

MODELAGEM MATEMÁTICA DE REDE DE FILAS PARA O DESCARREGAMENTO DE CANA EM USINA SUCRO-ALCOOLEIRA

Ademar Nogueira do Nascimento
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP/UFBA)
Rua Aristides Novis, 02. CEP: 40.210-630- Salvador, Ba.
e-mail: annas@ufba.br

Frederico R. B. Cruz
Departamento de Estatística – Universidade Federal de Minas Gerais (DE/UFMG)
Av. Antônio Carlos, 6627. CEP: 31270-901 – Belo Horizonte – MG
e-mail: fcruz@ufmg.br

Milene S. Castro
Departamento Engenharia de Produção– Universidade Federal de Minas Gerais
(DEP/UFMG)
Av. Antônio Carlos, 6627. CEP: 31270-901 – Belo Horizonte – MG
e-mail: mscastro@ufmg.br

Resumo

O presente artigo discute uma metodologia para a modelagem de rede de fila de espera em indústria sucro-alcooleira localizada no Estado da Bahia, Brasil, com base em ferramental estatístico, definindo e quantificando parâmetros como o número médio de veículos na fila, o tempo médio em espera na fila e para a operação de descarga, bem como as probabilidades dos tombadores (guindastes) estarem ocupados e desocupados. A rede estabelecida refere-se às instalações de serviço para o tombamento da carga, quais sejam: balança, plataforma de amostragem e guindastes. Com base no software Quantitative Systems for Business Pluss – QSB⁺, foram feitas simulações de descarregamentos variando-se o número de tombadores.

Palavras-Chaves: Otimização; Rede de Filas de Espera; Açúcar e Álcool

1. Introdução

O presente estudo de caso aborda uma metodologia para a modelagem de rede de filas em indústria sucro-alcooleira, localizada no Estado da Bahia, Brasil, definindo e quantificando parâmetros como o número médio de veículos na fila de espera e em atendimento, o tempo médio em espera na fila e para a operação de descarga, e as probabilidades dos tombadores (guindastes) estarem ocupados, dentre outros.

As redes de filas podem ser definidas como sendo um conjunto de instalações de serviço onde os clientes que chegam nesse sistema devem ser atendidos em algumas ou todas essas instalações. Resumidamente, as essas redes podem ser classificadas como fechadas, quando o número de clientes no interior do sistema é constante (caso do público em cinema) e aberta, quando ocorre variação do número total dos clientes (usuários do transporte coletivo). Essa

segunda classificação, rede aberta, poderá ser ilustrada também pelo estudo de caso em questão, vez que se caracteriza pela possibilidade de entrada e saída de veículos transportadores de cana no ambiente industrial, cujas estações de serviço são: balança para a pesagem da carga, plataforma de tomada de amostras para efeito de avaliação da qualidade da matéria-prima, e os guindastes tombadores da carga.

Assim, quando o fluxo de caminhões em direção à indústria é muito maior do que a capacidade de descarga, ocorre a formação de longas filas de espera para o descarregamento, implicando em excessiva demanda de operários e recursos materiais. Portanto, modelar o comportamento da fila é bastante útil para o planejamento da capacidade dessas instalações, já que excesso ou falta de matéria-prima poderá comprometer a qualidade dos produtos [1].

2. Aplicação e desenvolvimento

2.1. O fluxo de matéria-prima para a base industrial

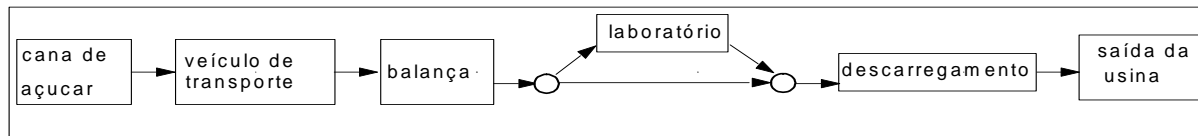
Para as atividades agro-industriais, como é o caso das produtoras de açúcar e álcool, é imprescindível estabelecer uma perfeita sincronia entre lavoura e indústria, já que o eficiente controle do fluxo de transporte de matéria-prima em direção à usina tem efeito decisivo sobre a taxa de utilização da moagem. Fluxos de chegadas abaixo da capacidade das moendas poderão implicar em ociosidade do processo produtivo, enquanto que taxas de chegadas elevadas poderão sobrecarregar o sistema, colocando a plataforma de descarga e o *tandem* (conjunto de rolos de moagem) em seus respectivos limites de capacidade.

