

# DESTINAÇÃO DE COPRODUTOS DO AÇO: ESCÓRIA DE ACIARIA E ESCÓRIA DE ALTO FORNO

Sarah Pereira Lima<sup>1</sup>

Marcelino Vieira Lopes<sup>2</sup>

## Resumo

O processo de fabricação do aço tem como consequência a geração das escórias de aciaria e alto forno que desafiam a gestão e a destinação correta desses resíduos. A escória de alto forno é considerada um coproduto devido ao seu reaproveitamento de forma benéfica e rentável. Algumas das suas aplicações são: matéria prima para cimenteiras, fabricação de catalisadores e pastilhas de freio. Em relação à escória de aciaria pode-se utilizá-las em melhorias de estradas vicinais, agricultura, lastro ferroviário e nivelamento de terrenos. Uma fiscalização das formas de utilização dos resíduos deve ser realizada, junto ao meio ambiente, uma vez que a destinação indevida pode causar impactos socioambientais, danos à imagem e multas a empresa. Os estudos consideram ainda a importância da logística reversa, pressupondo a necessidade de escolher e gerenciar um modal de transporte que minimize custos e dessa forma o transporte rodoviário é essencial na destinação dos resíduos, pois faz com que os veículos que chegam com matéria prima saiam carregados de escórias. Nesse sentido as siderúrgicas cada vez mais aprimoram seu estilo de gestão, desenvolvendo mecanismos de utilização dos resíduos gerados na fabricação do aço, evitando multas relativas a uma destinação ou armazenagem incorreta. Ao explorar de forma inteligente e organizada, os benefícios da escória de alto forno tornam possível a geração de receita como matéria prima para as cimenteiras. Por outro lado o reaproveitamento de forma sustentável da escória de aciaria desencadeia uma ação social junto ao setor público e a sociedade em geral ao doar a escória de aciaria para o uso em estradas vicinais. O presente trabalho visa realizar uma revisão de literatura apontando os principais usos para a escória de aciaria e alto forno bem como minimizar os impactos ambientais e analisar os aspectos econômicos que favoreçam o melhor reaproveitamento, influenciando na tomada de decisão sobre como destiná-los. A pesquisa exploratória foi realizada através de uma revisão bibliográfica. Foram extraídos da base de dados do recurso eletrônico Scielo e Science Direct, bem como em livros técnicos, legislação e publicações de entidades relacionadas à tecnologia do aço.

**Palavras-chave:** escória de aciaria, escória de alto forno, destinação de resíduos.

---

<sup>1</sup> LIMA, Sarah Pereira. Graduanda no Curso de Engenharia de Produção da Universidade Salgado de Oliveira. Juiz de Fora, MG, 2016.

<sup>2</sup> LOPES, Marcelino Vieira. Mestre em Engenharia de Materiais, Docente do Curso de Engenharia de Produção da Universidade Salgado de Oliveira. Juiz de Fora, MG, 2016.

## 1 Introdução

No Brasil, a área siderúrgica apresenta um grande potencial a ser explorado. O aço, por sua vez, trata-se de uma liga metálica que está presente no cotidiano das pessoas, principalmente pela sua grande durabilidade, segurança, baixo custo de produção, e ainda por sua capacidade de suportar uma tensão, de adquirir forma (ductilidade), de absorver impactos (tenacidade) de resistir à degradação (corrosão, desgaste) e possibilitar fácil acabamento superficial o que amplia consideravelmente a aplicabilidade no mundo atual, seja em peças diminutas a grandes estruturas como aviões, pontes e edifícios. Sua produção tem crescido cada vez mais e com isso tem ajudado a elevar a economia e a sociedade, seja em mão de obra que gera empregos, ou pela gama de fornecedores que se fazem necessário e até mesmo seus subprodutos siderúrgicos que podem ser reaproveitados (RIZZO, 2005).

Desde a década de noventa as siderúrgicas investiram US\$ 36,4 bilhões para modernizar tecnologicamente e atingir uma capacidade de produção maior, com a intenção de gerar 48 milhões de toneladas de aço. O Brasil possui o maior parque industrial de aço da América do Sul com um saldo comercial de 3,5 bilhões de dólares e uma estimativa de consumo per capita de 104 Kg de produtos siderúrgicos por pessoa. Sua atuação no mercado é notável e os principais setores consumidores do aço são o de construção civil, automotivo, máquinas e equipamentos, setor agrícola e também utilidades domésticas e comerciais (IABR, 2015). A partir desse cenário de investimento existe a preocupação e o interesse pela reciclagem e destinação dos resíduos industriais gerados pela siderurgia. A consciência ambiental imposta pela legislação tem crescido cada vez mais e vem contribuindo para todo processo de destinação, levando em consideração a utilização de atividades logísticas, como o transporte, a estocagem e o manuseio de materiais. Um dos desafios é alinhar toda geração de resíduos, diminuindo o passivo nas usinas, evitando impactos, multas ambientais e se possível, gerar receita (RIZZO, 2005).

