

Energia térmica na produção de pet food

Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
UNESP, campus de Jaboticabal



1

Energia térmica na produção de pet food



Por quê enfocar a aplicação de energia térmica?

1. Mais **barata** que a energia mecânica
2. Pode colaborar para melhor balanço energético e **redução** do **impacto ambiental** da atividade industrial
3. Maior **preservação de nutrientes**
Menor complexação de aminoácidos (preserva valor proteico)
Menor perda de vitaminas e selênio
4. Ganho em **palatabilidade** do alimento

2

Energia térmica na produção de pet food

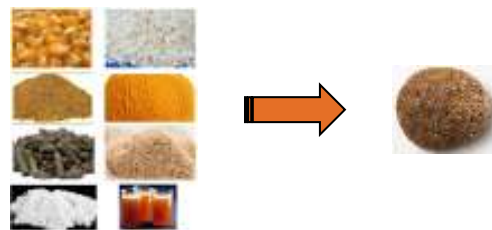


Dificuldades na aplicação de energia térmica!

1. Qualidade e regularidade da produção de vapor
2. Capacidade de aplicar e **incorporar** vapor à massa
No **condicionador**
No interior do **canhão extrusor**
3. Dificuldade de se quantificar a energia térmica aplicada ao produto
Medidores precisos de fluxo de massa (ração, água e vapor)
Automação ou cálculo do balanço de massa no processo
Sensores adequados (pressão e temperatura massa)

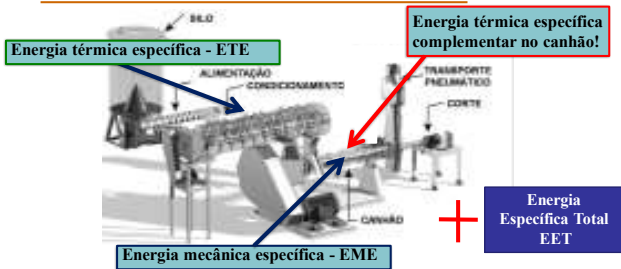
3

Transformações físico-químicas da matéria prima



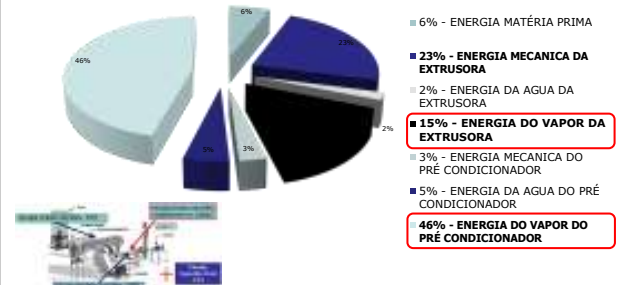
4

De onde vem a energia necessária à transformação da matéria prima



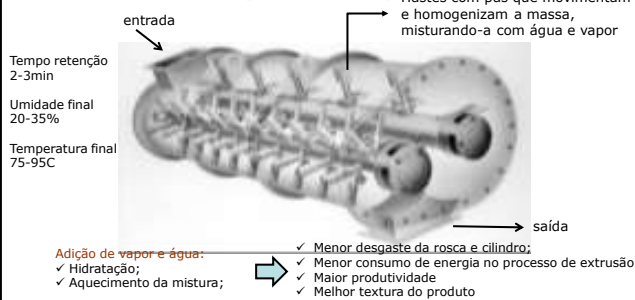
5

ORIGEM DA ENERGIA NO SISTEMA DE EXTRUSÃO



6

Sistema de condicionamento (Condicionador)



10

Sistema de condicionamento (Condicionador)

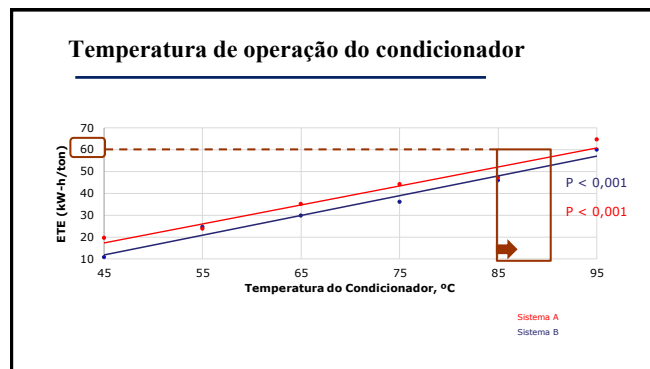
Pontos básicos de controle e verificação

