

Programa Savcor para aperfeiçoar sistemas de drenagem *online*

Savcor Program for online improvement to drainage systems

Autores/Authors*: Rodrigo Prado¹
Alan Douglas Oliveira²
Marcelo Biasotto³

Palavras-chave: *Benchmarking, monitoramento online, otimização da lavagem*

RESUMO

Este artigo resume alguns casos de implementação de um programa de otimização *online* de sistemas de drenagem em máquinas de papel e sistemas de lavagem de polpa. O objetivo do trabalho é mostrar experiências na maximização da drenagem, maior compreensão das variáveis pertinentes a essa etapa do processo e sua relação causa-efeito, bem como a obtenção de um *benchmarking* operacional. As análises foram realizadas com o auxílio de um software de diagnóstico de processos e medições *online* dos níveis de ar na suspensão da polpa, possibilitando a identificação de informações importantes para melhoria do processo e da qualidade, no concernente ao aumento de eficiência, redução na utilização de insumos químicos, aumento de produtividade, uniformidade da qualidade do produto final, bem como resoluções mais rápidas de problemas.

INTRODUÇÃO

Mudanças no perfil do cenário econômico atual, aliadas às constantes reestruturações dos custos operacionais nas empresas de celulose e papel, levam à necessidade de uma melhor compreensão dos mecanismos de atuação

Keywords: *Benchmarking, online monitoring, washing optimization*

ABSTRACT

This article summarizes some cases of implementation of an online optimization program intended for paper machine drainage systems and pulp washing systems. The objective of the study is to show drainage maximizing experiences, a greater understanding of the variables relevant to this stage of the process and their causal relationship, as well as to obtain an operational benchmarking. The analyses were conducted with the aid of a process diagnostic software and online measurements of the air levels in the pulp suspension, making it possible to identify important information for process and quality improvement, as far as increased efficiency, reduced use of chemical inputs, increased productivity, uniformity of the final product quality, and faster resolutions of problems are concerned.

INTRODUCTION

Changes in the profile of the present economic scenario, associated with constant restructuring of the operating costs at pulp and paper companies, lead to the need for a better understanding of the work-

*Referências dos Autores / Authors' references:

1. Gerente de Projetos – Savcor Forest (Eng. Química – USP/Lorena, Especialização UFV)
Project Manager – Savcor Forest (Chemical Eng. – USP/Lorena, Specialization at UFV)
2. Suporte a Projetos – Savcor Forest (Física – UNICENTRO)
Projects Support – Savcor Forest (Physics – UNICENTRO)
3. Engenheiro de Projetos – Savcor Forest (Eng. Química – UFPR)
Project Engineer – Savcor Forest (Chemical Eng. – UFPR)

E-mails: rodrigo.rsp@savcor.com; alan.oliveira@savcor.com; marcelo.biasotto@savcor.com

das variáveis de processo relacionadas ao aumento da produtividade, que devem ser de fácil acesso e manipulação para todo o corpo técnico e gerencial das empresas. Diferentes métodos para diagnóstico de eficiência da lavagem da polpa marrom, bem como drenagem na máquina desaguadora de celulose e mesa plana da máquina de papel, são baseados em numerosas e pontuais análises de laboratório. A escolha de um aditivo químico que resulte em melhora do processo, bem como seu ponto ótimo de aplicação, é, geralmente, baseada somente na experiência do próprio fabricante.

Segundo STOOR (2006), as suspensões fibrosas em praticamente todas as unidades de processo de polpação e de fabricação de papel contêm gases, que podem estar tanto na forma dissolvida quanto na forma de bolhas. Gases dissolvidos não provocam distúrbios na operação das unidades de processo nem afetam a qualidade do produto final, mas promovem o crescimento de micro-organismos aeróbicos e quando as condições físicas e químicas se alteram podem tomar formas nocivas de bolhas.

Os gases apresentam muitos efeitos nocivos às propriedades do papel e ao seu processo de fabricação, tais como furos e manchas na folha, variações na pressão do circuito de aproximação da máquina e desuniformidades na formação da folha e, também, no processo de drenagem da parte úmida da máquina (KIRCHNER, 1979 *apud* HELLE, 2007; MATULA; KUKKAMÄKI, 1998; RAUCH; SANGL, 2000). Além disso, folhas produzidas com massa que contenha altos níveis de gases são mais porosas e possuem menor densidade. Também as resistências a úmido e a seco são menores, se comparadas a folha produzida com uma massa devidamente desaerada (HELLE, 2007). Na operação de lavagem de polpa, uma lavagem deficiente afeta substancialmente o desempenho do processo, podendo, inclusive, resultar em aumento na adição de insumos químicos. Os gases dispersos reduzem a eficiência da lavagem e, segundo SHACKFORD (1992), dois mecanismos básicos podem ser identificados: pequenas bolhas estabilizadas podem impedir a circulação de líquidos entre as fibras, e bolhas maiores podem criar um vácuo entre as fibras, criando um canal de fluxo preferencial. Esses mecanismos afetam significativamente a drenagem da polpa.

Usualmente, gases são removidos do processo por desaeração mecânica ou química. Em um processo de desaeração mecânica, os gases são geralmente removidos através de uma espécie de “neblina” da suspensão formada pela aspersão dessa suspensão em uma câmara de vácuo. Com isso, as partículas da suspensão colidem com as paredes da câmara e, com o impacto, os gases são liberados (HELLE, 2007). Na desaeração química, são utilizados produtos químicos altamente insolúveis

ing mechanisms of the process variables related to increased productivity, which should be of easy access and manipulation for the whole technical and managerial staffs of the companies. Different methods for diagnosing the efficiency of brown pulp washing, as well as drainage on the pulp drying machine and paper machine fourdrinier, are based on numerous laboratory intermittent analyses. The choice of a chemical additive supposed to result in an improvement to the process, as well as the optimum point of application of said additive, are in general only based on the experience of the manufacturer himself.

According to STOOR (2006), the fibrous suspensions in practically all pulping and paper manufacturing process units contain gases which may be both dissolved and in the form of bubbles. Dissolved gases do not cause disturbances in process unit operation, nor do they affect the quality of the final product, but they promote the growth of aerobic microorganisms, and when the physical and chemical conditions change they may take harmful forms of bubbles.

*Gases have many detrimental effects on paper properties and on the paper manufacturing process itself, such as sheet holes and spots, variations in the machine approach circuit pressure, and unevenness in sheet formation, as well as in the paper machine wet end drainage process (KIRCHNER, 1979 *apud* HELLE, 2007; MATULA; KUKKAMÄKI, 1998; RAUCH; SANGL, 2000). In addition, sheets resulting from a stock containing high levels of gases are more porous and have lower density. Also, the wet and dry strengths are lower in comparison to a sheet manufactured from a duly deaerated stock (HELLE, 2007). In the pulp washing operation, a deficient washing affects substantially the performance of the process and may even result in increased consumption of chemical inputs. Dispersed gases reduce washing efficiency and, according to SHACKFORD (1992), two basic mechanisms can be identified: small stabilized bubbles may prevent liquids from circulating between fibers and larger bubbles may generate a vacuum between fibers, so as to create a preferential flow channel. Pulp drainage is significantly affected by these mechanisms.*

These gases are usually removed from the process by either mechanical or chemical deaeration. In a mechanical deaeration process the gases are in general removed by means of a kind of suspension “mist” formed by the suspension spray in a vacuum chamber. Thus, the suspension particles collide with the chamber walls, and as a result of the impact the gases are released (HELLE, 2007). In a chemical deaeration process, highly water-insoluble chemicals are used. They act by removing the

em água, que atuam retirando os agentes surfactantes da interface gás/água na suspensão. Assim, tanto o filme formado pelos surfactantes como a estabilização dos gases são interrompidos. Dessa forma, as pequenas bolhas começam a unir-se e, assim, tendem a subir à superfície do meio líquido e a explodir (PRIMOZ; PETER, 1999). É muito importante tomar cuidado para não praticar dosagem excessiva ou desnecessária, porque isso pode causar depósitos na máquina, resultando em menores ciclos de operação para efetuar limpezas (PIETIKÄINEN, 1992a).

Esses meios de remoção demandam aumento de investimentos e custos operacionais. Assim, um sistema que facilite a compreensão dos corpos técnico e operacional quanto aos meios de otimização da drenagem e seu controle *online* resulta em ganhos permanentes ao processo. O Programa Savcor para aperfeiçoar sistemas de drenagem *online* promove aumento de eficiência de drenagem, além de otimizar o consumo de insumos químicos. A ferramenta assume papel importante no estudo de fontes geradoras de problemas, tendo como foco a determinação da melhor solução para eliminar deficiências relacionadas ao processo.

Os casos aqui apresentados demonstram as ferramentas do Programa com aplicações em duas áreas: máquina de papel e lavagem de polpa.

OBJETIVO

Este trabalho visa, através de um programa de otimização permanente, identificar, quantificar e controlar as variáveis pertinentes ao desempenho da drenagem e lavagem, de forma *online*, resultando em maior agilidade nas tomadas de decisões e proporcionando aumento de produtividade e otimização das dosagens de agentes químicos.

DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Máquina de papel

A proporção volumétrica de gases (expressa em %) na forma de microbolhas na suspensão que alimenta a caixa de entrada varia fortemente nos processos de fabricação de papel. Muitos picos de ar podem ocorrer em questão de minutos, levando a diversos problemas. Geralmente, os operadores classificam esses problemas com o código “N.I.”, sinalizando que o problema é do tipo “Não Identificado”, isso por não disporem de meios adequados de correlacionar problemas operacionais com picos de ar disperso no processo.

Os efeitos dos gases dispersos, particularmente dos gases em forma de microbolhas ligados ou aderidos às fibras durante a operação de uma máquina de papel, foram observados por DE CEW (1929, 1930 e 1935), vindo a concluir que nessa forma o gás prejudica a formação da folha, ao mesmo tempo em que interfere no movimento livre das fibras de celulose, efeito retardador do processo de drena-

surfactants agents from the gas-water interface in the suspension. Consequently, both the film formed by the surfactants and the gas stabilization are interrupted, so that the little bubbles start uniting and tend to rise to the surface of the liquid medium and to burst (PRIMOZ; PETER, 1999). It is very important to take care not to put an excessive or unnecessary dosage into practice, because this might cause deposit formation in the machine, resulting in shorter operating cycles for cleaning purposes (PIETIKÄINEN, 1992a).

