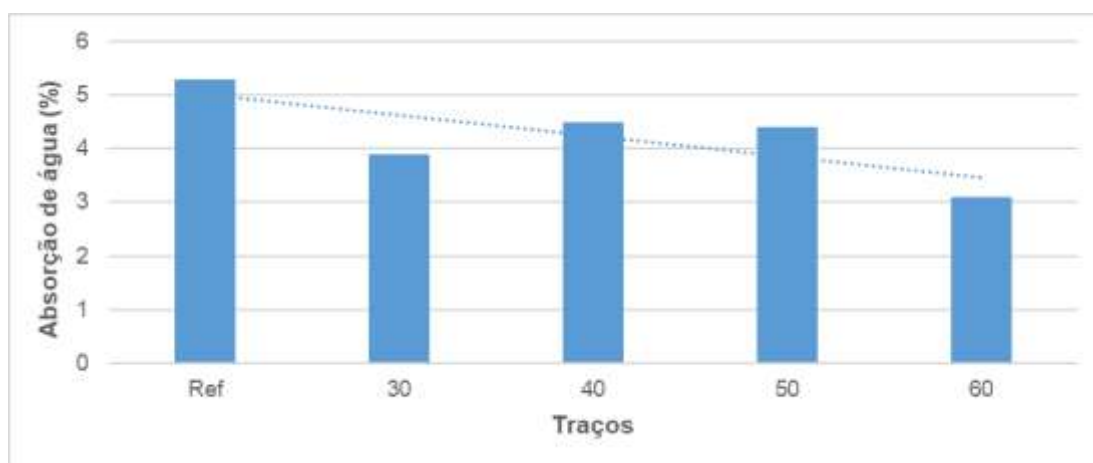
Os resultados do teste de absorção da água demonstram que todos os *pavers* atenderam aos requisitos da norma, sendo que ela estabelece o teor máximo de absorção em 6%. Pode-se também observar que os blocos de testes obtiveram menores valores comparados aos blocos comerciais utilizados como comparativo. Destes, os blocos com 60% de substituição obtiveram o menor valor de absorção (Tabela 1 e Figura 15).

Tabela 1 – Valores obtidos do teste de absorção

Absorção de água (%)										
%	Peso saturado (g)			Peso seco (g)			Absorção (%)			
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
Ref	3554,7	3654,2	3426,7	3383	3480,4	3234,3	5,1	5,0	5,9	5,3
30	2783	2805,8	2809,4	2677,4	2698,2	2708,2	3,9	4,0	3,7	3,9
40	2524,6	2479,6	2553,5	2425,9	2365	2444,5	4,1	4,8	4,5	4,5
50	2540	2522,1	2523,2	2429,8	2413,6	2424,9	4,5	4,5	4,1	4,4
60	2511,1	2585,6	2628,7	2485,1	2477,6	2531,3	1,0	4,4	3,8	3,1

É de importância mencionar que, a capacidade das conchas de moluscos em absorver um menor teor de água, se deve ao fato de sua estrutura de formação cristalina compacta do carbonato de cálcio, devido a este fator sua densidade é maior e detém menor capacidade de retenção de água devido sua baixa porosidade.

Figura 15 – Resultados do teste de absorção



Silva et al (2010) observou em sua pesquisa de caracterização de físico-química de moluscos bivalves que, em relação as conchas de mexilhões e ostras, embora as duas espécies sejam majoritariamente compostas de CaCO_3 , a estrutura dos cristais é diferente, sendo que os cristais de aragonita presente nos mexilhões são mais propensos a formar conjuntos entrelaçados, aumentando sua densidade, e por efeito diminuindo sua porosidade

3.2 TESTE DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

No que diz respeito a resistência à compressão, os resultados demonstraram que nenhum dos pavers fabricados atingiu o mínimo exigido pela Norma ABNT 9781/2013, visto que a Norma estabelece o mínimo de 35 MPa para ser utilizado no calçamento para pedestres, veículos leves e comerciais de linha. Entretanto, que o paver fornecido pela empresa e utilizado como comparativo teve o menor valor de resistência (16,1 MPa) comparado aos demais, desta forma, embora não tenha atendido a norma, os pavers com substituição por resíduos apresentaram uma melhor qualidade comparado ao comercializado pela fabricante de artefatos de cimento.

