

Influência da Composição Mineralógica de Rochas Matrizes nas Propriedades Físico-químicas e Mecânicas de Agregados Beneficiados para a Pavimentação

Priscilla Meurer

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Joinville, Brasil, pri.meurer@gmail.com.

Breno Barra Salgado

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Joinville, Brasil, breno.barra@ufsc.br.

Marcelo Heidemann

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Joinville, Brasil, marcelo.heidemann@ufsc.br.

Yader A. Guerrero Pérez

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Joinville, Brasil, guerrero.y@ufsc.br.

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo das ocorrências geológicas do Norte do Estado de Santa Catarina, mais especificamente da região metropolitana de Joinville, correlacionando a composição mineralógica dos materiais rochosos aos parâmetros mecânicos e químicos necessários para a aplicação como agregados em obras de pavimentação. Entre as diversas empresas atuantes no fornecimento de materiais pétreos à região de estudo, selecionou-se quatro que apresentam longos horizontes estimados de exploração e boa capacidade de extração e beneficiamento dos mesmos. O estímulo para a realização desta pesquisa é proveniente do grande volume de cargas transportadas pelo modal rodoviário que, conseqüentemente, ocasiona a demanda de projetos de infraestrutura compatíveis ao tráfego cada vez mais intenso. Portanto os materiais selecionados devem possuir propriedades capazes de resistir às solicitações impostas, a fim de compor uma estrutura estável e duradoura. A metodologia adotada engloba uma campanha experimental, por meio da realização do ensaio de lâmina petrográfica juntamente com três ensaios essenciais que limitam a utilização dos agregados para a pavimentação: desgaste por abrasão Los Angeles, resistência ao ataque químico e adesividade ao ligante betuminoso. Os resultados desta pesquisa evidenciaram que a composição mineralógica da rocha possui grande influência nos parâmetros de resistência e afinidade química das partículas. A partir das percentagens dos minerais presentes nas amostras, obtidas através da contagem modal volumétrica, foi possível correlacionar os baixos índices de desgaste dos agregados à maior presença de quartzo, bem como verificar que elevadas concentrações de biotita resultam em menor resistência mecânica. A existência de grandes concentrações de clorita e sericita em uma das amostras justifica a baixa resistência ao ataque químico através de uma solução de sulfato de sódio. Outro ponto averiguado é a má adesividade entre os agregados e o ligante betuminoso, o que é possivelmente explicado devido à elevada presença de dióxido de silício, elemento principal para a formação do quartzo, nas amostras. Este elemento químico normalmente acarreta em carga elétrica negativa e, conseqüentemente, não favorece a formação de um dipolo entre as cargas, em razão de os ligantes asfálticos, de modo geral, também apresentarem cargas negativas. Assim, a presença e frequência de ocorrência de certos minerais justificaram comportamentos específicos no que se refere à resistência ao choque mecânicos e ataque químico.

PALAVRAS-CHAVE: composição mineralógica, materiais rochosos, pavimentação.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de pesquisas direcionadas aos materiais aplicados à pavimentação tem adquirido destaque no cenário atual, sempre objetivando o aperfeiçoamento dos componentes utilizados. Em virtude do constante aumento de tráfego e da intensidade das cargas transportadas pelo modal rodoviário, tem-se evidenciado a necessidade de pavimentos mais resistentes.

A estrutura de um pavimento é predominantemente composta por materiais rochosos, esses são os responsáveis por fornecer adequada resistência para suportar as solicitações oriundas do tráfego. Desse modo, os agregados utilizados em obras de pavimentos devem atender as especificações do DNIT. O entendimento das características mecânicas dos materiais pétreos a história parece ser facilitada quando interpretada à luz da história geológica destes materiais.

A região metropolitana de Joinville, no estado de Santa Catarina, foi definida como a área de estudo e a pesquisa foi direcionada às quatro principais jazidas fornecedoras de materiais rochosos. Foram verificadas as principais diretrizes para a aplicação dos agregados em pavimentação: desgaste por abrasão Los Angeles, resistência ao ataque químico e adesividade ao ligante betuminoso. Estas propriedades mecânicas e físico-químicas avaliadas neste estudo foram correlacionadas com a composição mineralógicas dos materiais, determinadas através de lâminas petrográficas.