These means of removal result in an increase in investments and operating costs. Thus, a system facilitating understanding of the technical and operational staffs with regard to the means of optimizing drainage and its online control results in permanent gains to the process. The Savcor Program for online improvement to drainage systems promotes an increase in drainage efficiency, besides optimizing the consumption of chemical inputs. The tool assumes an important role in the study of trouble generating sources, focusing on the determination of the best solution to eliminate process related deficiencies.

The cases presented herein demonstrate the tools of the Program having applications in two areas, as follows: paper machine and pulp washing.

PURPOSE

The purpose of this study is to identify, quantify and control online the variables relevant to drainage and washing performance by means of a permanent optimization program, resulting in greater agility in decision-making and providing increased productivity, as well as optimizing dosages of chemical agents.

PROBLEM DEFINITION

Paper machine

The volumetric proportion of gases (expressed in %) in the form of microbubbles in the suspension feeding the headbox varies greatly in the paper manufacturing processes. Many air peaks may occur within a few minutes, leading to several problems. In general, operators classify such problems as “N.I.”, which indicates that the problem is of the “Not Identified” kind, This due to the fact that they have no suitable means available to correlate problems with dispersed air peaks in the process.

The effects of dispersed gases, especially gases in the form of microbubbles bonded or adhered to the fibers during a paper machine operation, were observed by DE CEW (1929, 1930 and 1935), who concluded that in this form the gas impairs the sheet formation, because interfering with the free motion of pulp fibers, which retards the water drainage pro-

gem de água na mesa plana da máquina, com possibilidades, ainda, de ocorrer furos e manchas na folha. De acordo com GAVELIN (1954), microbolhas aderem à superfície das fibras alterando características de fluxo e tendência de floculação, fato que retarda o fluxo de água através das capilaridades das fibras. Distúrbios no processo de drenagem podem, inclusive, resultar em maior consumo de vapor no processo de secagem do papel, pois que maior umidade chega a esse estágio devido às diminuições nas taxas de drenagem da folha, e pode também gerar perfis de umidade desuniformes. Assim, com suspensão desaerada obtém-se melhor formação da folha e papel menos poroso. As manchas e furos também surgem como consequência da capacidade de as microbolhas coletarem substâncias hidrofóbicas em sua superfície. Se essas bolhas se dissolverem a seguir, o material coletado irá causar os furos ou manchas, podendo resultar, inclusive, no surgimento de depósitos químicos no sistema (KIRCHNER, 1979 apud HELLE, 2007; LORZ, 1987).

Quanto aos níveis ideais de gases em um processo, segundo ISLER, WILMER (1992), uma amostra de massa com 0,7% de consistência e 1,0 vol.% de ar apresenta quantidade de bolhas de ar equivalente ao volume total de fibras. De acordo com HELLE (2000), uma pequena quantidade de gás composto por microbolhas com volume de aproximadamente 0.3% do volume total da suspensão já é suficiente para afetar o processo de fabricação do papel.

Nas fábricas de celulose e papel, as suspensões fibrosas são tipicamente transportadas por bombas centrífugas e sabe-se que o gás contido nas suspensões reduz a capacidade de bombeamento. Aproximadamente 30% da energia utilizada na indústria papelreira é consumida nos processos de bombeamento, logo, o gás disperso tem importante influência na economia. Baseando-se em estudos de bombeamento centrífugo a baixa consistência, RISK (1960) afirma que o gás disperso influencia significativamente a capacidade de bombeamento. Ele estabeleceu que 2.5% de gás disperso implica em redução de 16% na capacidade de bombeamento das fábricas. Além de consumir energia de bombeamento, também é responsável por variações de pressão no circuito de aproximação das máquinas de papel (LORZ, 1987). Um fluxo instável pode causar a segregação de fibras, finos e outros aditivos e variação no volume de massa lançada sobre a mesa de formação da máquina. Isso pode gerar formação não-uniforme da folha devido a variações na gramatura do papel. Fortes picos de ar na massa provenientes do circuito de aproximação resultam em micropulsões na caixa de entrada (WEISE *et al.* 2000). Esses micropulsos interferem diretamente na formação da folha, enfraquecendo as interações fibra-fibra e resultando, também, num perfil não uniforme na mesa de drenagem. A soma desses fatores

cess on the paper machine fourdrinier, apart from the possible formation of holes and spots. According to GAVELIN (1954), microbubbles adhere to the surface of the fibers, altering their flow characteristics and their tendency towards flocculation, which delays the flow of water through their capillaries. Disturbances to the drainage process may even result in higher steam consumption in the paper drying process, since higher moisture arrives at this stage due to reduction in the sheet drainage rates, which may also generate nonuniform moisture profiles. Thus, with a deaerated suspension a better sheet formation and less porous paper are obtained. Spots and holes also appear as a consequence of the microbubble capacity to collect hydrophobic substances on their surface. In case these bubbles dissolve afterward, the collected material will cause the holes or spots, which may even result in the formation of chemical deposits in the system (KIRCHNER, 1979 apud HELLE, 2007; LORZ, 1987).

As to the optimum gas levels in a process, according to ISLER, WILMER (1992), a stock sample with 0.7% consistency and 1.0 vol.% of air presents a volume of air bubbles equal to the total volume of fibers. According to HELLE (2000), a small amount of gas composed by microbubbles with a volume of approximately 0.3% of the total volume of the suspension is already enough to affect the paper manufacturing process.

*Fibrous suspensions are typically pumped through pulp and paper mills by the action of centrifugal pumps and it is known that gas contained in fibrous suspensions reduces the pumping capacity. Approximately 30% of the power utilized in the paper industry is consumed in pumping processes and, therefore, dispersed gas has an important influence on the economy. Based on studies of low-consistency centrifugal pumping, RISK (1960) states that dispersed gas has a significant influence on pumping capacity. He established that 2.5% of dispersed gas implies a 16% reduction in the pumping capacity of the mills. Besides consuming pumping power, it is also responsible for pressure variations in the paper machine approach circuit (LORZ, 1987). An unstable flow may cause fibers, fines and other additives to segregate, as well as the volume of stock supplied on the paper machine forming fabric to vary. This may generate nonuniform sheet formation due to variations in paper basis weight. Strong air peaks in the stock coming from the approach-flow system result in micropulsations in the headbox (WEISE *et al.*, 2000). These micropulses interfere directly with the sheet formation, weakening the fiber-fiber interactions and also resulting in no uniform drainage profile on the fourdrinier. The sum of these factors reduces the sheet*

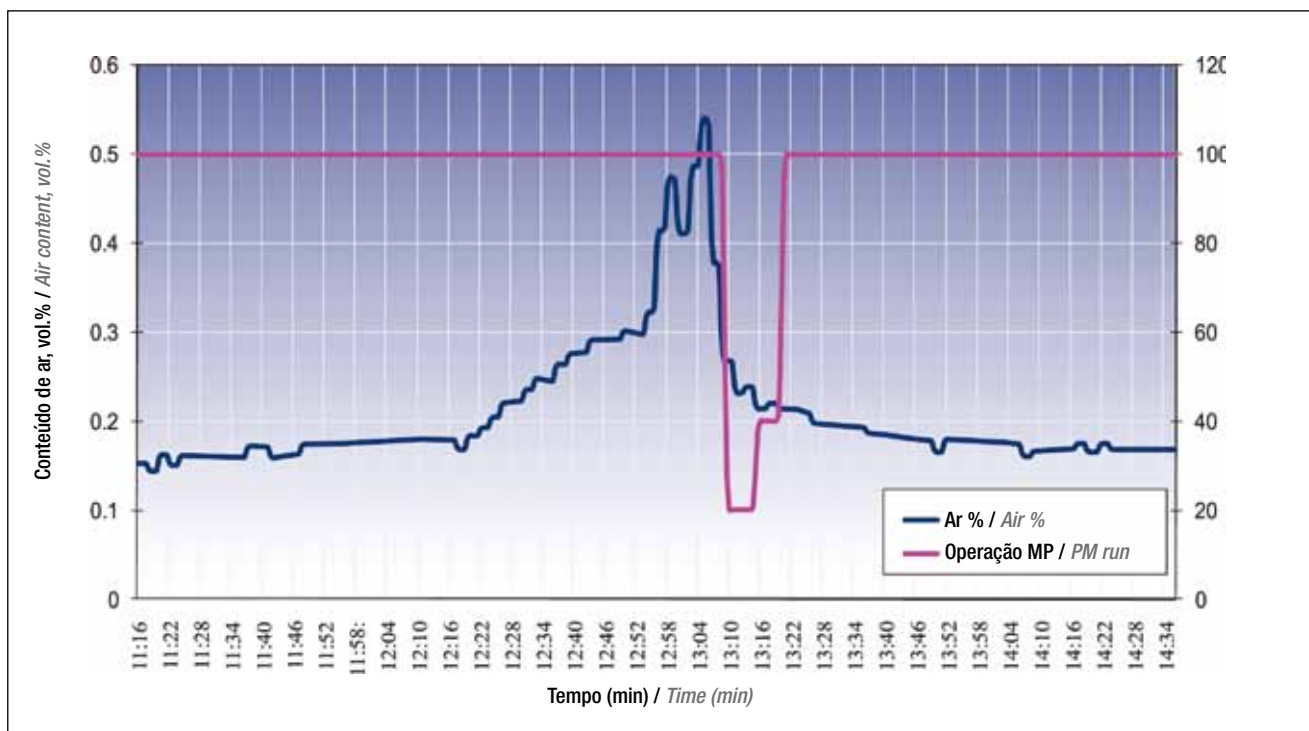


Figura 1. Forte pico de ar na massa da caixa de entrada da máquina de papel, com consequente quebra da folha ainda na seção úmida da máquina / **Figure 1.** Strong air peak in the stock of the paper machine headbox, with consequent sheet break still at the wet end of the machine

reduz a resistência à tração da folha, podendo resultar em quebras. A **Figura 1** apresenta um período em que ocorre quebra da folha, imediatamente após a passagem de um pico de ar pela caixa de entrada da máquina.