Esperava-se que os pavers convencionais, utilizados como comparativos, atingissem os requisitos mínimos apresentados pela norma ABNT NBR 9781/2013, na qual define a

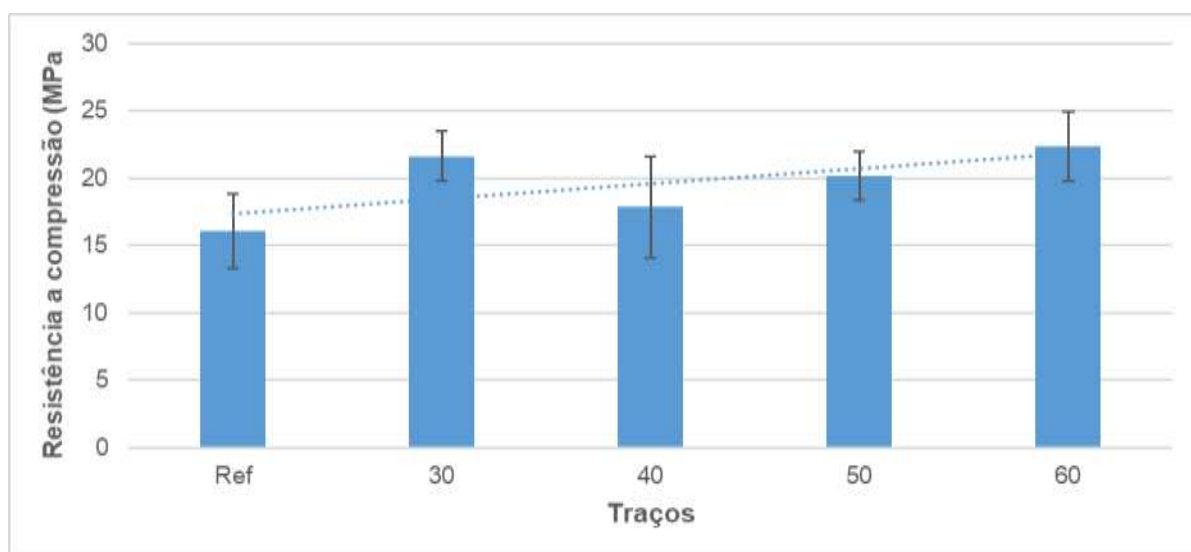
absorção máxima de água em 6% e resistência a compressão em 35 MPa. No entanto, não foi este o resultado obtido (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores obtidos do teste de compressão

Resistência a compressão (Mpa)					
%	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Desvio padrão
Ref	18	17,38	12,93	16,10	2,77
30	23,72	20,23	20,96	21,64	1,84
40	21,45	13,9	18,23	17,86	3,79
50	19,45	22,2	18,81	20,15	1,80
60	19,47	24,36	23,36	22,40	2,58

Dentre a composição do corpo de prova, destacou-se a composição em 60%, que apresentou a maior média da resistência, com 22,4 MPa. Em seguida, a substituição em 30% apresentou o segundo maior valor, com 21,64 MPa. A não linearidade dos valores de resistência em relação ao acréscimo das substituições percentuais deve-se, muito provavelmente a relação água/cimento, que tem grande importância na determinação da resistência. Foi possível observar durante a fabricação que o traço com 30% possuía um aspecto mais húmido e por isso teve sua resistência ligeiramente maior em relação a substituição de 40% e 50%. Outro fator importante notado foi o aspecto externo dos pavers, visto que os de 40% e 50% detinham algumas imperfeições de modo que sua superfície não possuía uma característica tão plana e regular quanto aos de 30% e 60%.

Figura 16 – Resistência a compressão.



Conforme constatado por Batista (2008), que a absorção de água é menor quando a proporção de pó de conchas é maior no traço e, que de acordo com o descrito por Araújo (2019), que a relação entre a resistência a compressão e a absorção de água são inversamente proporcionais, ao que se soma ao informado por Degen (2014), a trabalhabilidade do concreto é reduzida à medida que se adiciona o resíduo de rochas ornamentais (lodo de marmoraria) substituindo o cimento, é possível compreender a relação apresentada nos resultados.

4. CONCLUSÕES

Considerando os testes realizados e seus respectivos resultados, conclui-se que os pavers contendo diferentes substituições por resíduos de concha e lodo de marmoraria, apresentaram o mínimo solicitado pela NBR 9781/2013 para a absorção de água, sendo inferiores a 6%, entretanto, não atendeu os requisitos mínimos da resistência a compressão, sendo inferior a 35 MPa, desta forma os requisitos da Norma foram atendidos parcialmente. No entanto, é de importância destacar que os pavers fabricados com diferentes composições por resíduos obtiveram valores de resistência e absorção melhores do que pavers comerciais utilizados para comparação. Isso demonstra que os parâmetros para a comercialização são diferentes ao estabelecido pela Norma ABNT NBR 9781/2013, bem como também foi elucidado na pesquisa de Júnior (2022), no qual observou, ao realizar os testes de resistência e absorção, que os blocos comerciais utilizados como comparativo não atenderam os requisitos mínimos exigidos pela Norma.