2 MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE JOINVILLE

De acordo com Hartmann (1979) *apud* Scheibe (1986), a região metropolitana de Joinville está localizada no Complexo Granulítico Santa Catarina, que é constituído por rochas metamórficas de alto grau, dos fácies anfibolitos em especial granulitos. No estado de Santa Catarina o afloramento possui uma área de aproximadamente 8.500 km².

Segundo Ternes *et al.* (2001), o embasamento geológico do município de Joinville formou-se há aproximadamente 2.700 milhões de anos, a partir da cristalização de algumas rochas que hoje se localizam no Complexo Granulítico Santa Catarina. Sua geomorfologia é constituída pelo planalto formado entre a Serra do Mar e seu contraforte e por planícies, com alguns morros isolados.

Na região de estudo ocorrem intensos processo de intemperismo, que dão origem a espessos perfis de alteração. Normalmente encontram-se solos residuais com textura predominantemente argilosa e siltosa.

Todas as jazidas deste trabalho estão localizadas próximas ao município de Joinville, desse modo a utilização dos seus materiais rochosos apresenta, do ponto de vista logístico, uma adequada relação custo-benefício para a aplicação em obras de pavimentação da região. A Figura 2.1 ilustra o posicionamento das jazidas em relação ao município de Joinville.

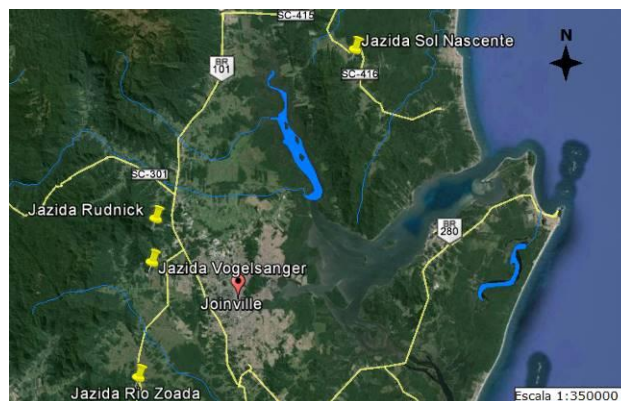


Figura 2.1. Localização das jazidas em relação ao município de Joinville. Fonte: MEURER, (2015b).

3 CAMPANHA EXPERIMENTAL

O processo de análises dos materiais foi desenvolvido no Laboratório de Técnicas de Infraestrutura (LTI) da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Joinville. Exceção às análises de lâminas petrográficas, realizadas em parceria com o Laboratório de Microscopia Ótica (LMO) da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.1 Lâmina Petrográfica

Os materiais pétreos são estruturas que apresentam em sua composição diferentes minerais. Suas características físicas e químicas são influenciadas pelos minerais existentes em sua composição, e esta depende basicamente dos processos de formação da rocha e possíveis processos metamórficos subsequentes. Desse modo, a realização da análise petrográfica fornece um indicativo da composição mineralógica, e assim pode-se explicar, com base na mineralogia, o comportamento dos agregados quando submetidos à determinadas ações. Por exemplo, alguns minerais apresentam-se mais ou menos resistentes ao polimento quando utilizados em pavimentação (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Para a coleta das amostras, foram selecionados blocos rochosos oriundos dos britadores primários de cada uma das jazidas. Estes blocos precisavam permitir uma descrição macroscópica representativa dos materiais que compõem a rocha sã. Foram confeccionadas cinco lâminas devido à jazida Rio Zoada apresentar heterogeneidade significativa na sua frente de exploração, optando-se por analisar duas amostras dessa jazida. A Figura 3.1 ilustra as lâminas delgadas e os fragmentos de rocha dos quais foram extraídas.

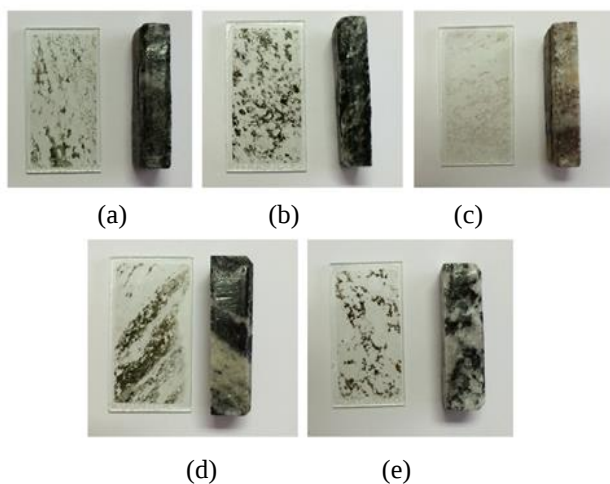


Figura 3.1. Lâminas Delgadas e os testemunhos da rocha: (a) Vogelsanger; (b) Rio Zoada Escura; (c) Rio Zoada Clara; (d) Rudnick; (e) Sol Nascente.