Lavagem da polpa

O objetivo primário na operação de qualquer lavador de massa é remover materiais orgânicos e inorgânicos solúveis. Um bom desempenho da lavagem de massa marrom é essencial para o estágio de deslignificação com oxigênio, e vem determinar o consumo de químicos durante o branqueamento. As diferentes metodologias utilizadas na medição da eficiência da lavagem são indicativos importantes, porém trata-se, geralmente, de testes pontuais que muitas vezes não conseguem acompanhar a dinâmica do processo. Em contrapartida, porém não menos importante como citado por WANG *et al.* (2001), o conteúdo de ar pode influenciar a eficiência da lavagem de duas maneiras: em primeiro lugar, a condição de se conseguir lavagem eficaz é um bom vácuo no tambor, e esse vácuo diminui com a espuma causada por excesso de ar acumulado. Em segundo lugar, a presença de bolhas de ar disperso tende a baixar as taxas de drenagem através da polpa e pode, inclusive, formar caminhos preferenciais de drenagem. Estudos demonstram que o efeito do conteúdo de ar pode ser significativo nas taxas de drenagem quando o tamanho da bolha se situa em determinado intervalo. WANG *et al.* (2001) mostraram que bolhas com diâmetros superiores a 10 mm passam pela manta de fibras

strength with regard to breaking strength, which may result in sheet ruptures. **Figure 1** presents a period in which a sheet break occurs, right after the passage of an air peak through the paper machine headbox.

Pulp washing

The primary intent in the operation of any pulp washer is to remove soluble organic and inorganic materials. A good brownstock washing performance is essential for the oxygen delignification process, determining the consumption of chemicals during bleaching. The different methodologies adopted to measure the washing efficiency are important indications, but, in general, just spot tests are carried out, which often do not achieve to follow the process dynamics. On the other hand, but not less important, as cited by WANG *et al.*, (2001), the air content may influence the washing efficiency in two ways: firstly, the need to accomplish an effective washing implies a good vacuum in the drum, and this vacuum decreases with the foam caused by excess of accumulated air. Secondly, the presence of dispersed air bubbles tends to lower the drainage rates through the pulp, and they may even give rise to preferential drainage channels. There are studies demonstrating that the effect of the air content may be significant on the drainage rates when the size of the bubble is within a certain range. WANG *et al.* (2001) showed that bubbles having over 10 mm in diameter pass through the fiber blanket formed on the washing drum,

formada sobre o tambor de lavagem e demonstram que essas bolhas têm pouca influência na eficiência de lavagem. No entanto, quando as bolhas forem menores do que cerca de dois milímetros (ar disperso) ficam retidas na fibra, formando uma força de coesão entre água e fibra que prejudica a lavagem. A saída comumente empregada para esses casos é a aplicação de agentes químicos antiespumantes, mas que, aplicados frequentemente sem critério definido, podem comprometer a eficiência da lavagem, além de onerar os custos de aplicação do químico.

Assim, a dosagem de produtos antiespumantes na linha é tradicionalmente praticada sem bom controle, com base em métodos de amostragem pontuais com equipamentos portáteis de mudanças de pressão (compressão/expansão) ou pela observação do tanque de lavagem e de níveis. No entanto, os operadores não têm domínio total em casos de iminentes distúrbios no processo decorrentes da carga de antiespumante, assim como na gestão do custo de dosagem. Na maioria dos casos dosa-se uma quantidade estipulada pelo fabricante, e mesmo depois de otimizada essa dosagem permanece sem modificação independentemente da taxa de produção ou da dinâmica do processo. Uma típica fábrica de celulose no Brasil, de 1000 tsa/dia, costuma ter gastos em torno de R\$200 mil a R\$300 mil anuais em antiespumantes, além de problemas de qualidade e produção devido a ausência de controle na dosagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Programa Savcor para aperfeiçoar sistemas de drenagem *online* conta com equipamento capaz de realizar o monitoramento e controle dos níveis dos gases presentes no processo em tempo real, baseando-se no princípio de atenuação por ultrassom e conta, também, com um poderoso software de diagnóstico de processos, que auxilia na detecção de problemas mostrando as principais variáveis causadoras de distúrbios. Segundo KARRAS *et al.* (1988), no método ultrassônico as bolhas dos gases estabilizados no processo atenuam as ondas de ultrassom e desta forma, recorrendo à atenuação de um feixe linear, a fração volumétrica das bolhas pode ser determinada. De acordo com PIETIKÄINEN (1992b), os gases contidos nas suspensões fibrosas podem ser avaliados por métodos acústicos, que se baseiam em medidas de atenuação ou de velocidade do som na suspensão. No entanto, o método ultrassônico é usualmente utilizado para medidas de atenuação, isso porque a atenuação das ondas na faixa de ultrassom é muito maior do que a das ondas na faixa do som audível, isto é, a faixa do ultrassom é mais sensível à atenuação. Desta forma, no Programa Savcor os resultados são coletados continuamente e de modo *online*. A parcela de energia que não sofre atenuação ou dispersão - dentro de uma câmara isolada e contendo vazão contínua da amostra -, é lida por uma célula de recepção que emite

demonstrating that these bubbles have little influence on the washing efficiency. However, when the bubbles are smaller than approximately two millimeters (dispersed air), they are retained in the fiber, forming a force of cohesion between water and fiber, thus impairing the washing process. The expedient commonly employed in such cases is applying antifoam chemicals. However, the latter are often applied with no well-defined criterion, thereafter maybe jeopardizing the washing efficiency, besides increasing costs in the additive application.

Thus, the dosage of antifoam products is traditionally used without right control in the line, based either on spot sampling methods via portable pressure change (compression/expansion) devices, or by observing the washing tank and levels. Nevertheless, the operators have no complete control in case of imminent process disturbances coming from the antifoam agent load, as well as on the dosage cost management. In most cases, an amount established by the manufacturer is dosed, and even after optimization this dosage remains unchanged, regardless of production rate or process dynamics. A typical Brazilian pulp mill, manufacturing 1000 adt/day, uses to have yearly antifoam agent expenses ranging from about R\$200 thousand to R\$300 thousand, besides quality and production problems due to the absence of dosage control.

MATERIALS AND METHODS

*The Savcor Program for online improvement to drainage systems comprises equipment capable of monitoring and controlling the levels of the gases present in the process in real time, based on the principle of ultrasonic attenuation, also having a powerful process diagnostic software, which helps detect problems, showing the main disturbance causing variables. According to KARRAS *et al.* (1988), in the ultrasonic method the bubbles of the gases stabilized in the process attenuate the ultrasonic waves, and thus, having recourse to the attenuation of a linear beam the volumetric fraction of the bubbles can be determined. According to PIETIKÄINEN (1992b), the gases contained in the fibrous suspensions can be evaluated by acoustic methods based both on wave attenuation and sound velocity measurements in the suspension. However, the ultrasonic method is usually adopted for attenuation measurements, since the wave attenuation in the ultrasonic range is much higher than that of the waves in the audible sound range, i.e., the ultrasonic range is more sensitive to attenuation. Thus, in the Savcor Program the results are collected continuously and online. The portion of energy which does not endure attenuation or dispersion - within an isolated chamber with continuous flow of the sample -, is read*

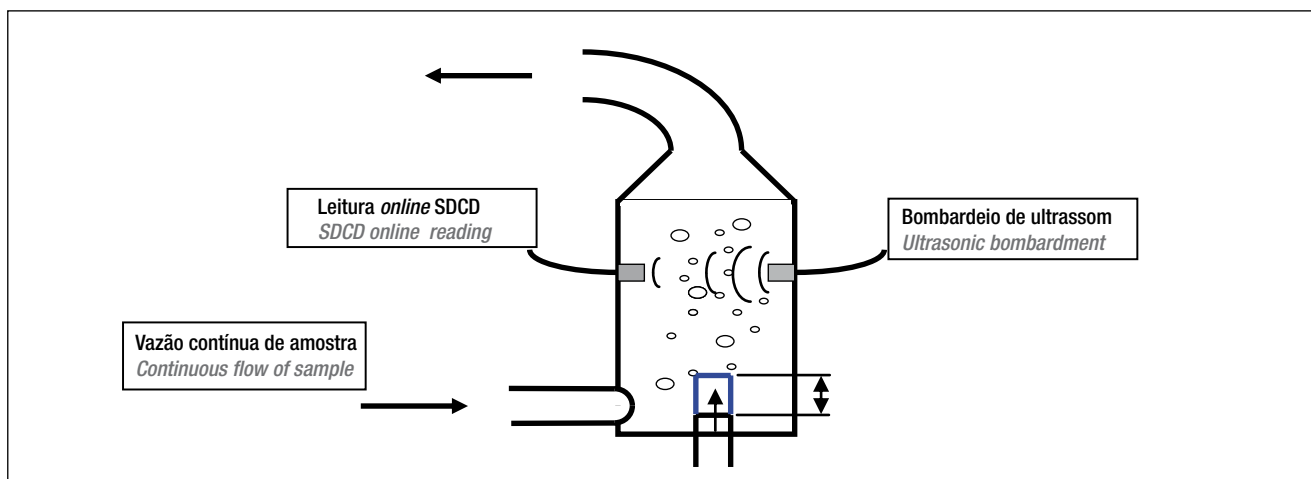


Figura 2. Uma vazão contínua de amostra é alimentada à câmara de medição. Na câmara há um emissor de ultrassom e um receptor, assim, o gás disperso presente na amostra interfere com as ondas de ultrassom atenuando-as e dispersando-as. A partir da diferença entre a energia do feixe do emissor e a do feixe no receptor, os níveis de ar são calculados. As leituras podem ser enviadas a um SDCD de modo *online*

Figure 2. A continuous flow of sample is fed into the measuring chamber, in which there is an ultrasonic emitter, as well as a receptor. Thus, the dispersed gas existing in the sample interferes with the ultrasonic waves, attenuating them and dispersing them. The air levels are calculated from the difference between the energy of the emitter beam and of the beam in the receptor. The readings can be sent to an SDCD in online mode

as leituras continuamente para um coletor digital de dados e deste para qualquer sistema SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído). Uma vez que os dados estejam no SDCD, o software de diagnóstico de processos que compõe o Programa é capaz de identificar rapidamente as principais variáveis causadoras de distúrbios e/ou problemas no processo. A **Figura 2** apresenta um esquema de como funciona um medidor acústico ultrassônico de gases.