Estima-se que a produção de aço bruto mundial anual gera aproximadamente 30 milhões de toneladas de resíduos recicláveis (TAKANO et al., 2000) e que por tonelada produzida de aço gera-se entre 450 a 600 kg desses materiais variando de acordo com o processo. Entre esses resíduos podemos encontrar a geração das escórias de aciaria e de alto forno que representam aproximadamente 60% do total de resíduos e uma forma de destinação incorreta pode causar impactos ao meio ambiente e a sociedade, como também um elevado custo de armazenagem com a geração de passivo nas siderúrgicas (IABR, 2011). Portanto é essencial e necessário para a empresa atuar na destinação e comercialização formando ciclos

que buscam a utilização desses resíduos como matéria prima para fabricação de cimento, melhoria de estradas vicinais e até mesmo obter desenvolvimento de pesquisas, licenciamentos, autorizações e uma operacionalização adequada, do processo de controle dos resíduos gerados.

O presente trabalho visa realizar uma revisão de literatura, apontando os principais usos para a escória de aciaria e alto forno bem como minimizar os impactos ambientais e analisar os aspectos econômicos que favoreçam o melhor reaproveitamento, influenciando na tomada de decisão sobre como destiná-los.

## **2 Material e Métodos**

A pesquisa exploratória foi realizada através de uma revisão bibliográfica. Foram extraídos da base de dados do recurso eletrônico Scielo e Science Direct artigos, encontrados com as palavras chaves, escória de aciaria e alto forno, meio ambiente, destinação de resíduos, bem como em livros técnicos, legislação e publicações de entidades relacionadas à tecnologia do aço.

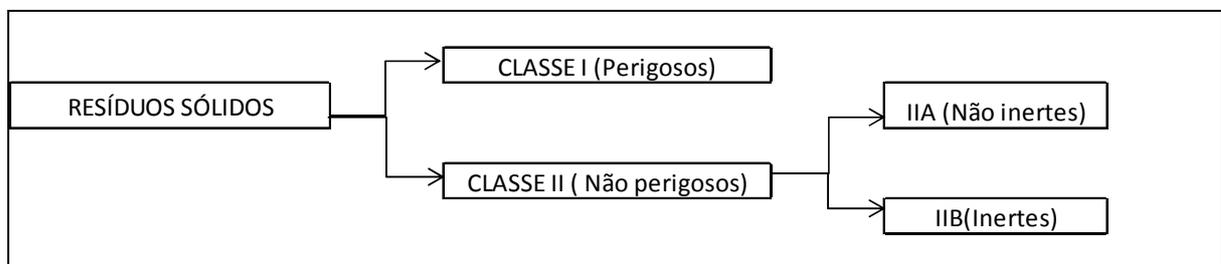
## **3 Referencial Teórico**

O processo de fabricação do aço inclui diversas etapas e cada uma delas é capaz de gerar diferentes resíduos. Os altos fornos são responsáveis pela produção do ferro gusa e utilizam como matéria prima principal o minério de ferro, carvão vegetal ou coque e fundentes como o calcário. A aciaria elétrica compõe-se pelos fornos elétricos a arco onde é feito a fusão da sucata metálica e o ferro gusa líquido ou sólido com a adição de fundentes, ferros-ligas, gases industriais e desoxidantes. O forno panela onde o aço é refinado e em seguida a máquina de lingotamento contínuo onde são produzidos os tarugos. Posteriormente os tarugos produzidos são reaquecidos e laminados no processo da área de laminação (RIZZO, 2005). A partir dos processos citados acima os resíduos são definidos e classificados de acordo com seus riscos ambientais e socioambientais. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que possui sua NBR 10004:2004 e juntamente com o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), com a resolução número 005/1993, definem resíduos sólidos como:

“Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os

lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.” (BARTHOLOMEU & CAIXETA FILHO, 2011).

Os resíduos sólidos são divididos em duas classes a Classe I e a Classe II: Os considerados como classe I precisam possuir no mínimo uma ou mais características como: corrosividade, toxicidade, inflamabilidade reatividade, e patogenicidade. Já os resíduos de Classe II, são os considerados não perigosos e se subdividem em Classe IIA que possuem características como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade da água. Os resíduos que ao serem realizados testes de solubilidade ficar constatado que não possuem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, mantendo a qualidade serão considerados Classe IIB. A Figura 1 ilustra a classificação (BARTHOLOMEU & CAIXETA FILHO, 2011).



