

TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE GRÃOS PARA O PORTO DE SANTOS: ESTUDO DE VIABILIDADE E SEGURANÇA OPERACIONAL

EDUARDO LUSTOZA¹, AUREO EMANUEL PASQUALETO FIGUEIREDO², ALDO RAMOS SANTOS³,
MARLENE SILVA DE MORAES⁴ e DEOVALDO DE MORAES JUNIOR⁵

¹Mestrando UNISANTA, Santos-SP, lustoza@elusengenharia.com.br;

²Dr. Prof. UNISANTA, Santos-SP, aureo@unisanta.br;

³Dr., Prof. UNISANTA, Santos-SP, rsantos@unisanta.br;

⁴Dr. Prof. UNISANTA, Santos-SP, marlene@unisanta.br;

⁵Dr. Prof. UNISANTA, Santos-SP, deovaldo@unisanta.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
Palmas/TO – Brasil
17 a 19 de setembro de 2019

RESUMO: Pelo Porto de Santos escoam-se a cada safra mais de 30 milhões de toneladas de soja e grãos vegetais. Há potencial de ampliação dessa produção, com grandes investimentos em andamento para suprir a deficiência da infraestrutura viária, no paradoxo de rodovias congestionadas 2,6 milhões de viagens de caminhões/ano e ferrovias subutilizadas com 387 mil vagões/ano. As condições geográficas do acesso, principalmente no desnível de cerca de 800m na encosta do divisor de águas no planalto paulista e a baixada santista, etapa final de aproximação ao porto, constituem-se simultaneamente tanto em fator de atenção e cuidados dos que por ali transitam quanto de aproveitamento do potencial energético gravitacional pelo auxílio de rampa. Neste trabalho estudou-se a viabilidade de complexo logístico intermodal com utilização de sistema de transporte pneumático de grãos a granel, mantendo-se a integridade comercial de características do produto e com a segurança de movimentação, simulado em unidade piloto do laboratório da Universidade Santa Cecília, para soja. Os resultados obtidos demonstram que, com a necessária tecnologia, o modal dutoviário pode contribuir ao escoamento de soja com eficiência, segurança e sustentabilidade ambiental, racionalizando na intermodalidade o fluxo rodoferroviário aos portos.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema logístico. Sistemas de Transportes Inteligentes. Transporte pneumático de grãos. Integridade de produto. Contexto segurança e seguros.

PNEUMATIC TRANSPORT OF GRAINBULK FOR THE PORT OF SANTOS. STUDY OF VIABILITY AND OPERATIONAL SAFETY.

ABSTRACT: At each harvest, more than 30 million tons of soybeans and vegetable bulks are moved in the port of Santos. There is a potential for expansion of this production, with large investments under way to overcome deficiencies in road infrastructure, facing the paradox of congested highways 2,6 million truck trips per year and underutilized railways 800 thousand railroad wagons trips per year. The geographical conditions of access to the port, mainly with an elevation of about 800m on the slope of the watershed on the São Paulo plateau and the Santos coast, the final step of approaching the port, constitute both a factor of attention and care to the traffic as well as the use of the gravitational energy potential by the aid of rail. In this work we studied the feasibility of logistical complex with use of system of pneumatic transport of bulk grain, maintaining business integrity of the product characteristics and the safety essential for this movement, simulated in laboratory pilot unit of the University Santa Cecília, for soy. The results obtained demonstrate that, with the appropriate technology, the pneumatic modal can contribute to the disposal of soybeans with efficiency and safety, environmental sustainability, rationalizing in intermodal road and rail flow to the ports.

KEYWORDS: Logistical system. Intelligent Transportation Systems. Pneumatic transport of grain. Product Integrity. Framework security-safety-insurance.

INTRODUÇÃO

A demanda mundial por alimentos decorrente do crescimento da população requer aumento compatível da cadeia produtiva. O emprego de novas tecnologias fundamenta procedimentos aperfeiçoados desde a caracterização de áreas e monitoramento do cultivo, sistemas de colheita mecanizada, infraestrutura de armazenamento e intermodalidade do escoamento em ITS – Sistemas de Transportes Inteligentes e, na ponta de entrega, infraestrutura portuária dotada de automação para atender com eficiência a volumes crescentes.