A implementação do Programa permite:

1. Reduzir horas de máquina parada devido a quebras.
2. Aumento da taxa de drenagem.
3. Melhoria de estabilidade do perfil de umidade.
4. Identificação da *mix* (receita) de celulose mais apropriado ao processo, no sentido de menor geração de picos de ar na massa.
5. Cálculo da taxa de remoção de ar pelo agente químico utilizado, assim como sugestão de produtos alternativos conjugados e adição em múltiplos pontos de dosagem.
6. Estabilização do processo.
7. Identificação de fontes geradoras de picos de ar, resultando em possíveis melhorias.
8. Possibilidade de aumento da lucratividade e produtividade da máquina com a redução de quebras não identificadas, otimização da drenagem e posterior redução no consumo de energia do sistema de secagem.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Perfil de ar disperso em uma máquina de papel

Para determinar o perfil de ar no fluxo de processo de uma máquina de papel dividiu-se o estudo em dois circuitos

by a reception cell emitting the readings continuously to a digital data collector, and therefrom to any SDCD (Digital Distributed Control System) system. Once the data are in the SDCD, the process diagnostic software composing the Program is capable of quickly identifying the main variables causing disturbances and/or problems in the process. **Figure 2** presents a diagram showing how an acoustic ultrasonic gas measuring unit works.

Implementing the Program allows:

1. Reducing standstill machine hours due to breaks.
2. Increasing drainage rate.
3. Improving the moisture profile stability.
4. Identifying the pulp mix (recipe) most suitable for the process, as far as the lowest generation of air peaks in the stock is concerned.
5. Calculating the rate of air removal of the chemical agent used, as well as suggesting alternative associated products and adding at multiple points of dosage.
6. Stabilizing the process.
7. Identifying air peak generating sources, resulting in possible upgrades.
8. Possibly increasing the profitability and productivity of the machine as a result of reducing not identified breaks, drainage optimization and, afterward, reduction in energy consumption of the drying system.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Profile of dispersed air on a paper machine

To determine the air profile in the process coming from a paper machine, the study was divided into two cir-

que alimentam a caixa de entrada da máquina, sendo um, o circuito principal e o outro, o de diluição.

Circuito de diluição

O circuito de diluição foi monitorado com o equipamento que mede os níveis de ar no processo instalado em um ponto imediatamente anterior à caixa de entrada da máquina, por período de oito dias. Ao final do período verificou-se que os níveis de ar desse circuito, isto é, as proporções volumétricas de ar, estavam variando, em média, de 0,70% a 1,70%, níveis de ar relativamente altos quando comparados aos valores tidos como ideais pela literatura. A **Figura 3** apresenta o perfil de ar verificado no circuito de diluição

cuits feeding the paper machine headbox, one of them the main circuit, and the other one a dilution circuit.

Dilution circuit

*The dilution circuit was monitored by the equipment measuring the air levels in the process, installed at a point immediately before the paper machine headbox for a period of eight days. At the end of the period it was found out that the air levels of this circuit, i.e. the volumetric proportions of air, were varying, on average, from 0.70% to 1.70%, which are relatively high air levels in comparison to the values considered as optimal by the literature. **Figure 3** shows the air profile observed in the dilution circuit.*

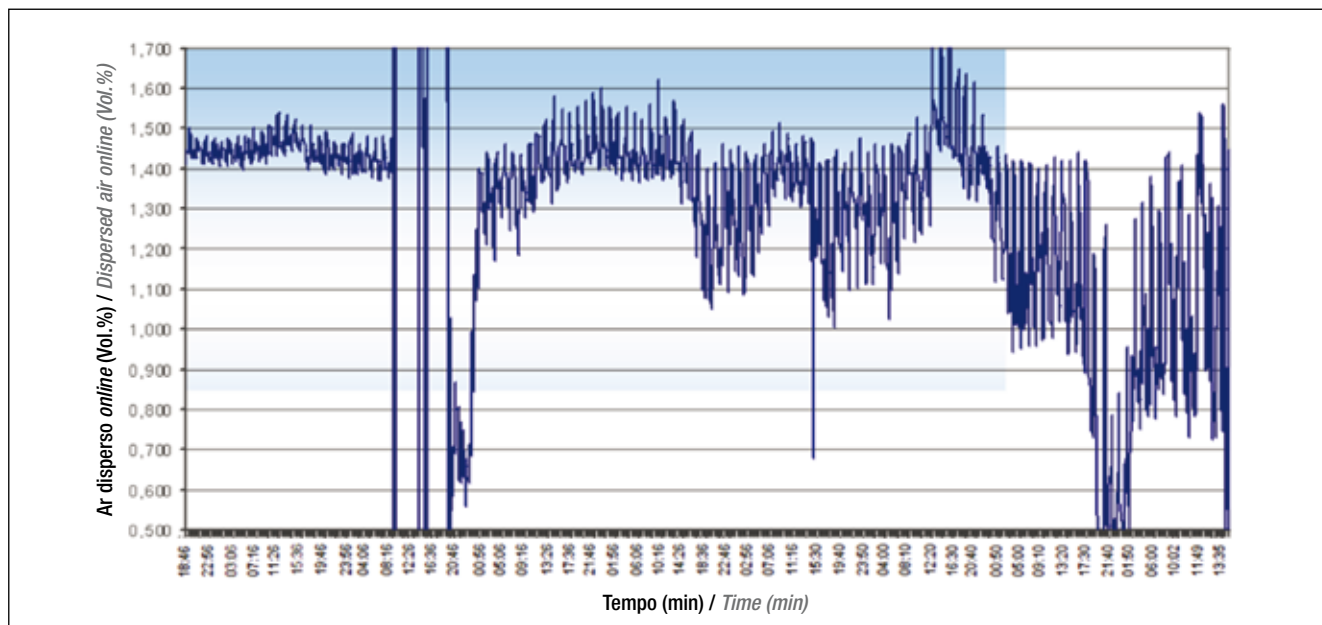


Figura 3. Perfil de ar no circuito de diluição / **Figure 3.** Air profile in the dilution circuit

Constatado que os níveis de ar no circuito de diluição resultaram altos, utilizando o software de diagnóstico de processos foi identificado o impacto que esses níveis de ar estavam tendo sobre a qualidade do produto final. Uma vez que a literatura diz que folhas provenientes de suspensões com altos níveis de ar apresentam maior porosidade, para avaliar o impacto dos altos níveis de ar no circuito de diluição correlacionou-se as leituras de ar com a porosidade do papel (obtida em laboratório). Verificou-se, então, que os níveis de ar (expressos em %) estavam influenciando diretamente na qualidade do produto, visto haver relação muito forte entre as tendências de ar disperso no circuito e a porosidade do papel, como mostra a **Figura 4**. Quando a máquina opera com níveis mais altos de ar e sem dosagem correta de antiespumante, o ar encapsulado entre as fibras exige mais do sistema de drenagem, além de refletir na qualidade do papel, de onde resulta folha mais porosa.

*Since the air levels in the dilution circuit showed to be high, by using the process diagnostic software the impact these air levels were having on the quality of the final product was identified. As it is reported in the literature that sheets resulting from suspensions containing high air levels present higher porosity, in order to assess the impact of the high air levels in the dilution circuit, the air readings were correlated with the (laboratory obtained) paper porosity. Then, it was observed that the air levels (expressed in %) were directly influencing the quality of the final product, considering that there is a very close relationship between the tendencies toward dispersed air in the circuit and paper porosity, as shown in **Figure 4**. When the machine operates at higher air levels and without the correct dosage of antifoam agent, the air encapsulated between the fibers demands more effort from the drainage system, apart from the fact that it is reflected in the paper quality, resulting in a more porous sheet.*

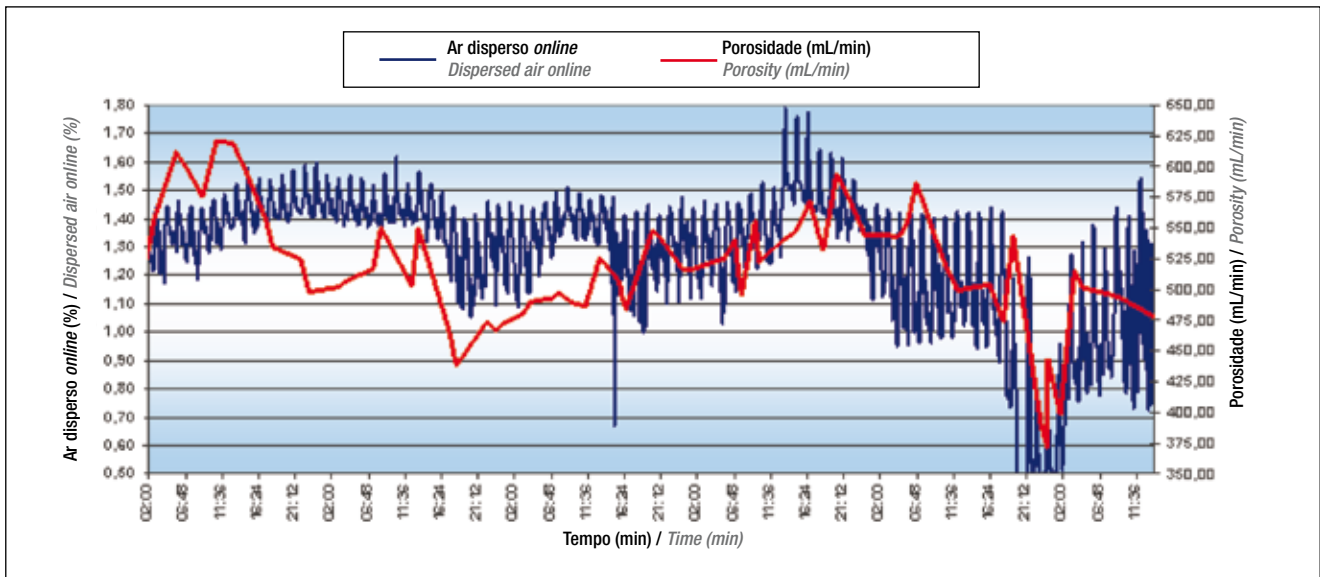


Figura 4. Relação entre as curvas de testes de porosidade (obtidos em laboratório) e medições dos níveis de ar disperso, obtidos *online* no circuito de diluição da máquina de papel. As curvas revelam que quando os níveis de ar disperso são mais altos, o papel é mais poroso
Figure 4. Relationship between the porosity test curves (laboratory obtained) and the measurements of the dispersed air levels, obtained online in the paper machine dilution circuit. The curves indicate that when the dispersed air levels are higher, the paper is more porous

