

A relevância da temperatura no transporte de líquidos a granel

Segundo a ANTT (Agência Nacional do Transporte Terrestre) dos quase 319,8 bilhões de TKU (tonelada quilômetro útil) movimentadas por via ferroviária, do início deste ano até o final do mês de outubro, cerca de 10% (~30,90 Bi) são provenientes de Rondonópolis/Mato Grosso. Outros 5,41 bilhões (~1,70%) chegam a Rondonópolis vindos de 8 origens distintas.

Entre chegadas e partidas, movimentam-se 16 diferentes produtos e, dentre eles, Álcool, Gasolina e Óleo Diesel. Estes líquidos, como outros materiais, são suscetíveis a variação de volume em função da variação de temperatura. Isto porque, a temperatura é uma grandeza física que mede a energia cinética (agitação) média translacional, rotacional e vibracional dos átomos e moléculas que constituem um corpo. Quanto maior for a agitação das moléculas, maior será a sua temperatura e, a uma pressão constante, maior será o volume necessário para acomodar todas estas partículas.

Desta forma, a densidade, que é a relação entre a massa de determinado material e o volume por ele ocupado (eq.1), tem o seu valor reduzido com o aumento da temperatura.

$$d = \frac{m}{v} \quad (\text{eq.1})$$

Aonde:

d = densidade do material em estudo (Kg/m³);

m = porção de massa do material em estudo (Kg) em dada temperatura;

v = volume ocupado pela porção de massa do material em estudo (m³) em dada temperatura;

Em matéria publicada em seu website no dia 19/05/2023, o Canal Rural noticiou o avanço do volume transportado de álcool, via férrea e por 1.200Km, entre Rondonópolis/MT e Paulínia/SP.

Agora tenha-se que (apenas para exemplificar a ideia) um produto tal qual o Álcool 91% m/m que, segundo informações da RECAP (Sindicato do Comércio Varejista de Derivados de Petróleo de Campinas e Região), possui valor de densidade igual a 810,85 Kg/m³ a 25°C, enquanto que a 35°C sua densidade é apenas 802,04 Kg/m³.

Logo, quando houver o carregamento deste produto em uma região com temperatura predominantemente maior (p.ex.: Rondonópolis/MT) e a descarga acontecer em outra região mais fria (p.ex.: Paulínia/SP) poderá existir a percepção de subutilização do recurso; que o enchimento do vagão foi aquém daquele possível e, portanto, por motivos operacionais, houve a redução na utilização do ativo (carregou-se menos do que podia). Vale comentar que neste trabalho não discutiremos os limites de carregamento que existam por regras comerciais ou que visam a segurança do trabalho.

Portanto, vamos a partir deste estudo e com algumas premissas, estimar a variação média de volume, de forma absoluta e percentual, que acontece(ria) nesta configuração de origem/destino, do carregamento/transporte/descarga do Álcool 91% m/m, durante certo período deste ano, para que haja um melhor entendimento sobre a **relevância da temperatura no transporte de líquidos a granel**.

Com os valores existentes de temperatura e densidade nas tabelas da RECAP, pôde-se estimar, com o software de análise estatística Minitab 21, a curva e a respectiva equação de regressão quadrática abaixo apresentados para que, ao longo deste, sejam utilizados nas previsões de densidade a qualquer temperatura.

A relevância da temperatura no transporte de líquidos a granel

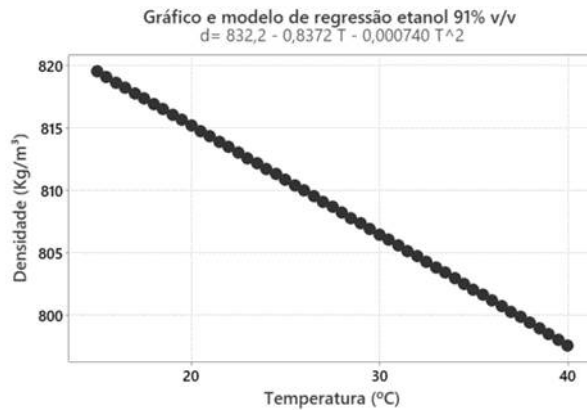


Gráfico 1. Gráfico e modelo de regressão para o Álcool 91% m/m

Aonde:

$$d = 832,2 - 0,8372T - 0,000740T^2 \quad (\text{eq. 2});$$

d = densidade (Kg/m³);