**Figura 1:** Classificação de resíduos sólidos.

**Fonte:** Bartholomeu & Caixeta Filho (2011).

### 3.1 Escória

As escórias são resíduos provindos do processo de fabricação do aço e representam aproximadamente 60% de toda geração proveniente desse processo. A escória de alto forno provém do processo de redução dos óxidos ferrosos, nos altos fornos, possuindo uma densidade menor que o ferro gusa, matéria prima na fabricação de aço. A escória de aciaria é obtida em fornos elétricos e conversores a oxigênio, onde é realizada a fusão de ferro gusa com a sucata (CASTELO BRANCO, 2004).

Os coprodutos são resíduos considerados rentáveis a empresa, ou seja, produtos secundários que são gerados durante os processos de fabricação e podem posteriormente serem vendidos, tratados e explorados de forma a trazer benefícios, tanto a empresa quanto ao meio ambiente (CASTELO BRANCO, 2004).

### **3.2 Órgãos Ambientais e a legislação vigente**

A sigla CONAMA significa Conselho Nacional do Meio Ambiente, é um órgão que disponibiliza toda Política Nacional do meio ambiente, desde normas e critérios para licenciamento de atividades efetivas ou poluidoras, até julgar necessária a realização de estudos sobre consequências ambientais e decidir penalidades junto ao IBAMA. A sigla IBAMA significa Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis é o órgão responsável por executar a política nacional de meio ambiente, concedendo licenças ambientais, fiscalizando e preservando o meio ambiente. (BARTHOLOMEU & CAIXETA FILHO, 2011).

Com o intuito de preservar e fiscalizar a ação do homem com o meio ambiente as leis brasileiras estão entre as mais evoluídas e claras. As empresas podem sofrer punições, e serem forçadas a encerrar suas atividades, mas caso haja uma solução ambiental que reestruture o local prejudicado a punição poderá ser abolida. De acordo com o Art. 61 do Decreto 6.514, de 22 de julho de 2008 as multas por infrações ambientais partem de R\$5.000,00(cinco mil reais) e podem chegar a R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais) caso haja contaminação de solos e águas subterrâneas (LOPES, 2012).

A lei n. 6.938/1981 que esta entre as normas que regem as formas de destinação de resíduos, ressalta a Política Nacional do Meio Ambiente, e leva em consideração a conservação, melhoria e recuperação do meio ambiente visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana. Já a lei 9.605/98, que fala sobre crimes ambientais deixa clara que a responsabilidade pelo dano ambiental e a necessidade de reparar o dano caso ocorra cabe a empresa que será chamada para tratar qualquer passivo gerado devido à má gestão de resíduos (BARTHOLOMEU & CAIXETA FILHO, 2011).

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, bem como a importância da logística reversa que se

resume em aperfeiçoar e gerenciar e atividades de distribuição, buscando reduzir custos e modais que atendam as necessidades das organizações, entre eles estão o rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo que irão auxiliar não só a chegada de matérias primas mas também a saída de outros produtos das empresas, fazendo com os modais não retornem sem mercadoria (BARTHOLOMEU & CAIXETA FILHO, 2011).

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Principais utilizações das escórias e os benefícios proporcionados

Segundo o IABR (2011) para cada tonelada de aço produzido gera-se entre 450 kg e 600 kg de resíduos, ou seja, inicia-se então a preocupação com o volume gerado e sua forma de destinação. Como consequência do processo de fabricação do aço, as escórias de aciaria e escória de alto forno estão presentes de forma a desafiar a gestão e a destinação correta desses resíduos. Pesquisas demonstraram que a busca por novas utilizações das escórias são constantes e cada vez mais, com o avanço da tecnologia, é possível descobrir novas finalidades de reaproveitamento, porém é seguro apostar nas principais formas de utilização dos resíduos de escória de aciaria e alto forno que já estão de acordo com as leis vigentes.

Os números apontados pelo Instituto Brasileiro do Aço, que reúne dados das maiores produtoras de aço no Brasil mostraram que nos anos de 2014 e 2015 a escória de aciaria e alto forno representaram aproximadamente 60% de toda geração de subprodutos siderúrgicos e as aplicações principais das escórias giraram em produção de cimentos e nivelamento de terrenos bem como para base e sub-bases de estradas como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1:** Geração de coprodutos e aplicação das escórias.

Fonte: IABR (2016).