Depois de revelados os impactos dos altos níveis de ar, foi realizado teste por período de vinte e quatro horas aumentando a dosagem do antiespumante, visando reduzir os níveis de ar no circuito sem trazer prejuízos à qualidade do papel, tal como seriam colagem e formação. Os resultados obtidos com o aumento da dosagem de antiespumante demonstram que em se trabalhando com menos ar no sistema são alcançados ganhos de qualidade do produto final, bem como aumento no desempenho da máquina. O ganho de qualidade é apresentado na **Figura 5**, sendo que o período em que foi dosada quantidade maior de antiespumante obteve aumento médio de 20% nos valores do teste Gurley, que também se relaciona com a resistência do papel, ou seja, diminuindo-se ar do processo houve aumento na resistência do papel. Também se

Once the impacts of the high air levels were disclosed, a test at which the dosage of antifoam agent was increased, aiming to reduce the air levels in the circuit without causing damage to the paper quality, as far as, e.g. sizing and formation are concerned, was conducted for a period of twenty-four hours. The results obtained from increasing the dosage of antifoam agent demonstrate that working with less air in the system brings gains in quality of the final product, besides enhancing the performance of the machine. The gain in quality is shown in **Figure 5**, where it can be observed that in the period in which a larger amount of antifoam agent was dosed, there was, on average, a 20% increase in the values obtained through Gurley test, which also relates to paper strength. In other words, by reducing the process air there was an increase

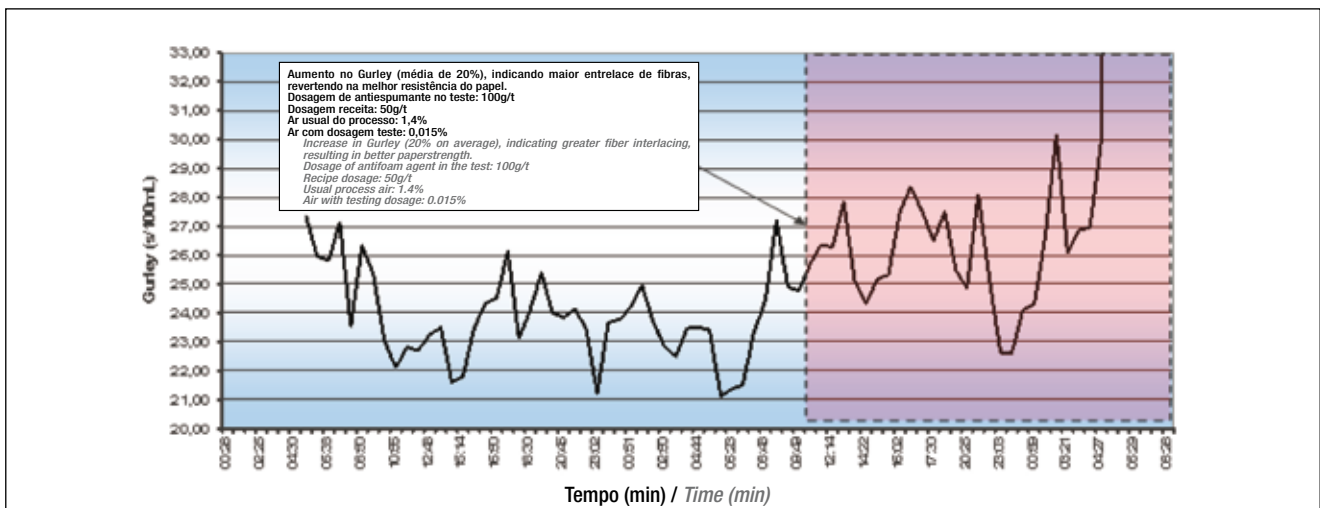


Figura 5. Ganhos obtidos na qualidade do papel devido à redução de ar na diluição. O teste Gurley também se relaciona com a resistência do papel
Figure 5. Gains obtained in paper quality as a function of air reduction in the dilution. Gurley test also relates to paper strength

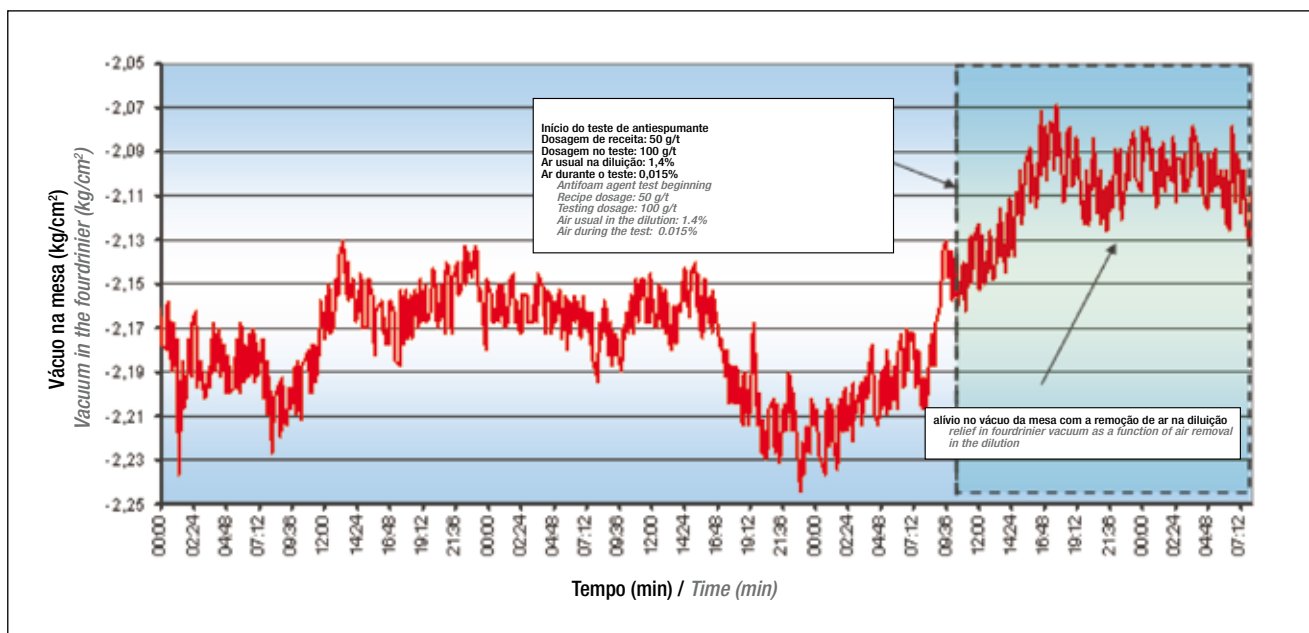


Figura 6. Ganhos obtidos no vácuo da mesa plana devido à redução de ar disperso no circuito de diluição / **Figure 6.** Gains obtained in the fourdrinier vacuum as a function of reduction in dispersed air in the dilution circuit

verificou uma melhora no desempenho da máquina, como pode ser verificado na **Figura 6**, onde se demonstra como o aumento na dosagem do antiespumante - com consequente diminuição nos níveis de ar disperso no circuito de diluição -, resultou em alívio no vácuo da mesa plana, com isso melhor drenagem e, também, maior economia de energia no processo de desaguamento. Isso mostra que, além de se produzir papel mais poroso e menos resistente, com maiores níveis de ar no circuito de diluição os canais de drenagem entre as fibras são de certa forma “selados”, solicitando maior vácuo no processo de drenagem na mesa plana da máquina.

Circuito principal

Os estudos no circuito principal foram realizados com o intuito de avaliar a eficiência do *Deculator* (equipamento que remove o ar disperso, mecanicamente) existente no circuito, ou seja, verificar se o equipamento estava sendo realmente efetivo na remoção de ar disperso no circuito principal. Para tal, foram realizadas medições na entrada e na saída desse equipamento desaerador durante um período de oito dias. As **Figuras 7 e 8** mostram os perfis de ar disperso na entrada e saída do *Deculator*, respectivamente.

Os resultados mostram que na entrada do *Deculator* os níveis de ar disperso são em média 0,60%, enquanto na saída os valores de ar caem para 0,02%, também média. Com isso, resulta que o equipamento possui eficiência de aproximadamente 96,7% na remoção de ar disperso proveniente do circuito principal. É uma redução bastante significativa da

in paper strength. An improvement in the performance of the machine could be also observed, as shown in **Figure 6**, which demonstrates that by increasing the dosage of antifoam agent - with a consequent reduction in the levels of dispersed air in the dilution circuit -, there was a relief in the fourdrinier vacuum, thus promoting a better drainage and also energy savings in the dewatering process. This shows that, besides producing a more porous and less strong paper, at higher air levels in the dilution circuit the drainage channels between fibers are, in some way, “sealed”, requiring higher vacuum in the drainage process on the paper machine fourdrinier.

Main circuit

The studies of the main circuit were carried out with the aim of assessing the efficiency of the *Deculator* (equipment for mechanically removing the dispersed air present in the circuit), that is, to check whether the equipment was being really effective in removing dispersed air from the main circuit. For this purpose, measurements at the deaerating equipment inlet and outlet were made for a period of eight days. **Figures 7 and 8** show the dispersed air profiles at *Deculator* inlet and outlet, respectively.