T = temperatura (°C);

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponibiliza, em página na internet, os arquivos das informações meteorológicas diárias (a atualização existente aborda os dados entre 01/01/2023 à 30/11/2023), captadas hora a hora, pelas suas estações existentes no Brasil. Dentre elas estão a de Rondonópolis/MT e a de Piracicaba/SP (cidade mais próxima de Paulínia/SP e, doravante, adotada como sendo a referência de temperatura no destino).

Considerou-se, portanto, as tomadas de temperatura do ar – bulbo seco °C, nos horários compreendidos entre as 07hs e 19hs de um mesmo dia, ou seja, adotou-se que a operação de carga e descarga acontece nos turnos diurnos, das 07hs X 13hs e das 13hs X 19hs.

Calculou-se então, com a equação 2, a valor da densidade equivalente ao etanol (Álcool 91% m/m) a cada temperatura/hora estudada e, a partir de um volume base de 100m³ e com o uso da equação 1, qual a massa equivalente (em toneladas) possível de ser carregada naquele momento, com aquela configuração, em Rondonópolis/MT.

Para fins de cálculo, adotou-se que a viagem ferroviária de 1.200Km entre Rondonópolis/MT e Paulínia/SP possa ser executada em até 48h, a uma velocidade média de 25Km/h. Então, com base na temperatura da hora/dia da chegada, pode-se estimar qual será o volume equivalente na descarga daquela massa carregada na origem, utilizando novamente as equações 1 / 2 e, assim, prever as eventuais variações de volume entre, a origem e a descarga. **(Vale notar que, na maioria dos casos houve redução de volume contudo, a diferença nestes casos será positiva, pois: $\Delta V = V_i - V_f$)**

O quadro 1, exemplifica os cálculos e resultados **apenas** para os 2 primeiros dias em estudo (ao todo, foram 332 dias, abordando o período entre 01/01/2023 e 28/11/2023).