O processo de descarga na usina inicia-se com a entrada dos caminhões na área industrial. Nesse momento o motorista pára o veículo com a carga sobre a balança, onde é registrado o peso bruto, a data e o horário de entrada. Em seguida parte dos veículos direcionam-se para a plataforma de coleta de amostra (laboratório), enquanto que a outra parte segue para uma das plataformas de descarga, onde aguarda a vez de ser atendido. Após a coleta, os veículos posicionados na plataforma do laboratório juntam-se aos demais na fila do descarregamento.

O procedimento interno da Usina Aliança exige que todos os veículos de terceiros sejam direcionados na plataforma de coleta de amostra para o exame de qualidade, mas apenas 10% dos veículos que conduzem cana própria são destinados para este fim. Assim, apenas 30% dos veículos são obrigados a realizar o serviço de amostragem, os demais (70%) deslocam-se diretamente às plataformas para o tombamento de suas respectivas cargas. Constata-se, portanto, a existência de formação de uma rede de filas estabelecida em pelo menos três

momentos, quais sejam: 1) pesagem da carga bruta; 2) coleta de amostra para exame da qualidade; 3) descarregamento. A Figura 1, mostra o fluxo dos veículos de carga na usina, com os pontos de formação de fila de espera.

Figura 1 – Representação do fluxo de caminhões de cana na indústria



Uma vez concluído o serviço de descarga, o veículo deixa a área industrial passando novamente pela balança (lado oposto) a fim de registrar o horário de saída e o peso do caminhão vazio (tara). Desse modo, por diferença, é calculado o peso líquido que foi entregue à usina. Esse procedimento é realizado continuamente ao longo de toda a safra sendo registrado em tabelas denominadas de *relatórios de pesagem*.

3. Metodologia

3.1. Informações gerais sobre a fonte de dados

O presente trabalho foi desenvolvido nas instalações da Usina Aliança, localizada no município de Amélia Rodrigues, interior da Bahia, contemplando dados das safras 2003/2004 e 2005/2006. A usina é produtora de açúcar e álcool e tem capacidade de moagem de 170 toneladas de cana/hora, produzindo em média 7,0 milhões de litros de álcool e 40.000 t de açúcar por safra. A sua infra-estrutura para o transporte e descarga de matéria-prima é composta de 50 caminhões de carga (próprios e de terceiros), com capacidade média de 12 t de cana por viagem, balança de pesagem automática, *sonda* eletro-mecânica para amostragens de matéria-prima, bem como de três estações para o tombamento da carga (tombadores).

Apesar da usina operar 24 horas por dia durante a safra, optou-se por trabalhar em um intervalo de tempo onde a frequência de chegadas de veículos de transporte de cana (caminhões) fosse supostamente mais intensa, ou seja entre 8h e 18h de cada um dos dez dias disponíveis nos *boletins de pesagens* (cinco para cada safra). Esse intervalo de tempo, porém, foi desagregado entre período da manhã (das 08:00h às 13:00h) e período da tarde (das 13:00h às 18:00h), cada um destes compreendendo a cinco horas.

3.2. Levantamento e tratamento de dados

Para a modelagem da fila foram acompanhados e analisados 1.145 descarregamentos, os quais são continuamente registrados no *Relatório de Pesagem*. Esses dados foram coletados em dez datas (cinco para cada safra) ao longo de diferentes meses. Com base nessas datas, e conforme discutido no item 2.1, foram calculadas as taxas de chegada (λ) e de serviço (μ), bem como testadas as distribuições de probabilidade que mais se ajustavam aos dados coletados.