The results indicate that at *Deculator* inlet the dispersed air levels are 0.60% on average, while at its outlet the air values drop to 0.02%, also average. It follows, from these data, that the equipment presents an efficiency of about 96.7% in removing dispersed air coming from the main circuit. It is a rather significant reduction in the

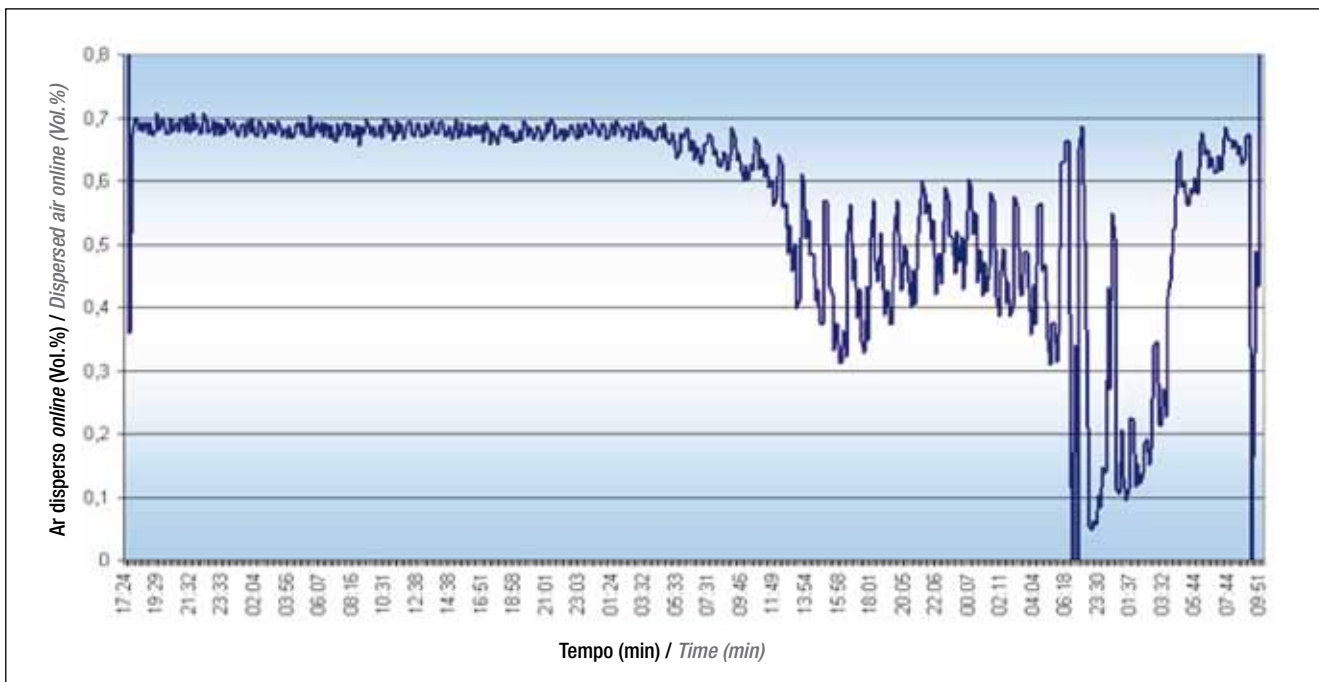


Figura 7. Perfil de ar disperso na entrada do Deculator / **Figure 7.** Dispersed air profile at Deculator inlet

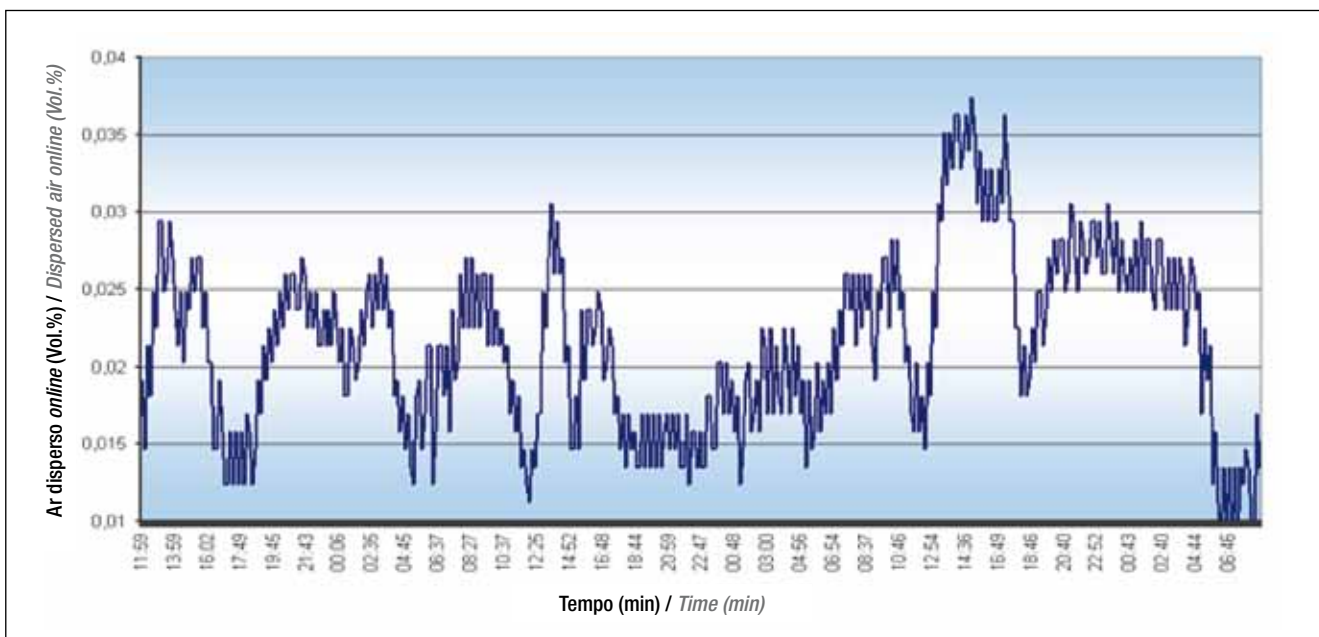


Figura 8. Perfil de ar disperso na saída do Deculator / **Figure 8.** Dispersed air profile at Deculator outlet

proporção volumétrica de ar que seria alimentada à caixa de entrada, o que indica o equipamento desaerador estar em perfeitas condições de operação.

Elemento gerador de ar disperso

Por fim, visando a identificação das principais fontes geradoras de ar no processo, foi feito diagnóstico do sistema por meio do software que compõe o Programa. Esse diagnóstico mostrou que uma das principais variáveis responsáveis pela geração de ar era a dosagem de refugo, tal como se pode observar

volumetric proportion of air that would be fed into the headbox, which indicates that the deaerating equipment performs in perfect operating conditions.

Dispersed air generating element

At the end, aiming to identify the main air generating sources in the process, the diagnosis of the system was made by using the software composing the Program. This diagnosis showed that one of the main variables responsible for air generation is broke dosage, as can be

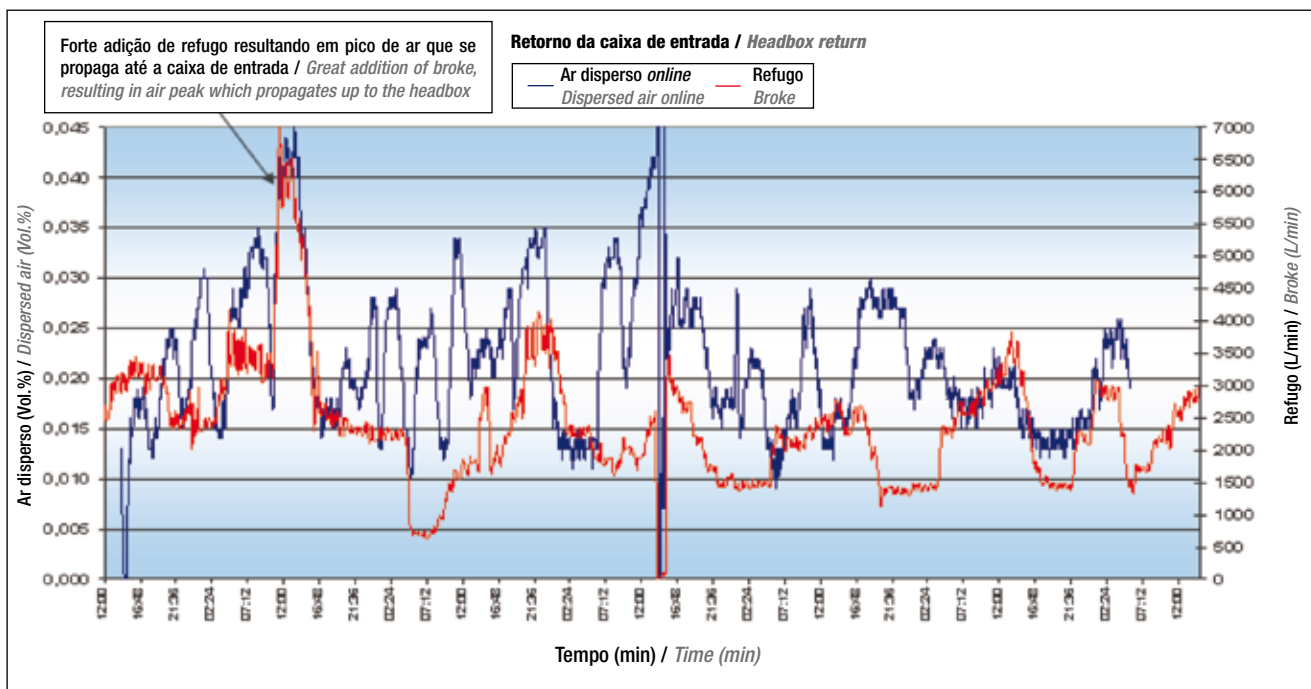


Figura 9. Efeito da adição de refugo. As curvas mostram forte relação entre níveis de ar disperso e dosagens de refugo
Figure 9. Effect of broke addition. The curves show a close relationship between dispersed air levels and broke dosages

na **Figura 9**, onde picos de ar na caixa de entrada coincidem com dosagens de refugo no processo. Segundo HELLE (2007), também a composição da massa tem grande influência na quantidade de gás disperso no processo. A fibra (matéria-prima), aditivos químicos, pigmentos e substâncias interferentes, juntos determinam a estabilidade das bolhas. A lavagem da celulose, em particular, reduz a quantidade de substâncias que estabilizam os gases. As fibras recicladas e reprocessadas normalmente contêm grandes quantidades de gás disperso devido à grande quantidade de materiais surfactantes dissolvida, proveniente da madeira, pigmentos de impressão e químicos utilizados em processo anterior (PIETIKÄINEN, 1992a; 1992b). Desta forma, o refugo, pela sua própria composição, revela-se um elemento gerador de ar disperso no processo e altas dosagens de refugo podem implicar em picos de ar se propagando até a caixa de entrada da máquina.

Mapeamento do ar disperso em processo de lavagem

Foi feito estudo dos níveis de ar disperso no processo de lavagem de uma linha de massa marrom. Os objetivos principais desse estudo foram: determinar, por meio de medições em linha, a origem do ar disperso arrastado na massa marrom circulante e quais seus impactos no processo, e também aperfeiçoar a dosagem do antiespumante na linha mediante escolha do ponto de dosagem mais apropriado.