Paradoxalmente observam-se realidades distintas contrapondo iniciativas em sistemas modernos a situações de reduzida eficiência, notadamente na deterioração e obsolescência da infraestrutura viária, em decorrência de baixa disponibilidade de investimentos públicos. Essa filosofia superada compartilha matriz de transporte desbalanceada, com rodovias congestionadas e perigosas e ferrovias demandando modernização, na situação que Gonçalves 2019 se refere como “O Brasil tem muito trilho e pouco trem” que limitam o escoamento da safra, gerando grandes problemas nas regiões urbanas e portuárias.

No Porto de Santos, o maior da América Latina, terminais privados se modernizam e alcançam padrão de movimentação de grãos em massa de 75 % ferrovia x 25 % rodovia, muito superior à média obtida por outras cargas.

Nessa faina de deslocamento da safra, após percorrer centenas e até milhares de quilômetros, o trecho final de trinta quilômetros até o porto de Santos envolve percurso com desnível de até 800m, que requer atenção redobrada para a movimentação de 2,6 milhões de viagens de caminhão por ano. Por ferrovia, mobilizam-se 387 mil viagens de vagões ferroviários.

Para o modal ferroviário, a descida é feita em um sistema por rampa de 2 % e composições com reforço de locomotivas para tração/frenagem. No outro, em rampa média de 10% com locomotivas de tração elétrica atuando em cremalheira tripla (80 %) - aderência (20%), implantado há 45 anos ainda ao tempo da Rede Ferroviária Federal.

Situados na chamada Serra do Mar, é de interesse ambiental e integram Parque Ambiental com Mata Atlântica em excelente estado, que apresenta pluviosidade dentre as maiores do mundo, atingindo até 3 mil mm por ano. Conforme Monteiro (1973), da ordem de 2 a 3mil mm/ano.

Segundo a EMBRAPA (2018), a produção de soja no Brasil atingiu, na safra colhida em 2018, o recorde de 116,996 t, com taxa de crescimento médio de 13,4% nos últimos 20 anos, ocupando área plantada de 35,10 milhões de hectares com produtividade de 3,33t/ha. Historicamente, 47 % dos grãos (soja e milho) têm chegado aos portos através das ferrovias, melhorando assim os índices nacionais. Porém, a demanda crescente sem o correspondente investimento em infraestrutura colocou o Brasil na 55ª posição no *ranking* da *Logistics Index Performance 2016*, gerando prejuízos na ordem de R\$9,6 bilhões anuais, devido a falta de plataformas de integração intermodais.

A chegada diária de milhares de caminhões em suas diversas configurações com cavalos mecânicos, reboques e semirreboques e VCC Veículos Combinados de Carga acrescida do tráfego de automóveis pode exceder em períodos a capacidade das rodovias locais, ocasionando lentidão e até paralização. Se combinados em condições climáticas adversas como tempestades e ocorrência de neblina, estabelecem-se condições de baixa segurança ao tráfego.

Por outro lado, em condições de acumulação e atrasos dos veículos, navios graneleiros aguardam na barra do porto a oportunidade de desembarque de granéis minerais (fertilizantes) e embarque dos granéis vegetais.

Nó logístico intermodal, as instalações do porto trabalham diuturnamente para atender essa demanda e não raro ocorrem sinistros como incêndios em instalações de granéis sólidos e líquidos, requerendo avaliação de sobrecarga e manutenção de sistemas.

Assim, como o porto que já contava com diversos recursos de monitoramento e controle no âmbito do *ISPS Code*, sigla em inglês para o Código Internacional para Segurança de Navios e Instalações Portuárias, a situação motivou a universalização das bases do sistema de planejamento e controle, comunicação prévia de chegada, pátios reguladores e providências de acompanhamento das viagens desde a hinterlândia.

As medidas no âmbito do ITS – sigla em inglês para Sistemas de Transporte Inteligentes, consideram a utilização combinada de sistemas eletrônicos digitais, de comunicação integrada, leitores digitais de identificação, escâneres e outros. Assim, o sistema Portolog Cadeia Logística Portuária Inteligente, articulado com acompanhamento das viagens em portais ao longo das estradas, estabelecimento de horários previstos de chegada aos terminais reguladores, com compromisso e

penalização de atrasos, a situação segue em processo de aperfeiçoamento. O funcionamento eficiente é essencial, eis que em período de pico até 15 mil caminhões demandam por dia o Porto de Santos.