- ✓ Capacidade de armazenamento/retenção de ração (6 a 7% do volume de produção)
- ✓ Tempo médio de retenção e seu desvio-padrão (de 2 a 3 minutos)
- ✓ Velocidade de rotação das pás (suficiente para o tempo de retenção desejado)
- ✓ Homogeneização e distribuição da umidade (minimizar partículas maiores que 5 mm)
- ✓ Capacidade de incorporar vapor à massa (capaz de elevar a temperatura da massa)

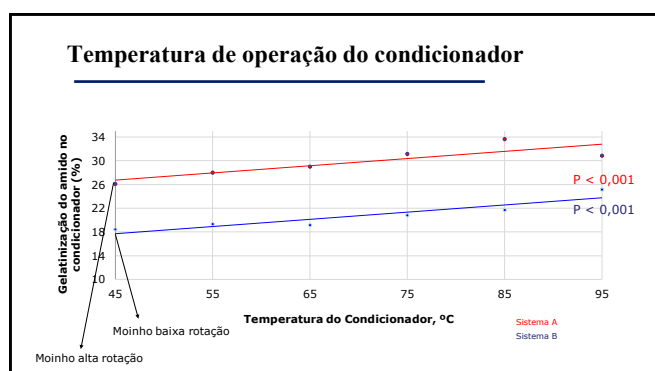
11



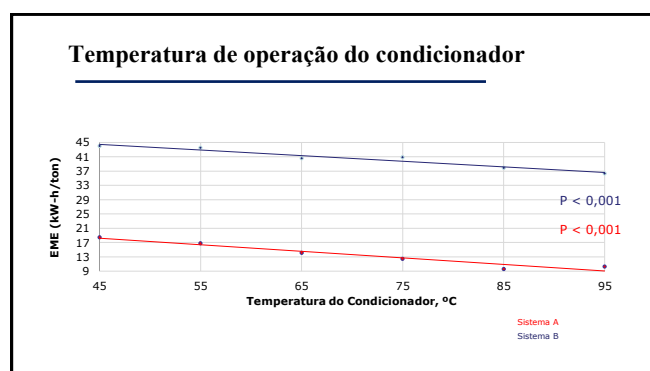
12



13



14



15

- Fluidos térmicos (água aquecida)
- Injeção direta de vapor (no condicionador e canhão)



16

Gráfico de linhas mostrando a densidade aparente (g/L) versus a temperatura do condicionador (°C) para dois sistemas, A e B. O Sistema A (linha vermelha) apresenta uma densidade mais alta e uma taxa de diminuição mais acentuada em comparação com o Sistema B (linha azul). Ambos os sistemas mostram uma diminuição linear na densidade com o aumento da temperatura. Os valores de P indicam que as diferenças entre os sistemas são estatisticamente significativas ($P < 0,001$).

Temperatura do Condicionador, °C	Sistema A (g/L)	Sistema B (g/L)
45	~445	~355
55	~425	~350
65	~405	~345
75	~390	~335
85	~375	~345
95	~355	~315

Gráfico de Linhas: Gelatinização do amido (%) vs Temperatura do Condicionador, °C

O gráfico apresenta a gelatinização do amido em função da temperatura de condicionamento para dois sistemas. O Sistema A (linha azul) mantém uma taxa mais alta e estável de gelatinização em comparação com o Sistema B (linha vermelha), que apresenta uma maior sensibilidade à temperatura. Ambos os sistemas atingem níveis semelhantes de gelatinização (aproximadamente 90%) na temperatura máxima estudada (95°C).

Temperatura do Condicionador, °C	Sistema A (%)	Sistema B (%)
45	~78	~68
55	~82	~72
65	~85	~77
75	~87	~80
85	~89	~86
95	~90	~89

Significância estatística: $P < 0,001$ (para ambos os pontos finais em 95°C).