A relevância da temperatura no transporte de líquidos a granel

Rondonópolis					Paulínia (Piracicaba)					$\Delta V(m^3)$ = 100 - Vf
Data	Hora UTC	temperatura (°C)	densidade (Kg/m ³)	massa (Kg)	Data	Hora UTC	temperatura (°C)	densidade (Kg/m ³)	Vf (m ³)	
01/01/2023	0700 UTC	23,5	812,12	81.211,71	03/01/2023	0700 UTC	20,2	814,99	99,65	0,3521
01/01/2023	0800 UTC	22,9	812,64	81.264,01	03/01/2023	0800 UTC	20,5	814,73	99,74	0,2561
01/01/2023	0900 UTC	23,2	812,38	81.237,87	03/01/2023	0900 UTC	20,6	814,64	99,72	0,2775
01/01/2023	1000 UTC	24,8	810,98	81.098,23	03/01/2023	1000 UTC	22,1	813,34	99,71	0,2894
01/01/2023	1100 UTC	26,7	809,32	80.931,92	03/01/2023	1100 UTC	23,2	812,38	99,62	0,3766
01/01/2023	1200 UTC	29,1	807,21	80.721,08	03/01/2023	1200 UTC	24,1	811,59	99,46	0,5400
01/01/2023	1300 UTC	30	806,42	80.641,80	03/01/2023	1300 UTC	24,4	811,33	99,39	0,6056
01/01/2023	1400 UTC	31,2	805,36	80.535,90	03/01/2023	1400 UTC	25,8	810,11	99,41	0,5862
01/01/2023	1500 UTC	32,6	804,12	80.412,08	03/01/2023	1500 UTC	26,5	809,49	99,34	0,6638
01/01/2023	1600 UTC	30,5	805,98	80.597,70	03/01/2023	1600 UTC	27,7	808,44	99,70	0,3049
01/01/2023	1700 UTC	32,9	803,86	80.385,51	03/01/2023	1700 UTC	22,6	812,90	98,89	1,1128
01/01/2023	1800 UTC	29	807,30	80.729,89	03/01/2023	1800 UTC	27,7	808,44	99,86	0,1414
02/01/2023	0700 UTC	22,7	812,81	81.281,42	04/01/2023	0700 UTC	21,7	813,68	99,89	0,1069
02/01/2023	0800 UTC	22,5	812,99	81.298,84	04/01/2023	0800 UTC	21,5	813,86	99,89	0,1069
02/01/2023	0900 UTC	23	812,55	81.255,29	04/01/2023	0900 UTC	21,4	813,95	99,83	0,1710
02/01/2023	1000 UTC	23,4	812,20	81.220,43	04/01/2023	1000 UTC	22,6	812,90	99,91	0,0857
02/01/2023	1100 UTC	24,7	811,07	81.106,97	04/01/2023	1100 UTC	22,8	812,73	99,80	0,2039
02/01/2023	1200 UTC	25,3	810,55	81.054,52	04/01/2023	1200 UTC	22	813,42	99,65	0,3538
02/01/2023	1300 UTC	27	809,06	80.905,61	04/01/2023	1300 UTC	23,5	812,12	99,62	0,3769
02/01/2023	1400 UTC	29	807,30	80.729,89	04/01/2023	1400 UTC	25,3	810,55	99,60	0,4005
02/01/2023	1500 UTC	31	805,54	80.553,57	04/01/2023	1500 UTC	25,6	810,28	99,41	0,5859
02/01/2023	1600 UTC	32,1	804,56	80.456,34	04/01/2023	1600 UTC	26,1	809,84	99,35	0,6522
02/01/2023	1700 UTC	33,2	803,59	80.358,93	04/01/2023	1700 UTC	26,5	809,49	99,27	0,7295
02/01/2023	1800 UTC	30,1	806,33	80.632,98	04/01/2023	1800 UTC	26,6	809,41	99,62	0,3802

Quadro 1. Aplicação das equações 1 e 2, na origem e destino

Os resultados obtidos das diferenças volumétricas absolutas (m³), representados pela diferença entre o valor base (100m³) e aquele encontrado no destino, foram consolidados em médias semanais (de 1 à 48, referentes ao período das informações entre 01/01/2023 e 28/11/2023).

Uma outra consolidação também foi proposta, ao se realizar a média trimestral destas variações. Ambos os resultados estão apresentados no gráfico 2.