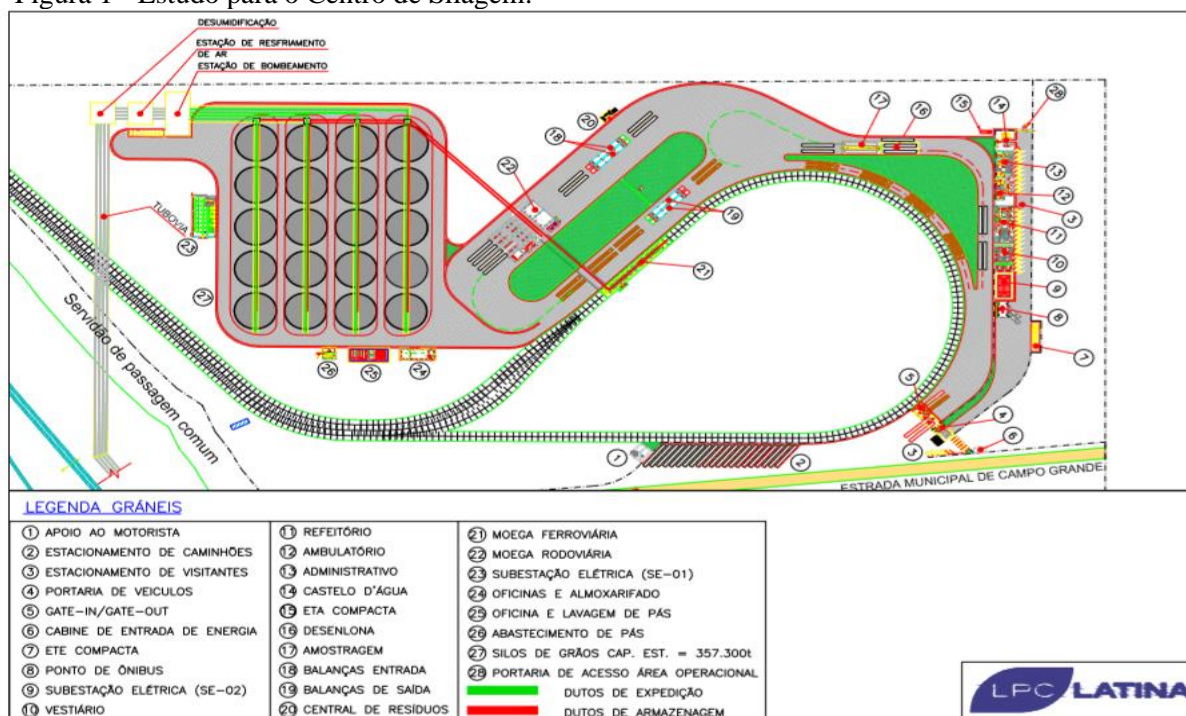
Nesse contexto, estudou-se a utilização alternativa de transporte pneumático de grãos vegetais, no interior de dutos de 254 mm de diâmetro, sob fase diluída, em percurso de 16 km, assentado sobre o traçado de um leito ferroviário desativado, transportando grãos até o porto de Santos, dentro das condições de segurança e integridade comercial e física do produto.

MATERIAL E MÉTODOS

Projeto Logístico Intermodal

O presente estudo considerou a implantação de um complexo logístico intermodal de recebimento de grãos num Centro de Silagem no Planalto Paulista (Figura 1) com acesso rodoferroviário em posição próxima ao ponto de início de descida da Serra do Mar.

Figura 1 - Estudo para o Centro de Silagem:



Trata-se de área privada nas imediações da antiga parada ferroviária denominada de Estação Campo Grande, no Município de Santo André.