As análises das lâminas petrográficas foram executadas no laboratório de microscopia ótica da UFSC, tendo sido efetuadas a descrição

macro e microscópica dos minerais existentes, a classificação petrográfica da rocha e a contagem modal. A Figura 3.2 apresenta os percentuais dos minerais que compõem as amostras obtidas através da contagem modal com 200 pontos e a nomenclatura adotada para cada uma das rochas

Dentre todas as amostras, somente a jazida Sol Nascente foi classificada como uma rocha ígnea, sendo as demais classificadas como rochas metamórficas.

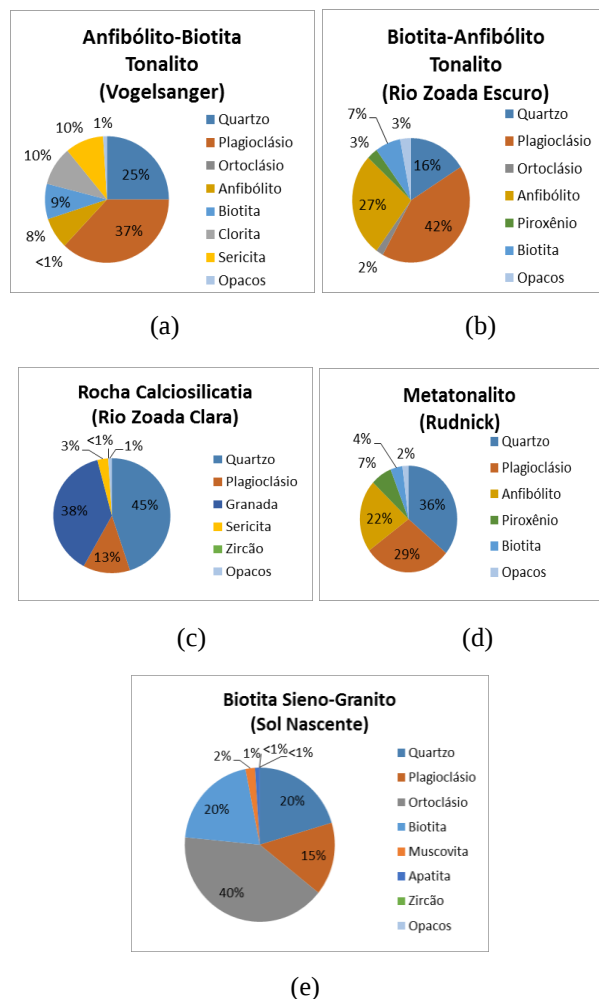


Figura 3.2. Composição Mineralógica dos materiais empregados.

Na amostra da jazida Vogelsanger foi identificada elevada presença de clorita (10%), essa normalmente orientada em aglomerados associados ao anfibólito e biotita, por ser um produto da alteração desses minerais. Também deve ser ressaltada a grande presença de sericita (10%), formada na intemperização do plagioclásio. Na Figura 3.3 é possível identificar minerais de coloração verde, que

correspondem à clorita e anfíbolito. Já os minerais castanhos referem-se às biotitas.

Na amostra mais representativa (escura) da jazida Rio Zoada constatou-se que os plagioclásios existentes estão comumente alterados pelos processos de sericitização, e que a biotita está associada ao anfíbolito e se encontra cloritizada.

Na segunda amostra dessa jazida identificou-se um elevado percentual de granada. Esse é um mineral secundário, que conseqüentemente representa elevado grau de alteração da amostra. A Figura 3.4 ilustra a amostra de material com elevado percentual de Granada.