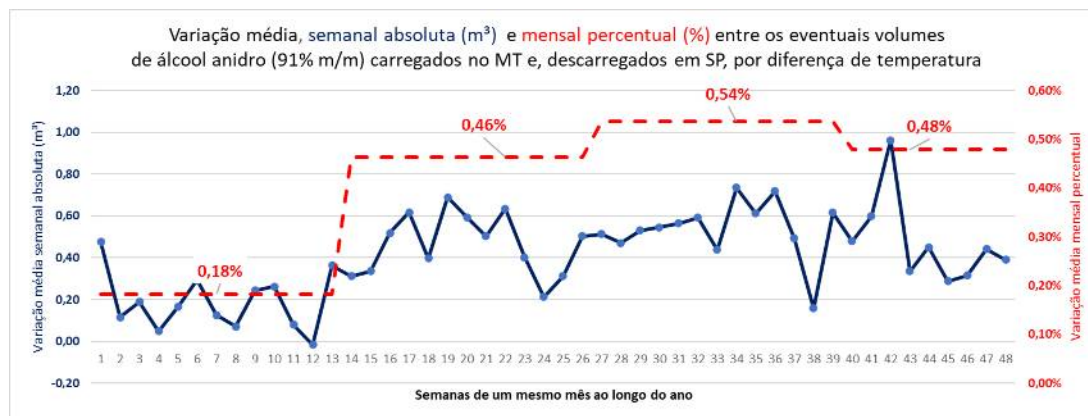


Gráfico 2. Variação média, semanal absoluta (m³) e mensal percentual

Nota-se no primeiro trimestre, que é uma época predominante de verão brasileiro, as menores variações teóricas de volume, entre a origem e o destino. Isto acontece pois, este também é, o período das menores diferenças de temperatura acontecidas em Mato Grosso e São Paulo. Isto já não acontece nos próximos e, em especial, durante o inverno (3º trimestre) quando, em São Paulo, as temperaturas estão sensivelmente menores em comparação ao Mato Grosso.

Para todo o período estudado, a variação média foi de 0,41% (410 litros em 100m³), com um máximo de 2,39% (2.390 litros em 100m³) que teria acontecido a um carregamento em 25/08/23 às 18hs, quando a temperatura no Mato Grosso atingiu 36,7°C e, em São Paulo, exatamente 2 dias após (naquele mesmo horário), estava apenas em 14,3°C. Também

A relevância da temperatura no transporte de líquidos a granel

existiriam situações contrárias quando a temperatura em Rondonópolis/MT foi menor do que aquela encontrada em Paulínia/SP.

Apesar de aparentemente pequena, qualquer variação na capacidade de enchimento dos vagões representa, para um volume anual transportado da ordem de milhões de metros cúbicos, um acréscimo de dezenas (ou ainda maior, a depender do tamanho da composição ferroviária, do produto transportado, do real tempo de transit-time, etc) de viagens necessárias para que seja transferido o volume necessário, por um percurso relativamente longo (1.200Km) e que toma alguns dias.

Estima-se que o custo de aquisição de cada vagão tanque esteja em torno de R\$ 1,4MM e, portanto, utilizá-los em plena capacidade é uma prioridade, porém, as condições climáticas nas diferentes regiões em que operaram, associadas às propriedades dos produtos transportados, são uma limitação de partida.

Assim, antes que se considere alguma subutilização dos ativos é necessário conhecer, dentre outros, o produto transportado e suas propriedades físicas, as condições climáticas no carregamento e na descarga, os procedimentos adotados para segurança durante as operações acontecidas na origem/destino e trajeto, os acordos comerciais quanto ao nível de admissão para variação do volume carregado, etc.

Existem tanques isolados termicamente (utilizados para o transporte de líquidos especiais que necessitam manter a temperatura para garantir fluidez e escoamento) e que, neste cenário, serviriam para mitigar a situação contudo, proporcionariam também, um acréscimo significativo de valor de aquisição e manutenção. Logo, o seu uso, demandaria um atencioso estudo de viabilidade

- ***Sobre o autor: Dennis Caceta é engenheiro e Consultor Empresarial, especialista em gestão de projetos, análise de negócios e melhoria contínua, atuante há 25 em logística e operações, sobretudo nos maiores portos e terminais portuários brasileiros, realizando simulações e estudos que suportam as decisões de investimentos em infra e em superestrutura.***

Referências:

- Tabela de conversão ETANOL, Sindicato do Comércio Varejista de Derivados de Petróleo de Campinas e Região (RECAP). Acessado em 08/12/1973.
<https://recap.org.br/pdf/etanol.pdf>
- Dados Históricos Anuais, Instituto Nacional de Meteorologia. Acessado em 09/12/1973.
Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>
- Transporte de etanol de milho via ferrovia pode impulsionar fornecimento do biocombustível, Canal Rural. Acessado em 09/12/1973. Disponível em:
<https://www.canalrural.com.br/projetos/sites-e-especiais/transporte-de-etanol-de-milho-via-ferrovia-pode-impulsionar-fornecimento-do-biocombustivel/>
- Transporte de Carga - Origem Destino- 2006 - outubro 2023, Agência Nacional de Transporte Terrestres – ANTT. Acessado em 10/12/2023. Disponível em:
<https://www.gov.br/anttp/pt-br/assuntos/ferrovias/anuario-do-setor-ferroviario/arquivos-tabelas-excel>