3.3. Fonte e taxa de chegada

A fonte de chegada corresponde ao número de caminhões que possam requisitar serviços de tempos em tempos, ou seja, o número total de veículos na população. Este número pode ser finito ou infinito, de modo que a fonte de chegada é dita ser limitada ou ilimitada. Apesar do número de caminhões à disposição para realizar o transporte da cana ser finito (50 veículos), o elevado número de vezes que este retorna à fila permite supor uma fonte ilimitada.

Por sua vez, o padrão estatístico (distribuição de probabilidade) no qual os veículos são gerados no tempo, ou seja a taxa de chegadas (λ), também precisa ser especificado. A suposição mais comum é que o número de clientes gerados até qualquer tempo específico esteja de acordo com uma distribuição de probabilidade de Poisson. Esta distribuição é caracterizada pela aleatoriedade dos eventos (chegadas), porém a uma certa taxa média.

Com base no teste do Qui-Quadrado (χ^2) [2] foi analisada a probabilidade das frequências das chegadas, retiradas dos *Relatórios de Pesagens*, pertencerem a uma distribuição de Poisson, já que, por suas características, a exemplo de ser uma distribuição discreta, seria uma das mais indicadas para o caso em estudo. A aplicação do referido teste, com os correspondentes resultados, encontra-se no Anexo 1

3.4. Mecanismo e taxa de serviço

Os mecanismos de serviço na usina consistem em um sistema de múltiplas fases (pesagem, amostragem e descarregamento) e múltiplos canais (três tombadores em paralelo). De um modo geral, para um cliente em uma instalação de serviço, o intervalo de tempo desde o começo deste serviço até sua conclusão, é chamado de tempo de serviço ($1/\mu$). Porém, assim como no caso do processo de chegada, o mecanismo de serviço deve especificar a distribuição de probabilidade dos tempos envolvidos.

O teste aderência para o tempo de serviço, entretanto, exigiria que fossem cronometrados os correspondentes tempos de operação para o atendimento de cada caminhão em suas diferentes

demandas (pesagem da carga, tomadas de amostra e tombamento), dados estes não controlados pela usina e, portanto, não disponíveis. Sabe-se, porém, que pela *Propriedade de Equivalência* [3] se uma instalação de serviço com s servidores apresenta chegadas de acordo com um processo de Poisson, com parâmetro λ , onde $s\lambda > \mu$, então a saída desta instalação, em estado de equilíbrio, também está de acordo com a distribuição de Poisson, podendo-se supor que o intervalo de tempo entre saídas (tempo de serviço) seja exponencial. Assim sendo, adotou-se que caso se confirmasse a distribuição para o processo de chegadas, admitiria-se, com base na referida *Propriedade de Equivalência*, que a distribuição do tempo de serviço estaria de acordo com a distribuição exponencial.

4. Modelagem matemática

O conteúdo teórico sobre os conceitos de filas aqui analisados, inclusive a dedução das equações matemáticas apresentadas, baseia-se em fundamentos estatísticos aplicados à Pesquisa Operacional, podendo ser encontrado em diversas referências científicas sobre o tema, a exemplo de Hillier [3] e Wagner [4]. Destaca-se nesse contexto o conceito de *estado de equilíbrio*, em que quando um sistema de fila começa a operar recentemente o seu estado (número de usuários) é muito afetado pelo tempo decorrido até então. O sistema, nesta condição, é dito encontrar-se em seu *estado transiente*, caso contrário, quando o sistema já opera há um longo tempo desde o seu início, diz que o mesmo alcançou o seu *estado de equilíbrio*. Por este princípio haveria uma natural tendência de que após um dado sistema começar a operar, a taxa de chegadas de usuários para serem atendidos por uma estação de serviço se aproximaria da taxa de usuários que deixam a correspondente estação.