Pacheco, et al., 2018

Table 7
Processing water, HClM6 concentration, stack gas composition, and in vitro digestibility of a dry feed formulation created with 4 different specific thermal energy applications and protein flow rate (Experiment 2)

Item	Dietary level			SEM ^a	P-value
	T00	T20	T30 _{max}		
Protein content					
Nucleotide mean temperature (°C)	40.8	44.3	50.0	0.04	< 0.0001
Nucleotide mean velocity (m/s)	30.2	33.7	37.5	0.31	0.0001
Protein gelatinization (%)	30.2	33.8	39.5	0.30	< 0.0001
Starch					
Mean temperature (°C)	42.8	47.7	42.8	0.40	< 0.0001
Mean pressure within die (MPa)	5.7	5.7	5.7	0.20	< 0.0001
Mean temperature before die (°C)	112.2	128.3	128.2	2.80	< 0.0001
Protein flow rate (kg/h)	149.0	149.0	149.0	0.16	< 0.0001
Bulk density (g/L)	407.0	406.0	406.0	14.40	< 0.0001
In vitro moisture (%)	25.5	25.7	25.7	0.45	< 0.0001
Starch balance & DPP-4 assay					
Specific mechanical energy	110.0	110.0	110.0	0.25	< 0.0001
Specific thermal energy	120.5	147.7	144.0	7.71	< 0.0001
Total starch energy	97.0	75.7	74.0	0.01	< 0.0001
DPP-4/1000 units	1.0	0.7	0.8	0.01	< 0.0001

SEM = standard error of the mean.

Com o mesmo consumo de energia mecânica (42,2 amperes) a produção de rações foi de 195 para 295 kg/h, aumento de 50%)

4



21

Energia térmica eleva palatabilidade gatos

Challenges	First choice (%)		Intake ratio ^b		SEM ^a	p-value
	A	B	A-B	B-A		
T45 versus T75	40.0	60.0	0.55	0.45	0.02	0.333
T45 versus T95	34.3	75.7	0.29	0.71	0.44	<0.0001
T75 versus T95	43.8	56.4	0.32	0.68	0.43	<0.0001

^aIntake ratio: food intake/food A + food B intake.
^bSEM, standard error of the mean (n = 20 cats).

Aumento da palatabilidade do alimento para gatos

22

Diferentes relações EME:ETE sobre as características e valor nutricional de alimentos para cães e gatos

Items	Dog food formulation ^a	Cat food formulation ^a
Ingredients, g/kg (as-fed basis) ^a		
Wheat ^a	554.0 ^a	4.05.0 ^a
Poultry by-product meal ^a	300.0 ^a	530.0 ^a
Corn gluten meal (80% protein) ^a	—	154.0 ^a
Beet pulp ^a	48.0 ^a	48.0 ^a
Salt (Sodium chloride) ^a	5.0 ^a	5.0 ^a
Potassium chloride ^a	6.5 ^a	6.0 ^a
Vitamin-mineral premix ^a	3.5 ^a	4.0 ^a
Choline chloride ^a	2.0 ^a	3.0 ^a
Potassium sorbate ^a	1.0 ^a	1.0 ^a
L-lysine ^a	2.5 ^a	2.5 ^a
DL-Methionine ^a	2.0 ^a	3.0 ^a
Taurine ^a	—	3.0 ^a
Antioxidant ^a	0.5 ^a	0.5 ^a
Added by coating ^a	—	—
—Phosby-Fast	68.0 ^a	75.0 ^a
Moisture (mean ± 1 SD)	540 ± 1.0 ^a	482 ± 1.0 ^a

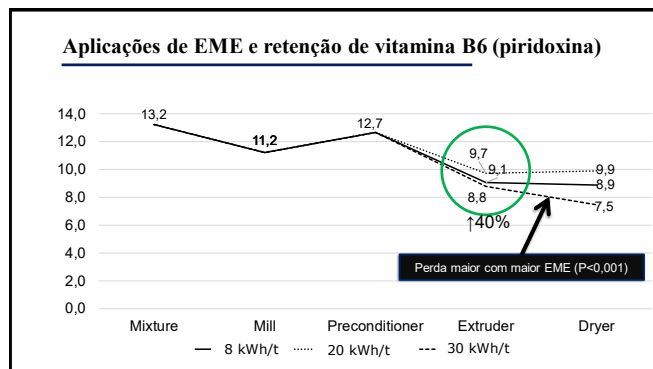
23

Diferentes relações EME:ETE sobre as características e valor nutricional de alimentos para cães e gatos