Para tanto, o equipamento que mede os níveis de ar disperso foi instalado nas linhas de alimentação do filtro, sendo uma das linhas o retorno do filtrado do tanque “diluição da descarga” e a outra, a linha principal da massa vinda dos depuradores, conforme mostra a **Figura 10**.

observed in **Figure 9**, where air peaks in the headbox coincide with broke dosages in the process. According to HELLE (2007), furnish has also a great influence on the amount of dispersed gas in the process. The fiber (raw material), chemical additives, pigments, and interfering substances determine conjointly the bubble stability. Pulp washing, in particular, reduces the amount of substances stabilizing the gases. Recycled and reprocessed fibers usually contain large amounts of dispersed gas due to the large amount of dissolved surfactants, coming from wood, printing pigments, and chemicals used in the previous process (PIETIKÄINEN, 1992a; 1992b). Thus, broke, due to its very composition, turns out to be a generating element of dispersed air in the process, and high dosages of broke may imply air peaks propagating up to the paper machine headbox.

Mapping dispersed air in the washing process

A study of dispersed air levels in the washing process was carried out in a brownstock washing line. The main objectives of this study were: to determine, by means of in-line measurements, the origin of the dispersed air entrained in the circulating brownstock and which are its impacts on the process, besides improving the dosage of antifoam agent in the line, by choosing the most appropriate point of dosage.

For such a purpose, the equipment measuring the levels of dispersed air was installed in the filter feeding lines, one of them consisting of the blow dilution tank filtrate return, and the other one, the main line, carrying stock coming from screens, as shown in **Figure 10**.

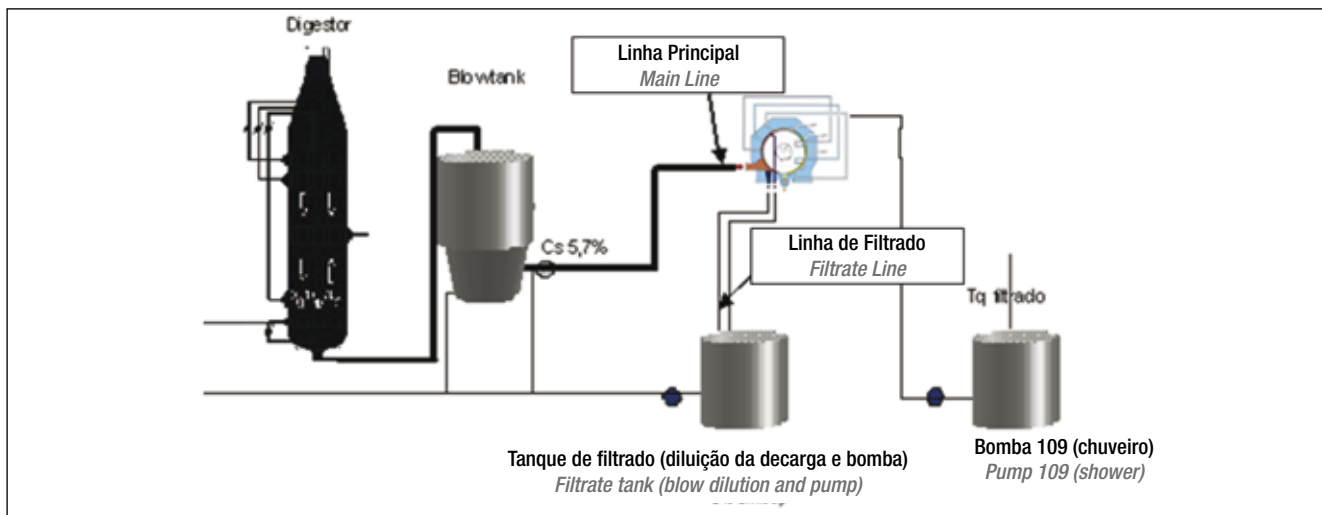


Figura 10. Diagrama mostrando as duas linhas que alimentam o filtro / **Figure 10.** Diagram showing the two lines feeding the filter

Após as medições verificou-se que os níveis de ar disperso na linha principal que alimenta o filtro, isto é, a linha da massa vinda dos depuradores, eram significativamente maiores que os níveis de ar disperso na linha do filtrado. Com o auxílio do software de diagnóstico de processos que compõe o Programa constatou-se que os altos níveis de ar na entrada do filtro - massa da linha principal -, estavam afetando significativamente o processo de lavagem, resultando em maior consumo de produtos químicos no reator de oxigênio do pré-branqueamento em função da deficiência de lavagem, tal como mostra a **Figura 11**.

*After measuring, it could be observed that the levels of dispersed air in the main line feeding the filter; i.e. the line carrying stock coming from screens, were significantly higher than the levels of dispersed air present in the filtrate line. With aid of the process diagnostic software composing the Program, it was found out that the high air levels at filter inlet - main line stock -, were significantly affecting the washing process, resulting in higher chemical consumption in the oxygen prebleaching reactor as a consequence of the washing deficiency, as shown in **Figure 11**.*

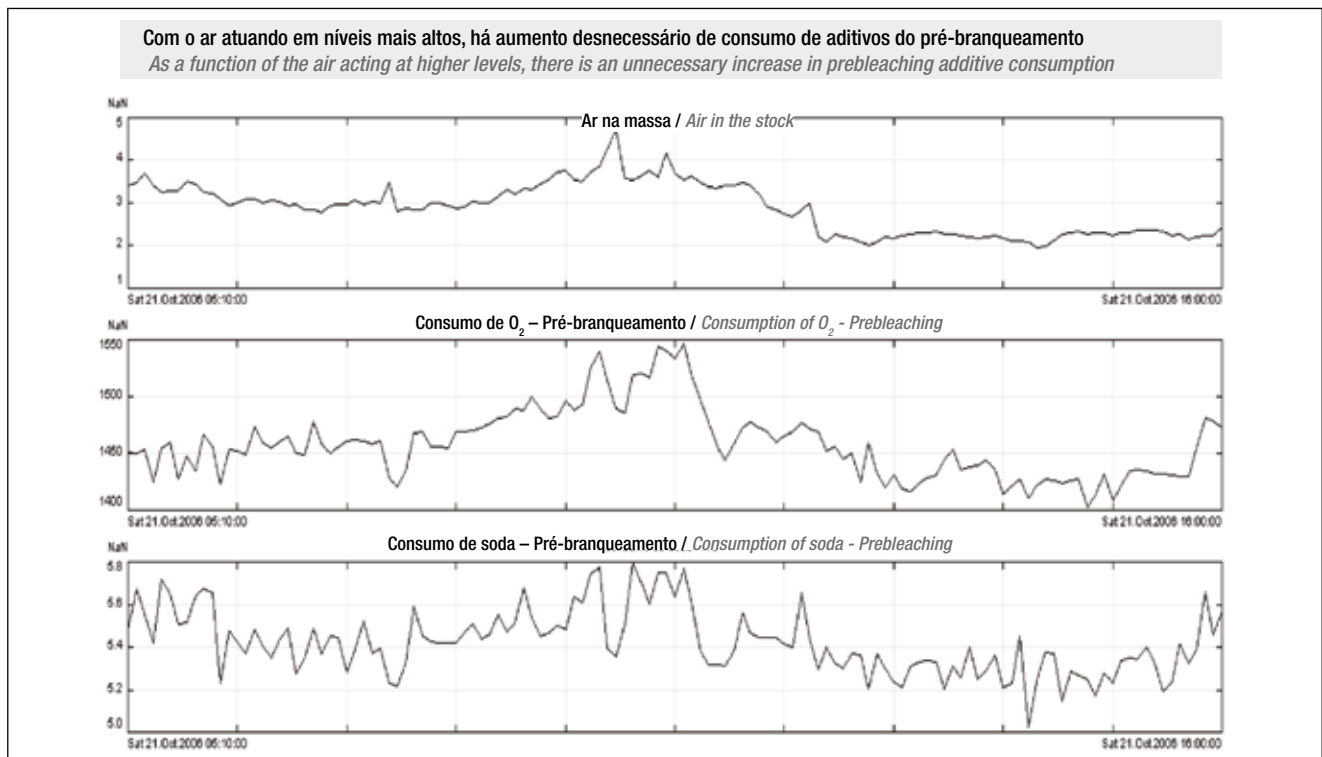


Figura 11. As curvas mostram que uma maior quantidade de ar disperso na massa prejudica a drenagem, resultando em aumento no consumo de químicos no estágio subsequente de branqueamento / **Figure 11.** Curves show that a larger amount of dispersed air in the stock impairs drainage, resulting in an increase in chemical consumption in the subsequent bleaching stage

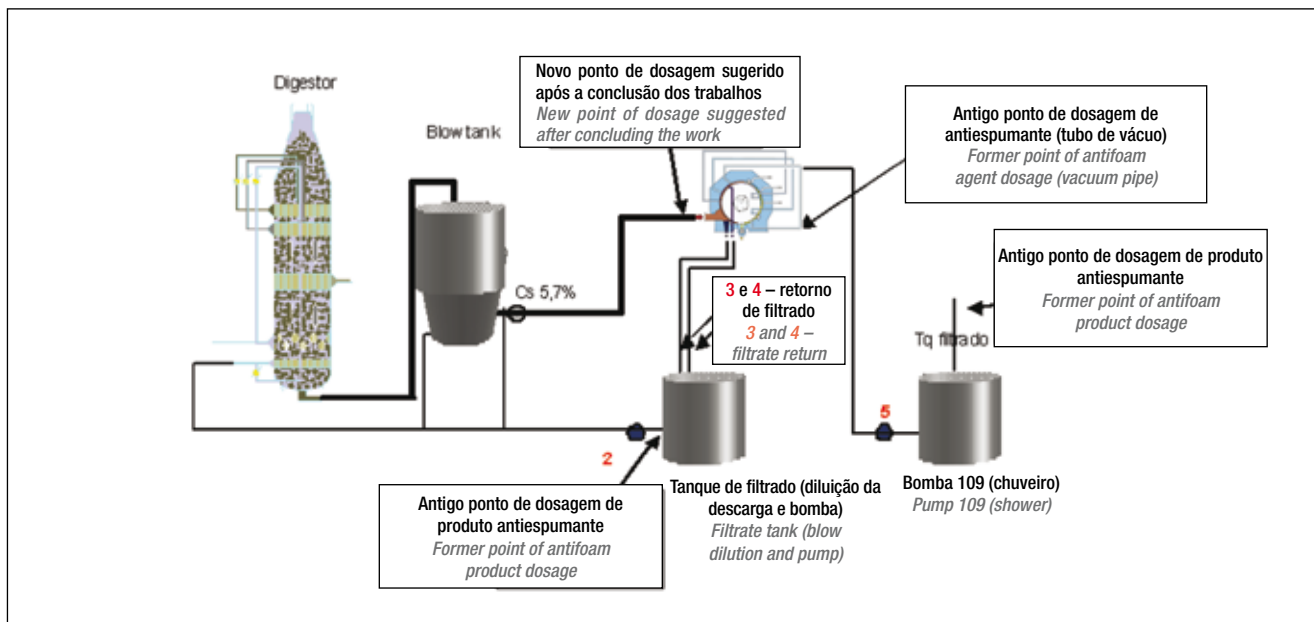


Figura 12. O diagrama acima apresenta os antigos pontos de dosagem de antiespumante e também apresenta o novo ponto de adição sugerido após as conclusões do trabalho feito com as ferramentas do Programa Savcor / **Figure 12.** The above diagram presents the former points of antifoam agent dosage and also the new point of dosage suggested after conclusions of the work carried out using the Savcor Program tools

Com o mapeamento dos níveis de ar disperso foi proposto um novo ponto de dosagem de antiespumante. Antes do estudo, o antiespumante era dosado somente na linha do filtrado, como mostra a **Figura 12**. Visto que as medições e também os diagnósticos do processo mostraram que o ar disperso prejudicial ao processo provinha da linha principal, foi sugerida a dosagem de antiespumante diretamente na massa da linha principal que alimenta o filtro. A Figura 12 também mostra o novo ponto de dosagem de antiespumante.