Para a modelagem de qualquer fila, neste caso a fila de caminhões a serviço na usina, faz-se necessário calcular a taxa média de chegada dos veículos de carga (λ), a taxa média de serviço em cada estação (μ), identificar, estatisticamente, as correspondentes distribuições de probabilidade das mesmas, estabelecer o número de servidores disponíveis em cada instalação de serviço (s), a ordem de descarga (disciplina da fila, geralmente do tipo *primeiro a chegar, primeiro a ser atendido*), bem como o tamanho da fonte de chegada, ou seja o número de veículos que podem, a qualquer momento, demandar o serviço de descarga. Esses dados consistem nas entradas do processo de modelagem, cuja notação é a seguinte:

$N(t)$ = Número de clientes no sistema de fila no tempo t ($t > 0$)

λ_n = Taxa média de chegada (número esperado de chegadas de caminhões, quando n veículos estão no sistema).

μ_n = Taxa média de serviço (número esperado de veículos concluindo o serviço, quando n veículos estão no sistema).

s = Número de servidores no sistema de fila

Por sua vez, os referidos dados de saída, são:

L = Número esperado de veículos no sistema de fila (veículos na fila e em atendimento)

L_q = Número esperado de veículos apenas na fila

W = Tempo de espera dos veículos no sistema (tempo de fila e em atendimento)

W_q = Tempo de espera dos veículos exclusivamente na fila

P_n = Probabilidade de existirem exatamente n veículos no sistema de fila

$\rho = \lambda/s.\mu$, corresponde ao fator de utilização da instalação de serviço, ou seja a fração de tempo esperada em que os servidores estão ocupados.

Este último parâmetro ρ , é determinante para a continuação dos trabalhos, visto que um sistema de filas só poderá ser modelado em seu *estado de equilíbrio*, ou seja quando $\lambda/s.\mu < 1$, caso contrário, $\rho > 1$, diz-se que o sistema encontra-se fora de controle: a fila *explode!*

4.1. Formulários para modelos de filas

A depender do comportamento estatístico gerado pelos dados levantados, pode-se dispor de grande variedade de formulário para representar os diferentes modelos de filas já consolidados em literatura [5]. Assumindo-se, por exemplo, que o sistema em estudo comporte-se como um modelo básico (taxas de chegadas de acordo com o processo de Poisson e tempos de serviço exponencial) encontram-se disponíveis equações matemáticas que podem vir a representá-lo. Nesse caso, as equações empregadas para calcular os parâmetros de saída, em caso de servidores múltiplos e único, são:

Servidores múltiplos

- $\rho = \lambda/s.\mu$
- $W = W_q + 1/\mu$;

Servidor único

- $\rho = (\lambda/\mu)$
- $W = 1 / (\mu - \lambda)$

- $W_q = L_q/\lambda;$ $W_q = \lambda/[\mu (\mu - \lambda)]$
- $L = (L_q + \lambda/\mu)$ $L = \lambda / (\mu - \lambda)$
- $L_q = P_o (\lambda/\mu)^2 \cdot \rho / [s!(1 - \rho)^2]$ $L_q = \lambda^2 / [\mu (\mu - \lambda)]$
- $P_o = 1/[\Sigma(\rho)^n / n! + (\rho)^s / s! (1/(1 - \rho s))]$ $P_o = 1 - \rho$
- $P_n = [(\lambda/\mu)^n] / s!s^{n-s}$ $P_n = (1 - \rho)\rho^n$

Entretanto, dadas as dificuldades operacionais no que se refere ao tratamento e emprego dessas equações, algumas envolvendo somatório e fatorial, bem como a fim de permitir a simulação de diferentes estados do sistema, optou-se pela utilização do aplicativo QSB⁺ - Quantitative System for Business Plus [6], o qual permite rapidamente calcular cenários atuais e futuros apenas variando-se os parâmetros de entrada do sistema de fila.