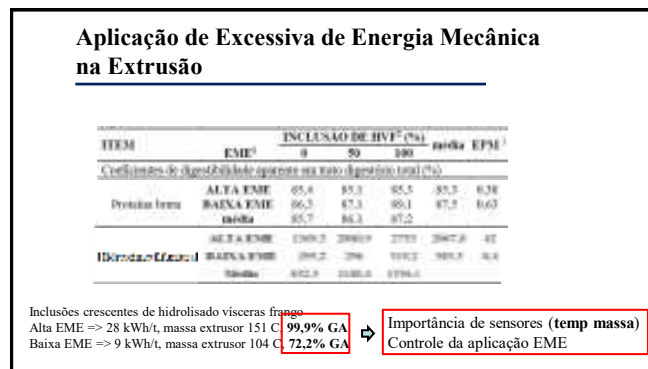
Mesma operação de condicionamento
alta e média EME => **vapor no condicionador**
baixa EME e alta ETE => **vapor condicionador e extrusor**

Diets ¹	EME Alvo	EME real	ETE	EET	Relação	Custos
	(kWh/t)	(kWh/t)	(kWh/t)	(kWh/t)	ETE/EME	(US\$/ton)
Cão, baixa EME	8	8,0	98,3	106,3	12,3	4,23
Cão, média EME	20	20,0	61,4	81,4	3,1	5,05
Cão, alta EME	30	28,0	47,8	75,8	1,7	5,94
Gato, baixa EME	8	7,3	86,4	93,7	11,8	4,98
Gato, média EME	20	20,8	90,3	111,1	4,3	5,54
Gato, alta EME	30	29,3	81,4	110,7	2,8	7,72
	C8	C20	C30	G8	G20	G30
Gelatinização amido (%)	76,7	74,5	76,7	83,1	88,1	85,4
Amido Resistente (%)	1,86	1,96	2,02	1,54	1,45	1,61

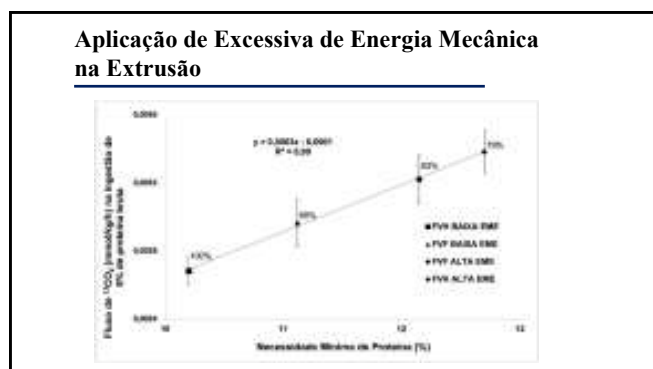
24



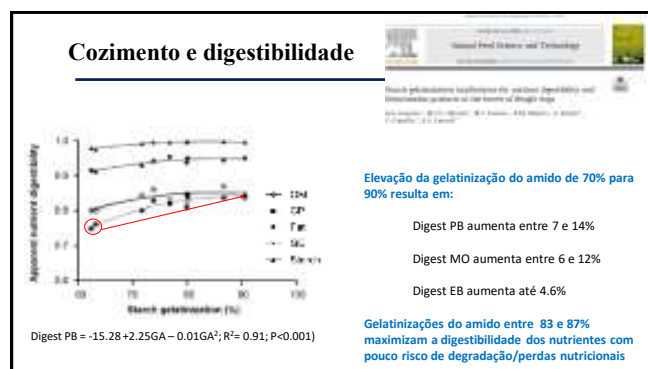
31



32



33



34

Equações para balanço de massa

(1) The Stripped Owner

$$M_2 + 3H_{2g} + 3H_{2l} \rightarrow 3H_2 + M_2$$

Where: M_0 = air natural fuel rate (kg/hr); M_{H_2} = main reaction rate preoxidation (kg/hr); M_{H_2O} = water reaction rate preoxidation (kg/hr); M_p = preoxidation product flow rate (kg/hr); M_{H_2} = main loss from preoxidation (kg/hr).