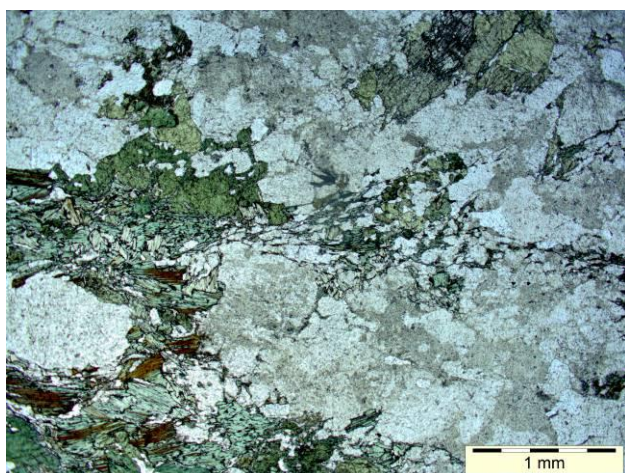


Figura 3.3. Fotomicrografias da jazida Vogelsanger.

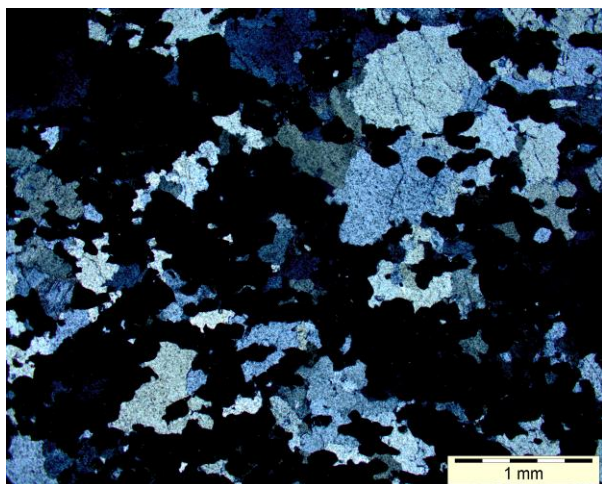


Figura 3.4. Fotomicrografia sob nicóis cruzados, a Granada fica totalmente extinta.

O material da jazida Rudnick apresentou uma estrutura bandada, porém este não recebeu a classificação de gnaiss devido a sua mineralogia não apresentar uma percentagem

significativa de feldspatos alcalinos, e também por apresentar elevada presença de anfíbolito.

A composição mineralógica do material da jazida Sol Nascente revelou a elevada presença de biotita, e ausência de minerais secundários. Por consequência fica evidenciado um baixo grau de alteração da amostra.

Os resultados apresentados neste trabalho são referentes às amostras ensaiadas, logo não se pode estender essa composição mineralógica, de forma definitiva, a todo o maciço, pois os materiais naturais normalmente apresentam heterogeneidade em sua composição.

No entanto, as composições mineralógicas obtidas dizem respeito às amostras ensaiadas para determinação do comportamento físico (mecânico) e químico por meio de ensaios de desgaste por abrasão Los Angeles, resistência ao ataque químico e adesividade ao ligante betuminoso.

3.2 Desgaste por Abrasão Los Angeles

Este ensaio foi realizado com o intuito de obter a relação de perda de massa do material quando submetidos aos esforços mecânicos. Como já mencionado por Bernucci *et al.* (2006), os agregados são submetidos a esse tipo de desgaste no processo de exploração, no transporte e execução das estruturas e durante as solicitações de tráfego. Assim, é fundamental que estes materiais rochosos possuam capacidade de resistir aos esforços de atrito ou impacto, e conseqüentemente um baixo índice Los Angeles.

As amostras foram preparadas de acordo com a normativa DNER – ME 035/98, e a graduação utilizada é classificada como “B”. A Tabela 3.1 apresenta os resultados obtidos em duas determinações do ensaio de abrasão Los Angeles, o período entre as coletas de amostras foi de aproximadamente de um ano.

Tabela 3.1. Resultado do Desgaste por Abrasão Los Angeles

Jazida	Desgaste por Abrasão	Desgaste por Abrasão
	Los Angeles (%)*	Los Angeles (%)**
Vogelsanger	12,54	13,70
Rio Zoada	13,85	13,70

Rudnick	13,92	14,20
Sol Nascente	20,76	21,00

Fonte: MEURER, (2015b)*; MEURER, (2015a)**.

Todas as jazidas de estudo apresentam resultados adequados para a aplicação em obras de pavimentação, pois de acordo com Bernucci *et al.* (2006), os limites aceitáveis estão entre 40 e 55%. A Figura 3.5 ilustra o material antes e após a realização do ensaio.

O maior índice de perda foi obtido com o material da jazida Sol Nascente, e verificando a sua composição mineralógica identificou-se uma elevada percentagem de biotita (20%).