5. Resultados e discussões

A partir dos dados contidos nos *relatórios de pesagem e no Anexo 1*, pôde-se construir a Tabela 01, contendo as taxas de chegadas (λ) e de serviço (μ), em função dos turnos estabelecidos. Esses parâmetros, constituem-se nos dados de entrada a serem empregados no formulário dos modelos matemáticos sobre *teoria de filas*, conforme discutido no item 4.1.

Tabela 1 Taxas de chegada e de serviço em função do período analisado

Período	Balança		Laboratório		Tombadores	
	λ Cheg./min.	μ Atend./min.	λ Cheg./min.	μ Atend./min.	λ Cheg./min.	μ Atend./min.
Manhã	0,3155	0,5	0,058	0,0471	0,1825	0,20
Tarde	0,2122	0,5	0,045	0,0471	0,1422	0,20

Fonte: Cálculos dos autores (memória encontra-se no Anexo 1)

Com base no Anexo 1, constata-se que as frequências de chegada dos veículos à usina estão praticamente de acordo com o processo de Poisson, visto que o valor de *qui-quadrado observado* ($\chi_{obs}^2 = 13,16$), foi praticamente coincidente com o seu correspondente valor de tabelado ($\chi_{tab}^2 = 12,59$), apesar de que χ_{obs}^2 deveria ser menor do que χ_{tab}^2 . De modo equivalente o *p-value* encontrado (0,04) foi também quase coincidente com o *nível de significância* (0,05), fato que reforça o enquadramento na distribuição de Poisson.

Este mesmo teste foi também aplicado para as saídas da balança e chegadas na plataforma de amostragem da matéria-prima. Neste caso os resultados foram ainda mais convincentes, pois o

valor de χ_{obs}^2 (3,78) foi de fato menor do que o do χ_{tab}^2 (7,81), o que confirma a *Propriedade de Equivalência* (item 3.4), indicando ainda que a suposição da distribuição exponencial para o tempo de serviço poderá, de fato, está correta.

De acordo com o exposto acima, estendeu-se para toda a rede a suposição de que o sistema de filas para o descarregamento dos caminhões com cana na usina está de acordo com o modelo básico, ou seja, chegadas de Poisson e tempo de serviço exponencial.

Ainda com base na Tabela 1, constata-se que as taxas de chegadas (λ) variam em função do período analisado, o que não ocorre com a taxa de serviço (μ), para um mesmo tipo de servidor. Observações *in loco*, permitem afirmar que há uma baixa sensibilidade entre o tamanho da fila e o tempo de execução do serviço, já que não há mudanças de procedimento para tanto, talvez por serem operações semi-automatizadas, onde a participação de operários, pelo menos em algumas fases de cada processo, é limitada.

De posse desses dados pode-se ainda observar alguma variabilidade entre as chegadas matutinas ($\lambda = 0,3155$ veículos/minuto) e vespertinas ($\lambda = 0,2122$ veículos/minuto), sendo que a matutina é aproximadamente 50% maior do que a vespertina. Isto influencia as taxas de transferências internas dos veículos entre as diferentes instalações de serviço, conforme também poderá ser visto na Tabela 1. Este comportamento, entretanto, não é observado nos tempos necessários às realizações dos diferentes serviços, certamente pelas mesmas razões anteriormente citadas, as quais estão associadas à mecanização da atividade.

Conforme visto no *item 2*, parte dos veículos que chegam às instalações industriais, após registro do peso bruto na balança, devem dirigir-se à coleta de amostra da carga (30% do total) sendo que a outra parte dirige-se diretamente ao serviço de descarga (70%). Essa divisão gera novas taxas de chegadas nas instalações subseqüentes, quais sejam: 0,058 veículos/minuto e 0,045 veículos/minuto no laboratório e 0,1825 veículos/minuto e 0,1422 veículos/minuto nos tombadores, para os períodos da manhã e da tarde, respectivamente.