GERAÇÃO DE COPRODUTOS E RESÍDUOS POR TIPO			
Resíduos	2014	2015	MÉDIA
Pós e finos	6%	8%	7%
Escória de aciaria	8%	28%	18%
Escória de alto forno	40%	43%	42%
Outros	21%	15%	18%

APLICAÇÃO DOS AGREGADOS SIDERÚRGICOS POR TIPO DE ESCÓRIA	
Tipos de Aplicação	Porcentagem de utilização
Produção de cimento	60%
Nivelamento de terrenos	13%
Base e sub-base de estradas	16%
Uso Agrícola	3%
Lastro Ferroviário	1%
Outros	7%

Segundo o estudo realizado por Castelo Branco (2004) a escória de aciaria pode ser utilizada em revestimentos asfálticos, porém no Brasil não se faz o uso para essa finalidade, e

sim para pavimentação de estradas vicinais. Após a escória de aciaria passar por todo processo de tratamento ela é destinada para o setor público e a sociedade em forma de doação. O primeiro passo inicia-se em identificar se o cliente está apto a receber esse resíduo e principalmente avaliar a finalidade que ele propõe de forma a reaproveitá-lo, a avaliação é fundamental para evitar sua comercialização, utilizações indevidas ou que prejudiquem o meio ambiente, já que na maioria dos casos a escória de aciaria é doação. A fiscalização para avaliar se a escória está sendo utilizada corretamente, o que se faz através de auditorias presenciais e periódicas e também realiza-se um acompanhamento semanal dos clientes levando em consideração os fatores como a quantidade de escória expedida e a tendência para o fechamento do mês de acordo com as retiradas realizadas, visando também acompanhar mais de perto o cliente e incentivá-los a continuar retirando o material, suprimindo a necessidade de redução do passivo na usina.

Um dos fatores principais a ser lembrado é que a retirada de escória de aciaria não só gera uma ação social com o setor público de administração municipal e estadual, mas também evita o gasto com armazenagem desses resíduos na empresa.

De acordo com a Tabela 1 a média de geração de escória de aciaria gira em torno de 18% porém é importante ressaltar que esse valor irá variar de acordo com o processo da siderúrgica resultando em uma geração que pode ir de 70 kg a 170 kg desse resíduo.

Já a principal utilização da escória de alto forno hoje corresponde à fabricação de cimento, na qual é utilizada como matéria prima e traz benefícios não só as cimenteiras, mas também a própria empresa geradora, se tornando um coproduto, ou seja, um subproduto rentável. Rizzo (2005) cita a importância e a necessidade da utilização do granulador de escória, onde será resfriada tornando-as formatos de pequenos grãos e consequentemente agregando valor ao resíduo que poderá ser vendido e servirá de matéria prima, que é a principal destinação e para fabricação de catalisadores, e pastilhas de freio.

Segundo o IABR (2015) representando aproximadamente 42% de toda geração de resíduos do aço, a escória de alto forno deixa de ser um rejeito e contribui não só na minimização de custos de armazenamentos em pátios, mas também impacta positivamente uma vez que o valor arrecadado com a venda será utilizado para a diminuição do próprio custo de produção do ferro gusa líquido nos altos fornos.

Por outro lado, Geiseler (1996) constatou que a utilização das escórias de aciaria e alto forno na Europa tinham como principal destino a engenharia civil e ressaltou ainda que as plantas produtoras de aço da Alemanha mantiveram um giro de 70% de reaproveitamento de todas as escórias de alto forno geradas, pois não se investia em sua destinação.

Geiseler (1996) também citou em seu artigo que as escórias de aciaria são destinadas para uso em estradas e a escória de alto forno como matéria prima para cimenteiras. Dessa forma quando comparado ao Brasil, às utilizações das escórias possuem as finalidades semelhantes. Considerou também a utilização de escória de aciaria como fertilizante representando 16% de utilização na Europa que quando comparado aos estudos de Pupatto, Bill & Crusciol (2004) no Brasil reafirma a sua utilização de forma benéfica na agricultura não só como fertilizante, mas também como corretivo de acidez do solo. A tabela 2 ilustra os dados de utilização das escórias na Europa.

**Tabela 2:** Utilização da escória de aciaria e alto forno na Europa.

**Fonte:** Geiseler (1996).

UTILIZAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA E ESCÓRIA DE ALTO FORNO NA EUROPA				
Resíduos	ENGENHARIA CIVIL	MATERIALA GRANEL	FERTIUIZANTE	REUTILIZAÇÃO INTERNA
Escória de aciaria	42%	10%	16%	17%
Escória de alto forno *	66%	0%	0%	4%

\* A utilização de escória de alto forno gira em 70% devido as pequenas quantidades geradas de diversas plantas não justificando o investimento para reutilização.