Figura 3.5. Amostras do ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles: (a) antes; (b) depois.

Esse mineral possui uma dureza de aproximadamente 3 na escala Mohs, e em razão do seu formato lamelar apresenta maior facilidade de desagregação quando submetido ao choque mecânico. Também é importante ressaltar que o maior desgaste pode ser atribuído a pouca presença de quartzo na amostra, sendo este um mineral com dureza de aproximadamente 7.

3.3 Resistência ao Ataque Químico (Durabilidade)

A resistência ao intemperismo é uma condicionante importante para o envelhecimento e falha dos materiais aplicados a pavimentação, assim a realização desse ensaio tem como objetivo quantificar a perda de massa dos agregados quando submetido a cinco ciclos (alternados) de imersão em solução de sulfato de sódio e secagem em estufa. A Figura 3.6

apresenta o material durante o ciclo de imersão e secagem.

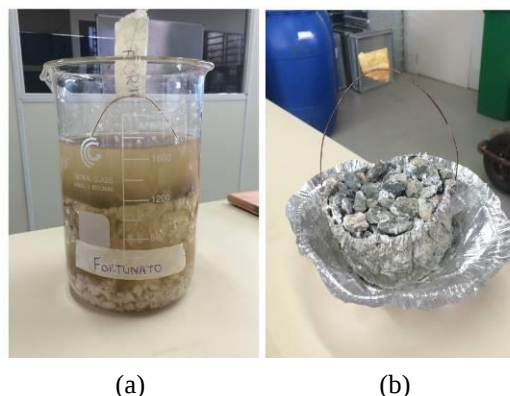


Figura 3.6. Ciclo: (a) imersão; (b) secagem da amostra da Jazida Sol Nascente.

As amostras foram compostas com as granulometrias de 19,1 – 12,7 mm e 12,7 – 9,5 mm, normatizada pela norma DNER – ME 89/94. A tabela 3.2 apresenta dos dados obtidos nos ensaios de durabilidade. O período entre as coletas das duas amostras foi de aproximadamente um ano.

Tabela 3.2. Resultados do ensaio de durabilidade.

Jazidas	Perda (%)*	Análise Qualitativa	Perda (%)**	Análise Qualitativa
Vogelsanger	1,95	Quebra	7,11	Quebra
Rio Zoada	0,93	Sem quebra	2,3	Sem quebra
Rudnick	0,84	Sem quebra	2,71	Sem quebra
Sol Nascente	0,62	Sem quebra	1,65	Sem quebra

Fonte: MEURER, (2015b)*; MEURER, (2015a)**.

Segundo Bernucci *et al.* (2006), para a utilização como material para pavimentação é definido um limite de 12% de perda por ataque químico. Portanto, todas as jazidas de estudo se enquadram na faixa de perdas aceitáveis.

A jazida Vogelsanger apresentou o maior percentual de perda no ensaio de durabilidade. Analisando esse comportamento à luz da mineralogia, parece razoável atribuí-lo à grande presença de clorita (10%). Esse é um mineral secundário que pode advir da alteração da biotita. O formato lamelar da biotita, sua baixa dureza e capacidade de absorção de água favoreceu o desgaste químico.

Também a elevada presença de sericita (10%) evidencia a ação da alteração dos plagioclásios existentes, o que contribui ainda mais para o desgaste através da solução de sulfato de sódio. Isso pode ser confirmado frente à fragilidade do material após o ensaio de sanidade. O material da jazida Vogelsanger foi o único a apresentar quebra das partículas quando submetidas à pressão dos dedos.

O pequeno desgaste sofrido pelo material da jazida Sol Nascente pode ser atribuído à presença de poucos minerais secundários em sua composição. A biotita presente no material mostra-se mais preservada e consequentemente o material rochoso é menos suscetível aos ciclos e imersão e secagem. Também pela elevada presença de ortoclásios, que possuem maior resistência ao intemperismo que os plagioclásios identificados em outras amostras, verificou-se uma menor perda por ataque químico durante a realização do ensaio.

3.4 Adesividade ao Ligante Betuminoso

De acordo com Baptista (1976), a adesividade pode ser definida como a maior ou menor resistência ao descolamento da película de ligante asfáltico que se forma em torno dos agregados. A aderência da película betuminosa ao agregado, quando este é submetido à ação da água, é um parâmetro determinante para a sua aplicação em estruturas de pavimentos.