Por sua vez, a partir dos dados de entrada, conforme consta na Tabela 1, e assumindo-se que este sistema de fila apresente comportamento com chegadas de Poisson e taxa de serviço exponencial, foram feitas simulações com o número de tombadores (s) variando entre 1 e 3, sendo anotados os correspondentes resultados. As simulações realizadas foram geradas pelo *software QSB⁺*, cujos resultados encontram-se na Tabela 2

Tabela 2. Resultados do sistema de fila em função do turno analisado

Balança								
Período	S	L_q	L	W_q	W	$P_o(\%)$	$P_w(\%)$	ρ
Manhã	1	1,07	1,71	3,14	5,42	36,90	63,10	63,10
Tarde	1	0,31	0,74	1,47	3,47	57,56	42,44	42,44
Laboratório								
Período	S	L_q	L	W_q	W	$P_o(\%)$	$P_w(\%)$	ρ
Manhã	1	0,07	0,31	1,20	5,20	76,80	23,20	23,20
Tarde	1	0,04	0,22	0,87	4,87	82,12	17,88	17,88
Tombadores								
Período	S	L_q	L	W_q	W	$P_o(\%)$	$P_w(\%)$	ρ
Manhã	1	9,52	10,42	52,14	57,14	8,75	91,25	91,25
	2	0,24	1,15	1,31	6,31	37,33	28,58	45,62
	3	0,03	0,94	0,17	5,17	39,82	7,24	30,42
Tarde	1	1,75	2,46	12,30	17,30	28,90	71,10	71,10
	2	0,10	0,81	0,72	5,72	47,54	18,64	35,55
	3	0,01	0,73	0,08	5,08	48,96	3,84	23,70

Os dados obtidos na Tabela 2, sugerem que o sistema desloca-se na direção de um *estado de equilíbrio*, conforme descrito no item 4. Tal suposição baseia-se na observação de que a taxa de chegadas do turno matutino (0,3155 veículos/minuto) é maior do que a do período subsequente (0,2122 veículos/minuto), de modo que o tempo entre chegadas sucessivas ($1/\lambda$) aumenta de 3,17 minutos para 4,71 minutos, ficando portanto, mais espaçado à medida que o tempo aumenta. Isto indica que após longos períodos de observação essas taxas podem vir a se equivaler. Observa-se ainda que como λ/μ é menor que 1, pode-se trabalhar com servidor único em quaisquer das instalações, apesar desta opção impor tempos de espera nos servidores muito superiores do que quando se empregam pelo menos dois servidores. Com servidor único, a instalação que demandaria maior tempo seria o tombador, no período matutino, onde o tempo médio de espera no sistema se aproximaria de 60 minutos. A mesma análise poderá ser feita para o turno vespertino, entretanto, neste caso o tempo de espera pelo serviço seria muito menor (12,30 minutos) quando comparado com o turno matutino.

A opção de se trabalhar com servidor único, para o caso dos tombadores, e a imposição nos casos da balança e da sonda amostradora, poderá vir a ser fator limitante diante de uma eventual necessidade de aumento do ritmo da moagem. Em um cenário de taxa de chegadas equivalente à necessária para se cobrir o dobro da capacidade de moagem (170 t de cana/h), ou seja $\lambda = 0,4722$ veículos/h, o que pode vir a ser praticado em caso de proximidades de período chuvoso com muita intensidade, fato que exige um incremento do provisionamento de matéria-prima, o tempo de espera apenas na balança (36 minutos), seria de aproximadamente 12 vezes superior ao cenário atual (3,14 minutos), conforme consta na Tabela 2. Isto faria com que a fila para descarregamento no tombador, cuja taxa de serviço é de 0,20 veículos/minuto, viesse a aumentar incontrolavelmente, distanciando-se do estado de equilíbrio.

Por sua vez, quando mais um tombador for colocado à disposição dos veículos de carga, tanto o comprimento da fila (L_q) quanto o tempo médio de espera para o descarregamento (W_q), é significativamente reduzido. O número de veículos no sistema (L), por exemplo, diminui de 10,42 caminhões para 1,15 caminhões, no período da manhã e de 2,46 caminhões para 0,81 caminhões no período da tarde. Este mesmo impacto, porém, não é observado quando se dispõe do terceiro equipamento, implicando em reduções de ambas as variáveis (L e W) de modo bem menos expressivo. O tamanho da fila, por exemplo, diminui de 1,15 para 0,94 veículos no turno matutino, e de 0,81 para 0,73 veículos vespertino. Toda esta análise é análoga quando se comparam os correspondentes tempos de espera.