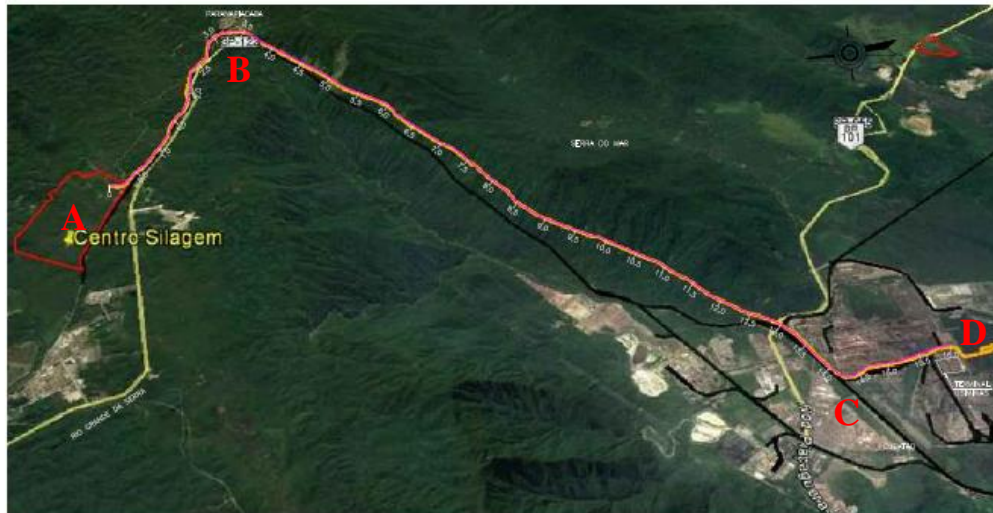
Esse local, contará com infraestrutura eficiente de recebimento de soja, a partir de via asfaltada que será dotado de pera ferroviária em bitola mista, moegas de descarga ferroviária, tombadores de caminhões com até 30 m para descarga por gravidade de VCC Veículos Combinados de Carga.

Para os motoristas haverá facilidades de permanência e apoio com salas de convívio, dependências de descanso.

O controle quantitativo será feito em balanças dinâmicas para determinação de massa. O controle qualitativo do produto será feito em centro laboratorial para avaliação da qualidade do produto (como densidade, umidade, grãos defeituosos ou quebrados e presença de impurezas). O centro contará também com instalações para a armazenagem pré-envio para embarque com destino para exportação.

O sistema de transporte pneumático será composto por três seguimentos distintos integrando origem e destino da carga: Centro de Silagem, sistema grãodutoviário e o sistema receptor portuário. A infraestrutura dutoviária é formada por rede de dutos com diâmetro de 254 mm de diâmetro, integrando o planalto paulista ao Porto de Santos (Figura 2).

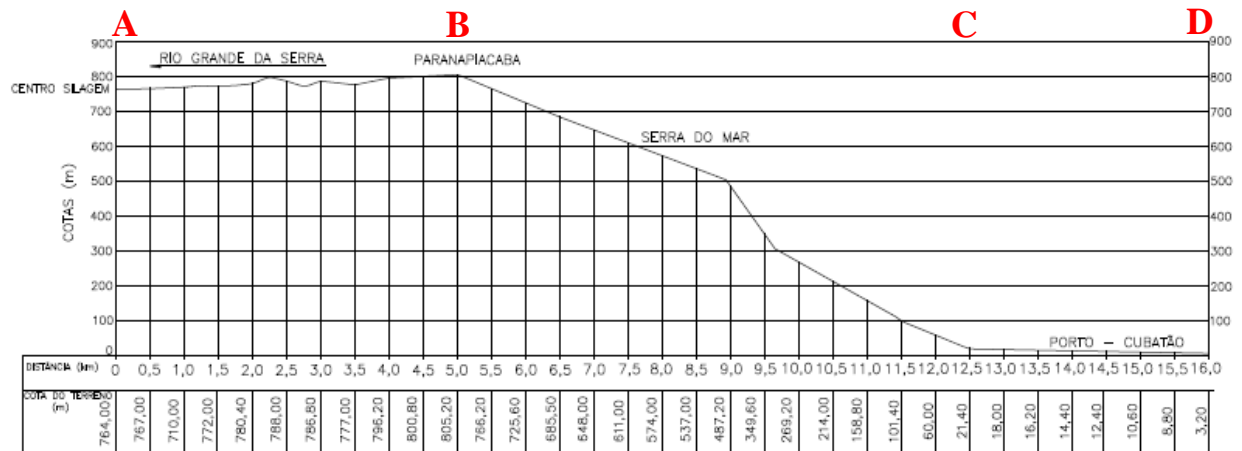
Figura 2 - Possibilidade de traçado de implantação de sistema pneumático:



Fonte: LPC Latina

Para o traçado, a partir do Centro de Silagem (A) considera-se utilizar faixa contígua à linha férrea em acive suave até Paranapiacaba (B), onde inicia a descida pelo ramal do antigo funicular, por cerca de 10 km em declive com rampa média de 8% até atingir a Baixada (C) onde se desenvolve praticamente em nível até a posição do porto (D) nas imediações, também replicada resumidamente temos na Figura 3, os pontos notáveis, altitudes e rampa média.