De acordo com a norma DNER-ME 078/94, a adesividade é considerada satisfatória quando não existir descolamento da película betuminosa após 72 horas de imersão sob temperatura de 40°C.

O ensaio de adesividade proporcionou um resultado insatisfatório, ou seja, houve o descolamento da película betuminosa nas amostras de todas as jazidas de estudo. Assim foi necessário à realização do ensaio com a adição de “dope”, um aditivo químico que favorece a aderência entre a película e o agregado. Foram utilizadas 0,5% *Betudope TB100 da Ipiranga Asfalto*. Após a utilização do “dope” foi obtido um resultado satisfatório, não havendo descolamento da película betuminosa em nenhuma partícula do agregado.

O ensaio de lâmina petrográfica evidenciou a causa da má adesividade dos granitos e gnaisses ao ligante asfáltico. Isto ocorre devido a estas rochas possuírem percentual apreciável de quartzo, que provém da cristalização do dióxido de silício (SiO_2) sendo um composto químico formado sobretudo por cargas elétricas negativas. Na realidade, a adequada determinação da composição química (e não mineralógica) requer a execução de análises por fluorescência de Raio-X.

Em razão dos ligantes asfálticos apresentarem grande percentagem de carbono em sua composição, possuem também carga elétrica negativa, propiciando má adesividade do sistema agregado-betume. Entretanto, a aplicação de um aditivo melhorador de adesividade altera a carga elétrica do ligante betuminoso, acarretando a formação de um dipolo que favorece a adesividade, e consequentemente obtém-se uma boa atração elétrica entre o mineral e o ligante.

4 CONCLUSÕES

As formações geológicas da região de estudo mostram-se favoráveis à produção de agregados para a pavimentação, pois todos os materiais ensaiados enquadraram-se dentro dos limites de aceitação, impostos nas normas técnicas pertinentes.

A partir das análises mineralógicas dos materiais rochosos, pode-se identificar correlações entre as propriedades mecânicas e físico-químicas dos agregados e as suas composições.

A presença de Quartzo favorece a resistência, porém também está relacionada à eletronegatividade das rochas, e consequentemente relacionada à má adesividade ao ligante betuminoso. Também foi possível identificar que a presença de minerais secundários e micas conduz a uma menor resistência mecânica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Departamento de Geociências da UFSC pelo apoio oferecido nas

análises petrográficas dos materiais estudados.

REFERÊNCIAS

Baptista, C.N.; (1976). *Pavimentação*. Editado por Globo. 2ª Edição. Porto Alegre – RS.

Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G. da; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B.; (2006). *Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenharia*. Petrobras. Rio de Janeiro.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, (1994a). DNER- ME 078/94. *Agregados – Adesividade ao Ligante Betuminoso*.

_____, (1994b). DNER- ME 089/94. *Agregados – Avaliação da Durabilidade pelo emprego de soluções de Sulfato de Sódio ou de Magnésio*.

_____, (1998). DNER- ME 035/98. *Agregados – Determinação de Abrasão “Los Angeles”*.

Machado, F.B., (sd). *Banco de Dados – Museu “Heinz Ebert”*. Universidade Estadual Paulista – São Paulo – S.P. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/index.html>>. Acesso em: 2 de Nov, de 2015.

MEURER, P., (2015a). *Caracterização de Materiais Rochosos do Norte do Estado de Santa Catarina para fins de aplicação em Obras de Pavimentação*. Artigo publicado no 44ª RAPv (Reunião Anual de Pavimentação) / 18º ENACOR (Encontro Nacional de Conservação Rodoviária), Foz do Iguaçu.

MEURER, P. (2015b). *Caracterização de Materiais Rochosos do Norte de Santa Catarina para fins de Aplicação em Obras de Pavimentação*. Monografia, Centro de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina. 92 p.

Scheibe, L. F. (1986). *A Geologia de Santa Catarina – Sinopse Provisória*. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Departamento de geociências.

Ternes, A.; Neves, A.; Starling, D.; Nascimento, J.; Lopes, M.; Thomazi, M.; Gonçalves, M.; Sganzerla, N.; Brandes, O.; Thiago, R.; Roesler, R.; Niecikowski, S.; Oliveira, T.; Schuber, W.; Anderle, W. (2001). *Joinville 150 Anos*. Editado por Instituto Joinville 150 Anos. Joinville, Santa Catarina.