Isto sugere que provavelmente a otimização do número de tombadores, ou seja, o número ótimo de equipamentos de descarga que deveriam ficar disponíveis, de modo a minimizar os custos totais da operação (custo de oferecer o serviço adicionado ao custo de esperar pelo serviço), corresponderia a apenas dois equipamentos, não havendo, portanto, a necessidade de se ofertar, pelo menos continuamente, os serviços do terceiro tombador. Neste caso, entretanto, a ociosidade dos equipamentos seria pouco impactada, saltando de 37,33% para 39,82% no período da manhã, e de 47,54% para 48,96% durante a tarde, fato que reforçaria a necessidade de apenas duas instalações de serviço disponível.

Uma análise mais precisa da otimização, entretanto, só poderá ser alcançada no momento em que os custos marginais (de esperar e oferecer o serviço) que compõem o custo total, sejam conhecidos, objeto este que deverá estar presente apenas na segunda fase deste estudo de caso.

6. Conclusões

Pelo exposto pode-se concluir que o dimensionamento do sistema de fila da uma usina é de fundamental importância para o planejamento da capacidade da instalação, não apenas porque auxilia na compreensão do sistema de transporte de matéria-prima à usina, revelando dados como o tamanho da fila e o correspondente tempo de espera na mesma, mas principalmente porque contribui de modo significativo para o planejamento das operações da agro-indústria, tanto a montante quanto a jusante do processo de transformação da cana em seus produtos e sub-produtos [7]. Com os resultados obtidos pode-se, por exemplo, inferir quanto à necessidade em se operar com um determinado número de tombadores de modo otimizado, minimizando custos, bem como pode-se também planejar o ritmo das chegadas de caminhões de carga, e portanto das descargas na usina, de modo que a taxa de entrega de cana na fábrica esteja em equivalência com a sua capacidade de moagem. Isto é de importância decisiva, uma vez que descarregando-se uma quantidade de matéria-prima muito distante desta capacidade, poderá vir a implicar em ociosidade ou em sobrecarga do sistema, devendo comprometer a qualidade dos produtos finais, bem como os custos de todo o processo, tanto do lado agrícola quanto do lado industrial.

O conhecimento prévio de possíveis comportamentos do sistema de fila poderá ser útil também no planejamento da disponibilidade de recursos humanos e materiais a serem assegurados nos diferentes turnos de trabalho. Quando se prevê, por exemplo, que para determinado período é suficiente se trabalhar com um certo número de tombadores, favorece-se ao planejamento do número de operários que deveriam encontrar-se disponíveis naquele momento. Isto também permitiria o cálculo das necessidades das utilidades industriais, como seria o caso da demanda de água de lavagem de cana e vapor de processo a serem assegurados às operações de produção. Outras variáveis a jusante do ponto de descarga certamente também seriam afetadas. É o caso da disponibilidade de insumos, a exemplo da quantidade de enxofre aplicado por tonelada de caldo para a fabricação de açúcar, ou ainda a necessidade de nutrientes empregados durante a fermentação alcoólica.

Por outro lado, o não levantamento dos custos otimizados para o sistema de descarregamento no presente estudo, indica que a contribuição ora oferecida restringe-se à modelagem da fila. A otimização do número de tombadores a partir da minimização dos custos envolvidos, bem

como o balanceamento da taxa de descarga de cana com a capacidade do *tandem* de moagem, encontram-se em fase de estudo.

Destaca-se ainda que os estudos e os resultados aqui apresentados foram embasados na observação e análise do processo produtivo, bem como de consultas feitas ao Gerente de Produção [8] e operários da Usina Aliança, os quais conhecem a rotina do sistema de transporte e descarga de cana da mesma, tendo feito indicações positivas de que os resultados do modelo proposto, é de fato útil para o planejamento da capacidade desta agro-indústria, podendo representar parte de suas operações produtivas, estabelecendo cenários futuros.