Figura 3. Perfil longitudinal correspondente ao traçado apresentado na Figura 2.



Fonte: LPC Latina Engenharia

A utilização do leito ferroviário e túneis considera o aproveitamento dessas obras de arte e para os viadutos deverão ser dimensionadas estruturas metálicas esbeltas utilizando onde disponíveis os apoios extremos nos encontros dos antigos viadutos. Como as cargas são parcela mínima das que por ali circularam na ferrovia, as solicitações serão proporcionalmente baixas em relevo e leito antropizado e consolidado, prescindindo de maiores intervenções nas encostas.

Framework SSI Security, Safety, Insurance.

Sistemas complexos devem ser considerados com atenção e cuidado. É o caso da movimentação de produtos que produzam em seu deslocamento poeiras que, sem os devidos cuidados podem originar atmosferas explosivas.

Compreender e identificar os riscos aponta para o procedimento específico de considerar, desde o projeto, medidas e soluções que eliminem, tratem os riscos, na busca de um funcionamento seguro e regular. Riscos adicionais no espectro da baixa previsibilidade podem ser terceirizados na forma de apólices de seguro.

Nesse contexto Hoefflich et al 2014 caracterizam como a importância do gerenciamento de riscos orgânicos cuja efetividade se apresenta em “Aumenta a probabilidade de êxito e reduz tanto a probabilidade de fracasso como a incerteza de obtenção de todos os objetivos globais da organização, além de prover ferramentas de decisão para a securitização de riscos extraordinários”.

Essa interação e integração de conceitos e funcionamento consubstancia o que Figueiredo (2015), se refere como: “Desenvolvimento e segurança estão intrinsecamente relacionados. O atendimento de regras de segurança é um dos fundamentos para o desenvolvimento permanente e sustentável.

E, na enunciação do *framework SSI* “Dentre diversas abordagens de segurança, destacam-se três tipos de interesse direto deste trabalho:

- a) Segurança — Refere-se a um estado de “sentir-se seguro”. Este termo é referido na língua inglesa como *Security*, abrange a segurança de dados, patrimonial, entre outros.
- b) Segurança Assecurativa – Eliminação, mitigação e terceirização de risco extraordinários por seguros. Este termo é referido na língua inglesa como *Insurance*.
- c) Segurança física, relacionado à dimensão física de pessoas e ambientes. Este termo é referido na língua inglesa como *Safety*.”

Na aplicação desse *framework* ao projeto são considerados para a Segurança global dos sistemas e processos: Pesagem dinâmica, transformação e distribuição de energia elétrica, sistemas de proteção e aterramento, atendimento às NR 10, NR 12 e NR13, equipamentos blindados e projetados para esse fim, sistemas de ventilação e exaustão, envelopamento de dutos, vigilância e segurança patrimonial, monitoramento permanente de todo o sistema, monitoramento e controle de estabilidade do maciço.