ESR-Related

$$M_p + M_{\text{gas}} = M_{\text{disk}} + M_*$$

Where: M_p = precondenser product flow rate (kg/hr); M_{wi} = water injection into extruder (kg/hr); M_{dw} = steam loss from extruder (kg/hr); M_p = product flow rate (kg/hr).

35

Equações para balanço de energia

B. Lenny Belton's

(1) **Test Procedures**

$$Q_1 + U_{12} + Q_{12} = Q_1 + Q_{12} + U_{12} + Q_{12}$$

Where Q_1 = energy flow with raw material (kJ/hr); Q_{in} = energy flow with steam injection (kJ/hr); Q_{inw} = energy flow with water injection (kJ/hr); Q_2 = energy flow with flow rate (kJ/hr); Q_{out} = energy flow with steam loss (kJ/hr); Q_{loss} = energy flow to cook starch and protein (kJ/hr) in the preconditions; Q_{st} = preconditions energy flow (kJ/hr).

III. The Controller

$$U_2 + U_{20} + U_{200} = U_{20} + O_{2000} + U_{20} + U_{20}$$

1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 26

$\dot{Q}_1$ = energy flow with raw flow rate (Btu/h); $\dot{Q}_{\text{in}}$ = energy flow with water injection (Btu/h); $\dot{Q}_{\text{out}}$ = energy flow with specific mechanical energy (Btu/h); $\dot{Q}_{\text{out}}$ = energy flow with product flow rate (Btu/h); $\dot{Q}_{\text{out}}$ = energy flow to cook starch and protein (Btu/h); in the extruder; $\dot{Q}_2$ = extruder energy loss (Btu/h); $\dot{Q}_3$ = energy flow with flow rate (Btu/h).

36

Equações para balanço de energia

The heat (Q) obtained was calculated according to the formula

$$Q = \{n, e \in T\}$$

Where: $m = \text{mass}$; $c = \text{specific heat capacity}$; $T = \text{temperature}$.
The STE was calculated as follows:

$$\eta \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right) = \left(\frac{Q_{\text{L}} \Delta h L + Q_{\text{we}} + Q_{\text{r}} + Q_{\text{wp}} + Q_{\text{rp}} + Q_{\text{L}} \Delta h F}{\Delta h} \right) \times 10$$

37

Energia térmica na produção de pet food



Por quê enfocar a aplicação de energia térmica?

1. Mais **barata** que a energia mecânica
2. Pode colaborar para melhor balanço energético e **redução** do **impacto ambiental** da atividade industrial
3. Maior **preservação de nutrientes**
Menor complexação de aminoácidos (preserva valor proteico)
Menor perda de vitaminas e selênio
4. Ganho em **palatabilidade** do alimento

38

Energia térmica na produção de pet food



Dificuldades na aplicação de energia térmica!

1. Qualidade e regularidade da produção de vapor
2. Capacidade de aplicar e **incorporar** vapor à massa
No **condicionador**
No interior do **canhão extrusor**
3. Dificuldade de se quantificar a energia térmica aplicada ao produto
Medidores precisos de **fluxo** de massa (ração, água e vapor)
Calcular a energia térmica aplicada
Sensores adequados (pressão e temperatura massa)

39

SOCIEDADE BRASILEIRA DE NUTRIÇÃO E NUTROLOGIA DE CAES E GATOS

<https://sbnutripet.cbna.com.br/>

@sbnutripet

CBNA - Colégio Brasileiro de Nutrição Animal



@SBNUTRIPET

40



41

Energia térmica na produção de pet food

Obrigado pela oportunidade e atenção!

Prof. Dr. Aulus Cavaleri Carciofi
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
UNESP, campus de Jaboticabal



42