Embora os blocos fabricados nessa pesquisa não tenham atingido plenamente os requisitos estabelecidos, é de importância destacar que a NBR 9781/2013 não especifica categorias de blocos de concreto para pavimentação para uso em calçadas ou ciclovias, o que gera uma discrepância com a realidade visto que os blocos intertravado são utilizados frequentemente em calçadas, praças e ciclovias. E estes que poderiam apresentar especificações mais brandas, terminam por ter que atender a especificações mais severas e serem igualados a usos que exigem mais do pavimento, como o tráfego de veículos. De acordo com a NBR 16416/2015 “Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos”, se estabelece que para uma categoria de tráfego de pedestres, poder-se-ia utilizar peças de concreto permeável com espessura de 60 mm (mesma espessura dos blocos elaborados nesse estudo) com resistência igual ou superior a 20 MPa.

Ainda merece destaque, a divergência entre o requisitado na Norma e o comumente comercializado, como foi observado nesta pesquisa, onde notou-se que os blocos comerciais não atingiram o mínimo exigido em resistência a compressão, foi também constatado por Júnior (2022), no qual na fase de testes dos blocos observou que os pavers comerciais utilizados como comparativo para o trabalho não atenderam o mínimo de 35 Mpa.

Conclui-se que a substituição de resíduos de concha e lodo de marmoraria para fabricação de pavers é viável, no entanto carece de mais estudos para atender especificamente o teste de compressão.

Para trabalhos futuros sugere-se a investigação do efeito da relação água/cimento sobre o fator na resistência a compressão, visto que seu efeito é significativo é de importância identificar a relação ideal para esses materiais, bem como testes com diferentes proporções reduzindo a quantidade de brita para avaliar os efeitos sobre a resistência considerando o papel fundamental desta em fornecer resistência, sugere-se igualmente que façam variações na quantidade de lodo de marmoraria, aumentando sua porcentagem visto que este resíduo diminui o índice de vazios no concreto.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. M. Análise da influência do resíduo da lama de marmoraria como elemento de substituição parcial do cimento nas propriedades do concreto. 2019. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da UFMG, [S. l.], 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Peças de concreto para pavimentação – Especificação e Métodos para Ensaio. ABNT NBR 9781/2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland – Requisitos. ABNT NBR 16697/2018.
- BATISTA, B. B. “Bloco Verde”: reaproveitamento de resíduos da construção civil e de conchas de ostras e mariscos. 1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves, 29 out. 2008.
- DEGEN, M. K.; VIEIRA, G. L.; CALMON, J. L.; ULIANA, J. G.; BASTOS, R. S. Concretos produzidos com resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais como substituto parcial de cimento. Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto, 2013.
- EPAGRI. EPAGRI 30 ANOS: Colocamos a maricultura catarinense em primeiro lugar no Brasil. EPAGRI - MÍDIA, Santa Catarina, p. 1-1, 11 nov. 2021. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/11/11/epagri-30-anos-colocamos-a-maricultura-catarinense-em-primeiro-lugar-no-brasil/>. Acesso em: 24 maio 2022.
- HAMESTER, M. R. R.; BECKER, D. OBTENÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO A PARTIR DE CONCHAS DE MARISCOS. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat, Campos do Jordão, SP, 25 nov. 2010.
- JÚNIOR, M. C. P. Utilização de resíduo de conchas de sururu da comunidade pesqueira ilha de deus em substituição parcial à areia na fabricação de peças de piso intertravado. 2022. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco., [S. l.], 2022.
- RADAVELLI, Karine Ana. Análise do processo de gestão da mitilicultura nos municípios de Penha e Palhoça, Santa Catarina. 2015. Dissertação (Mestrado) - UNIVERSIDADE DO VALE DE ITAJAÍ, [S. l.], 2015.
- SILVA, D; DEBACHER, N. A; JUNIOR; CASTILHOS A. B.; ROHERS, F. Caracterização físico-química e micro estrutural de conchas de moluscos bivalves provenientes de cultivos da região litorânea da Ilha de Santa Catarina. Quim. Nova, [s. l.], v. 33, ed. 05, p. 1053-1058, 3 maio 2010.