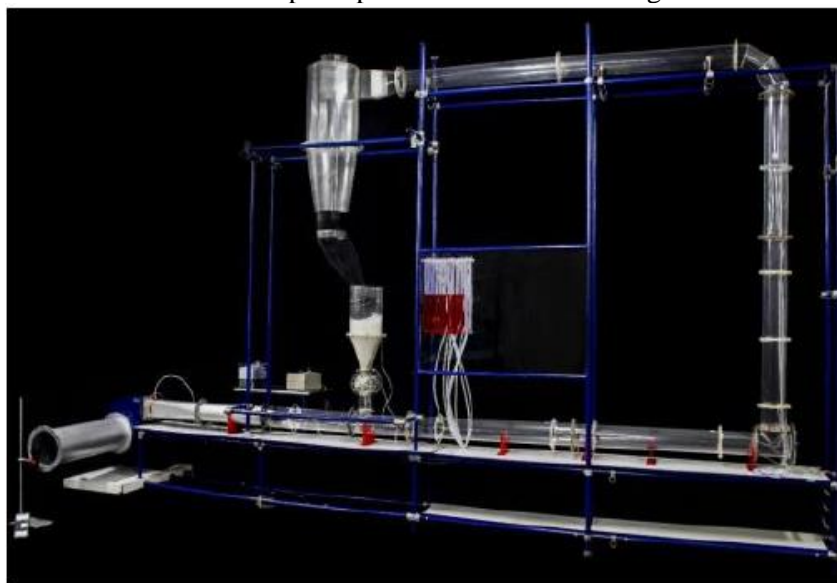
Para atender essa demanda fundamental, tem-se como premissa de projeto que a especificação de componentes notadamente as instalações elétricas e sistemas que evitem a formação de poeiras são orientados a restringir a classificação de áreas focando nos processos.

Observa-se, nesse sentido as considerações formuladas e valorizadas por Lodal e Mize (2016), dentro da metodologia denominada *SMEA*, sigla em inglês para a Análise de Efeitos em Modo de Sucesso, evolução do processo de análise de riscos *FMEA*, a conhecida Análise de Efeitos em Modo de Falha.

A condição de *compliance* em técnicas e ordenamentos legais é premissa essencial do projeto pois, contemplados os aspectos *security-safety*, pela drástica redução de riscos, colhem-se resultados na securitização, no âmbito *insurance*.

Apresenta-se na Figura 4 a Unidade Piloto onde o sistema foi simulado,

Figura 4 - Unidade Piloto de transporte pneumático de sólidos a granel – fase diluída



Fonte: Laboratório Operações Unitárias Unisanta.

O sistema de transporte em fase diluída requer velocidades do ar relativamente altas segundo Moraes (2012), dependendo do tipo de material. Isto ocorre tipicamente na faixa de 15,2 m/s para um

pó a 20,3 m/s para um material granular, e além para partículas maiores e materiais de maior densidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO E CONTINUIDADE DE ESTUDOS

Inúmeras experimentações no simulador do Laboratório de Operações Unitárias, demonstrado na Figura 4, indicaram que os resultados mais adequados foram obtidos através do deslocamento em fase diluída, em circuito fechado com trechos ascendente e descendente verticais, curvas de 90° e velocidade acima de 15,4 m/s, constatando mínimas perdas de material nos grãos com dano inferior a 0,5% o que indica viabilidade e sugere a continuidade das pesquisas em aparato protótipo que represente o traçado sugerido, na figura 2.

Para fins operacionais, esses resultados apontam para eficiência similar aos sistemas de embarque tradicionais da ordem de 2 mil t/h.

A pesquisa segue na instalação de protótipo em escala 1:1000 para continuidade e aperfeiçoamento dos processos do sistema, mesclando o sistema com o transporte em fase densa.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram preliminarmente que, com a necessária tecnologia, o modal dutoviário pode contribuir ao escoamento de soja com eficiência, segurança e sustentabilidade ambiental, racionalizando na intermodalidade o fluxo rodoferroviário aos portos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Santa Cecília pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária, Dados Econômicos, Brasil 2018. Disponível em <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 04 de junho de 2019.
- Figueiredo A.E.P. et al., “ITS for Safety: Some considerations on effectiveness analysis of new tech for achieving a safer environment”, International Journal of environment science, v1, pg 171 a 175, 2016.
- Figueiredo, A.E.P., “Automação Portuária e Segurança do Trabalho”, Tese de Doutorado. PEA Programa de Engenharia Elétrica e Automação, Escola Politécnica USP, 2015.
- Gonçalves, J.M.F. Ferrovia Essencial. Kottler Editorial, São Paulo 2019.
- Hoefflich S. et al. “Proposta de Framework de gerenciamento de riscos orgânicos aplicados à logística”, XVII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, vol. 1 num. 1, 2014.
- Lodal e Mize, “Integrating Process Safety and Innovation” AIChE Spring Meeting and 12th Global Congress on Process Safety, 2016.
- Monteiro, C.A.F. A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1973. 130p.
- Moraes, M.S.; Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas, Tese (Doutorado), Unicamp, Campinas, Março de 2012.