#### 4.2 As leis vigentes e a destinação das escórias de aciaria e alto forno

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos fala sobre a importância da logística reversa e através dela é importante ressaltar o transporte rodoviário que viabiliza a destinação e utilização das escórias, uma vez que os transportes chegam com matéria prima e não voltam vazios, mas sim carregados de escória, assim durante o transporte, o motorista deve certificar-se de que o resíduo não esteja misturado e que as caçambas transportadoras estejam em condições de serem removidos sem ocorrência de vazamentos.

Já a lei 6.938/81, que se refere à Política Nacional do Meio Ambiente, e a lei 9.605/98, que fala sobre crimes ambientais, esclarece que a responsabilidade pelo impacto ao meio ambiente e a necessidade de reparar algum dano caso ocorra, cabe à empresa, que será chamada para tratar qualquer passivo gerado sendo de responsabilidade até a o seu destino final.

Segundo Zuquette (1993) a gestão ambiental busca formas de administrar uma região ou espaço com o intuito de manter a qualidade de vida evitando que os recursos naturais se esgotem ou preservando ao máximo os recursos não renováveis.

A preservação dos solos, da água e os recursos naturais disponíveis são fatores que também devem ser levados em consideração o que permite extrair que antes de se destinar e utilizar qualquer resíduo gerado é importante à análise de impacto ao meio ambiente.

Segundo o anexo seis que abrange a classificação sobre resíduos sólidos industriais da Resolução CONAMA número 313/02 (CONAMA, 2002), as escórias provenientes da produção de ferro e aço são classificadas como Classe II. Em seus estudos sobre a composição e utilização de escória de aciaria em estradas como pavimentação, Rodhe (2002) concluiu que a escória de aciaria é classificada como não inerte, ou seja, Classe II (não perigosos) expondo que não irá provocar riscos ao meio ambiente e a sociedade. Porém o fato do resíduo ser classificado como não perigoso, não o torna menos importante sob o olhar ambiental. E uma análise periódica da composição das escórias de aciaria deve ser realizada para manter os padrões de classificação.

Nesse sentido é imprescindível uma gestão que vá além da geração do resíduo e preze a forma correta de armazenamento com um possível desenvolvimento para novas utilizações, sua possibilidade de comercialização, e a fiscalização que acompanha até a destinação final dos resíduos.

## **5 Conclusão**

A venda de escória de alto forno como matéria prima na fabricação de cimento reduz diretamente o custo de produção de ferro gusa líquido nos altos fornos, e a granulação da escória permite ainda outras destinações como o uso para fabricação de catalisadores e pastilhas de freio.

Por outro lado a escória de aciaria não gera receita, mas economiza gastos com armazenagem em pátios e locais apropriados possibilitando uma ação social junto ao setor público de administração municipal e a sociedade, que poderá utilizá-la em pavimentação de estradas vicinais. A escória de aciaria traz também benefícios à agricultura.

Dos resultados discutidos pode-se estabelecer uma relação entre a utilização de escória de aciaria e alto forno na Europa e no Brasil, demonstrando que as formas de utilização funcionam a nível mundial.

A escória de aciaria ainda deixa a desejar em valores rentáveis para as empresas no Brasil e novas formas de utilizá-las ainda precisam ser desenvolvidas.

## 6 Referências

BARTOLOMEU, D.; CAIXETA-FILHO, J. **Logística ambiental de resíduos sólidos**. São Paulo: Atlas, 2011.

CASTELO BRANCO, V. T. F. **Caracterização de Misturas Asfálticas Com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado**. 2004. Tese (Pós Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

IABR. **Relatório de sustentabilidade**. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/>> Acesso em: 20 set 2016.

GEISELER, J. **Use of steelworks slag in Europe**. Great Britain: Elsevier Science. 1996.

LOPES, M. V. **Caracterização de Sínter de Minério de Ferro para Uso em Altos -Fornos a Carvão Vegetal**. 2012. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais.

MINAS GERAIS (Estado). Decreto nº 313, de 29 de outubro de 2002. **Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais: Anexo II**.

PUPATTO, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, A. C. **Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias**, São Paulo: Botucatu, 2004.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos processos siderúrgicos: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais**. São Paulo: Campo Belo, 2005.

RODHE, L. **Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos- estudo laboratorial**. 2002. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

TAKANO, Cyro et al., **A reciclagem de resíduos siderúrgicos sólidos**. Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.

ZUQUETTE, L. V. **A importância do mapeamento geotécnico no uso e na ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. 1993. (Tese de Livre Docência). Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.