Com a dosagem de antiespumante no ponto sugerido após o mapeamento do processo a fábrica conseguiu reduzir os níveis de ar disperso, resultando em aumento de mais de 5% na capacidade produtiva do equipamento de lavagem, assim como a redução de álcali no estágio posterior em 0,5 kg/t, o que corresponde a aproximadamente 4% da carga no estágio, isso devido à maior eficiência de drenagem. Além do mais, com o Programa Savcor o antiespumante passou a ser dosado automaticamente, com base nas medições *online* do equipamento instalado em linha, com isso houve a otimização das dosagens do produto e eliminação de consumos superiores ao necessário, o que se traduz em economia de aplicação.

CONCLUSÕES

Para aplicações do Programa Savcor em máquina de papel, os resultados apontam que o ar disperso influencia diretamente a qualidade do produto final devido a aumento de porosidade do papel e diminuição de sua resistência

*As a result of mapping the dispersed air levels, a new point of antifoam agent dosage was proposed. Prior to the study, the antifoam was only dosed in the filtrate line, as shown in **Figure 12**. Since the measurements and the process diagnoses indicated that dispersed air detrimental to the process was coming from the main line, the dosage of antifoam agent was suggested to be added directly into the stock of the main line feeding the filter. The new point of antifoam agent dosage is also shown in Figure 12.*

By putting the dosage of antifoam agent into practice at the point suggested after mapping the process, the mill accomplished to reduce the dispersed air levels, resulting in an increase of over 5% in the productive capacity of the washing equipment, as well as in the reduction of alkali in the subsequent stage by 0.5 kg/t, corresponding to approximately 4% of the load in the stage, this only due to the higher drainage efficiency. In addition, with the Savcor Program the antifoam agent began to be automatically dosed based on the online measurements made by the in-line installed equipment, which made it possible to optimize the dosages of the product, thus avoiding consumption beyond the required level, which is reflected in an economy in product consumption.

CONCLUSIONS

For the applications of Savcor Program in a paper machine, the results point out that the dispersed air has a direct influence on the quality of the final product, as a consequence of increased paper porosity and reduction

mecânica. Além do mais, o processo de drenagem é afetado, constatando-se que com diminuição da proporção volumétrica de ar disperso ocorre alívio no vácuo da mesa plana, sinal de melhor desempenho da máquina. Como a eficiência do *Deculator* ficou em torno de noventa e sete por cento (97,0%), pode-se concluir que o ar disperso prejudicial ao processo era proveniente do circuito de diluição, pois que o ar existente no circuito principal era praticamente eliminado via remoção mecânica. O aumento na dosagem de antiespumante causou diminuição da proporção volumétrica de ar na massa que alimenta a caixa de entrada, resultando em ganhos tanto de qualidade como de desempenho do processo. Assim, a dosagem do antiespumante pode ser conjugada às leituras *online* de ar disperso de forma a haver otimização, ou seja, o produto é dosado somente conforme o necessário, propiciando economia nas aplicações.

A adoção do Programa em um processo de lavagem de polpa marrom proporcionou mudança de conceito e de visão do sistema, uma vez que os pontos de dosagem de antiespumantes estabelecidos na fábrica antes dos estudos realizados eram estabelecidos sem um critério sólido. Os resultados sugeriram um novo ponto de dosagem, que se mostrou mais adequado e que produziu diminuição da proporção volumétrica de ar disperso. Consequentemente, houve aumento de mais de 5% na capacidade produtiva do equipamento de lavagem, bem como redução de álcali no estágio posterior em 0,5 kg/t, o que representa aproximadamente 4% da carga no estágio, isso devido à maior eficiência de drenagem. Com o controle automático e de forma *online* da dosagem de antiespumante, o químico passou a ser dosado segundo as medições do equipamento instalado em linha, revertendo em dosagens corretas segundo os níveis reais de ar disperso, evitando dosagens desnecessárias. ▲

in mechanical strength. Moreover, the drainage process is affected in such a way that when a reduction in volumetric proportion of dispersed air occurs, a relief in the fourdrinier vacuum is observed, which indicates a better performance of the machine. As the Deculator efficiency showed to be about ninety-seven percent (97.0%), it can be concluded that the dispersed air harmful to the process comes from the dilution circuit, since the air coming from the main circuit is practically eliminated via mechanical removal. The increase in the dosage of antifoam agent caused the volumetric proportion of air in the stock feeding the headbox to decrease, resulting in gains in terms of quality and performance of the process. Thus, the dosage of antifoam agent can be combined with the dispersed air online readings, so as to be optimized, i.e. the product is only dosed as strictly required, producing savings in terms of dosages.

The application of the Program to a brownstock washing process provided a change of concept and vision of the system, since the points of antifoam dosage practiced prior to the studies carried out were chosen without being based on a solid criterion. The results suggested a new point of dosage that showed to be more suitable, resulting in a reduction in the volumetric proportion of dispersed air and, as a consequence, in an increase of over 5% in the productive capacity of the washing equipment, as well as in an alkali reduction by 0.5 kg/t in the subsequent stage, which corresponds to approximately 4% of the load in the stage, this only due to the higher drainage efficiency. With the automatic control and the online process adopted for antifoam agent dosage, the product began to be dosed in accordance with the measurements of the in-line installed equipment, resulting in correct dosage according to the dispersed air levels, so as to avoid unnecessary applications. ▲

REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. DE CEW, J.A. *Method and means for extracting air from paper stock*. US Patent 1,853, 849, 1930.
2. DE CEW, J.A. *Paper-making method and apparatus*. US Patent 1,704,728, 1929.
3. DE CEW, J.A. *The adverse function of gases in papermaking*. Paper Trade Journal, 1935, p. 43-44.
4. GAVELIN, G. *Some effects of gases on properties of fibre suspensions*. Pulp and Paper Mag. Canadá, 1954, p. 191-200.
5. HELLE, T.M. *Qualitative and quantitative effects of gas content on papermaking*. Paperi ja Puu, 2000, p. 457-463.
6. HELLE, Topi. *Characterisation and removal of gas in papermaking*. Doctoral Thesis. Helsinki University of Technology, Laboratory of Paper and Printing Technology, Helsinki, 2007.

7. ISLER, W; WILMER, F. *Formation and Separation of Air Bubbles in Technical Pulp Suspension*. Das Papier, vol. 33, No 3, 1992.
8. KARRAS, M; PIETIKÄINEN, T.; KORTELAINEEN, H.; TORNBERG, J. *Ultrasonic measurement of gaseous air on pulp suspensions*. Tappi Journal, 1988, p. 65-69.
9. KIRCHNER, U. *Über den Luftgehalt in Papierstoffsuspensionen, Dissertation+addition*, Biberbach 1979, 100 p. *apud HELLE, Topi. Characterisation and removal of gas in papermaking*. Doctoral Thesis. Helsinki University of Technology, Laboratory of Paper and Printing Technology, Helsinki, 2007.
10. LORZ, R.H. *Air content, retention, drainage: Important parameters in paper/board production*. Pulp & Paper Canada 88, 1987, p. 85-89.
11. MATULA, J.P.; KUKKAMÄKI, E. *New findings of entrained air and dissolved gases in PM wet end, mill case study*. Tappi Proceedings 1998 Papermakers Conference, 1998. p. 245.
12. PIETIKÄINEN, T. *Effects of various furnish components on the stabilization of entrained air measured with an ultrasound air content meter*. Acta Universitatis Ouluensis. Series C 63. Oulu, 1992a, p. 36.
13. PIETIKÄINEN, T. *Ultrasonic Measurements of Entrained Air in Paper Maker Furnish*. Dissertation Acta University Ouluensis C65, Oulu, 1992b, p.102.
14. PRIMOZ, Lorencak; PETER, Baumann. *Deaeration in high temperature systems*. BASF technical information, Melbourne, Australia, 1999.
15. RAUCH, R.; SANGL, R. *Latest findings on entrained air and dissolved gases in pulp suspensions*. Tappi Proceedings Papermakers Conference, 2000. p. 159.
16. RISK, A.E. *Selecting paper stock pumps*. Pulp and Paper Mag. Canada, 1960, p. 103-105.
17. SHACKFORD, L.D. *Bleach washer performance*. Proc of Tappi Bleach Plant Operations Short Course, Atlanta, USA, 1992, pg.147-161.
18. STOOR, Tuomas. *Air in pulp and papermaking processes*. Dissertation Acta University Ouluensis, C243, Oulu, 2006.
19. WANG, J.; PELTON, R.; HRYMAK, A.N.; KWON, Y. *New Insights into Dispersed Air Effects in Brown stock Washing*, TAPPI J.84(1): 2001.
20. WEISE, U.; TERHO, J. & PAULAPURO, H. *Stock and water systems of the paper machine*. In PAULAPURO, H (ed.). Papermaking Science and Technology, Book 8. Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wed End, Fapet. Helsinki, Finland, 125-192, 2000.