Pode-se afirmar que apesar do número de descarregamentos tomados como base de análise ter sido expressivo (1.145), o número de dias levantados (apenas dez), se ampliado poderá tornar o tratamento estatístico ainda mais consistente. Outra limitação diz respeito à inexistência de controle do tempo de chegada e de saída dos veículos na plataforma do laboratório, bem como do descarregamento propriamente dito, fato que dificulta o teste de aderência para o tempo de serviço.

Outro elemento a ser destacado diz respeito às datas dos dados que foram disponibilizados para a realização deste estudo. Quatro dessas datas, por exemplo, correspondiam ao mês de fevereiro, período relativamente irregular da produção sucro-alcooleira na região (período chuvoso) onde está instalada a Usina (Recôncavo baiano) fato que geralmente interrompe o processo da colheita e transporte de cana.

7. Referências bibliográficas

- [1] Payne, J.H. Operações Unitárias na Produção de Açúcar de Cana. Ed. Nobel, 1990.
- [2] Laponi, J. C. Estatística usando Excel. Ed. Campus, 2005
- [3] Hillier, F.S e Liberman G.J. Introdução a Pesquisa Operacional. Ed. Campus, 1988.
- [4] Wagner, H.M. Pesquisa Operacional. Ed. Prentice Hall do Brasil, 1986.
- [5] Gaither, N. & Fraizer, G. Production and Operations Management. Ed. Thonson 1999.
- [6] Chang, Yih-Long; Sullivan, R. S. QSB⁺ : Version 2.1. New Jersey. Ed. Prentice Hall, 1996
- [7] Nascimento, A. N. Otimização da Capacidade de Instalações Sucro-Alcooleiras. Tese de Doutorado. UNICAMP/DESQ, Campinas, São Paulo, fevereiro/2006.
- [8] Entrevista com o Eng. João Santana. Gerente de Produção da Usina Aliança, 05/12/2006.

ANEXO 1. APLICAÇÃO DO TESTE DE ADERÊNCIA PARA POISSON

CH/H	FO	MEDIA	P(X)	FE	NOVA FE			
0	1	0	1,0308E-04	0,005154				
1	1	1	9,4628E-04	0,047314				
2	2	4	4,3434E-03	0,217171				
3	4	12	1,3291E-02	0,664544				
4	0	0	3,0503E-02	1,525127	FE	FO	QUI	
5	1	5	5,6003E-02	2,800134	5,259444	9	2,7	
6	7	42	8,5684E-02	4,284205	9,902634	12	0,4	
7	5	35	1,1237E-01	5,618429	6,447147	4	0,9	
8	4	32	1,2894E-01	6,447147	6,576090	3	1,9	
9	3	27	1,3152E-01	6,576090	6,036851	2	2,7	
10	2	20	1,2074E-01	6,036851	5,038026	3	0,8	
11	3	33	1,0076E-01	5,038026	10,74	17	3,7	
12	4	48	7,7082E-02	3,854090			13,2	
13	3	39	5,4432E-02	2,721581				
14	2	28	3,5692E-02	1,784579	N ^o de observações =		50	
15	4	60	2,1843E-02	1,092163	N ^o de chegadas =		459	
16	1	16	1,2533E-02	0,626628	Média amostral =		9,18	
17	0	0	6,7676E-03	0,338379	QUI QUAD OBS		13,16	
18	2	36	3,4515E-03	0,172573	QUI QUAD TAB		12,59	
19	0	0	1,6676E-03	0,083380	TESTE QUI (p value encontrado)		0,04	
20	0	0	7,6543E-04	0,038272	DIST QUI		0,04	
21	1	21	3,3460E-04	0,016730				
22	0	0	1,3962E-04	0,006981				
SOMA FO		MEDIA						
50		9,18						