

**Tabela 3.1 – Dados sobre peso específico e teor de humidade típicos para resíduos residenciais, comerciais, industriais e agrícolas**

| Tipo de resíduo                        | Peso específico, lb/yd <sup>3</sup> <sup>1</sup> |        | Teor em humidade, % em peso |        |
|--|--|--------|-----------------------------|--------|
|  | Gama   | Típico | Gama                        | Típico |
| <b>Residencial (não compactado)</b>    |  |        |                             |        |
| Resíduos alimentares (misturados)      | 220-810  | 490    | 50-80                       | 70     |
| Papel                                  | 70-220   | 150    | 4-10                        | 6      |
| Cartão                                 | 70-135   | 85     | 4-8                         | 5      |
| Plásticos                              | 70-220   | 110    | 1-4                         | 2      |
| Têxteis                                | 70-170   | 110    | 6-15                        | 10     |
| Borracha                               | 170-340  | 220    | 1-4                         | 2      |
| Couro                                  | 170-440  | 270    | 8-12                        | 10     |
| Resíduos de pátios                     | 100-380  | 170    | 30-80                       | 60     |
| Madeira                                | 220-540  | 400    | 15-40                       | 20     |
| Vidro                                  | 270-810  | 330    | 1-4                         | 2      |
| Latas de estanho                       | 85-270   | 150    | 2-4                         | 3      |
| Alumínio                               | 110-405  | 270    | 2-4                         | 2      |
| Outros metais                          | 220-1940   | 540    | 2-4                         | 3      |
| Sujidade, cinzas, etc.                 | 540-1685   | 810    | 6-12                        | 8      |
| Cinzas                                 | 1095-1400  | 1255   | 6-12                        | 6      |
| Lixo                                   | 150-305  | 220    | 5-20                        | 5      |
| <b>Resíduos de pátios residenciais</b> |  |        |                             |        |
| Folhas (soltas e secas)                | 50-250   | 100    | 20-40                       | 30     |
| Erva verde (solta e húmida)            | 350-500  | 400    | 40-80                       | 60     |
| Erva verde (molhada e compactada)      | 1000-1400  | 1000   | 50-90                       | 80     |
| Resíduos de pátios (triturados)        | 450-600  | 500    | 20-70                       | 50     |
| Resíduos de pátios (compostados)       | 450-650  | 550    | 40-60                       | 50     |
| <b>Municipal</b>                       |  |        |                             |        |
| Em camião compactador                  | 300-760  | 500    | 15-40                       | 20     |
| Em aterro                              |  |        |                             |        |
| Normalmente compactado                 | 610-840  | 760    | 15-40                       | 25     |
| Bem compactado                         | 995-1250   | 1010   | 15-40                       | 25     |
| <b>Comercial</b>                       |  |        |                             |        |
| Resíduos alimentares (húmidos)         | 800-1600   | 910    | 50-80                       | 70     |
| Máquinas                               | 250-340  | 305    | 0-2                         | 1      |
| Caixotes de madeira                    | 185-270  | 185    | 10-30                       | 20     |
| Desbaste de árvores                    | 170-305  | 250    | 20-80                       | 5      |
| Lixo (combustível)                     | 85-305   | 200    | 10-30                       | 15     |
| Lixo (não combustível)                 | 305-610  | 505    | 5-15                        | 10     |
| Lixo (misturado)                       | 235-305  | 270    | 10-25                       | 15     |
| <b>Construção e demolição</b>          |  |        |                             |        |
| Demolição mista (não combustível)      | 1685-2695  | 2395   | 2-10                        | 4      |
| Demolição mista (combustível)          | 505-675  | 605    | 4-15                        | 8      |
| Construção mista (combustível)         | 305-605  | 440    | 4-15                        | 8      |
| Concreto partido                       | 2020-3035  | 2595   | 0-5                         | -      |
| <b>Industrial</b>                      |  |        |                             |        |
| Lamas químicas (húmida)                | 1350-1855  | 1685   | 75-99                       | 80     |
| Cinzas volantes                        | 1180-1515  | 1350   | 2-10                        | 4      |
| Recortes de couro                      | 170-420  | 270    | 6-15                        | 10     |
| Sucata metálica (pesada)               | 2530-3370  | 3000   | 0-5                         | -      |
| Sucata metálica (leve)                 | 840-1515   | 1245   | 0-5                         | -      |
| Sucata metálica (mista)                | 1180-2530  | 1515   | 0-5                         | -      |
| Óleos, alcatrões, asfaltos             | 1350-1685  | 1600   | 0-5                         | 2      |
| Serradura                              | 170-590  | 490    | 10-40                       | 20     |
| Resíduos têxteis                       | 170-370  | 305    | 6-15                        | 10     |
| Madeira (mista)                        | 675-1140   | 840    | 30-60                       | 25     |
| <b>Agrícola</b>                        |  |        |                             |        |
| Agrícola (misto)                       | 675-1265   | 945    | 40-80                       | 50     |
| Animais mortos                         | 340-840  | 605    | -                           | -      |
| Resíduos de fruta (mistos)             | 420-1265   | 605    | 60-90                       | 75     |
| Estrume (húmido)                       | 1515-1770  | 1685   | 75-96                       | 94     |
| Resíduos de vegetais (mistos)          | 340-1180   | 605    | 60-90                       | 75     |

<sup>1</sup> 1kg/m<sup>3</sup> = 1,6855 lb/yd<sup>3</sup> ou lb/yd<sup>3</sup> x 0,5933 = kg/m<sup>3</sup>

$$M = \left( \frac{w-d}{w} \right) 100 \quad (3.1)$$

onde  $M$  = teor de humidade, %

$w$  = peso inicial da amostra como foi recebida, lb (kg)

$d$  = peso da amostra após secagem a 105°C, lb (kg)

Exemplo: Calcule o teor de humidade total de uma amostra de RSU residencial, tal como foi recolhida, com a composição típica dada na tabela 2.5 (EUA).

| Componente             | Percentagem em peso | Teor em humidade, % | Peso seco, lb <sup>1</sup> |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| <b>Orgânico</b>        |                     |                     |                            |
| Resíduos alimentares   | 9,0                 | 70                  | 2,7                        |
| Papel                  | 34,0                | 6                   | 32,0                       |
| Cartão                 | 6,0                 | 5                   | 5,7                        |
| Plásticos              | 7,0                 | 2                   | 6,9                        |
| Têxteis                | 2,0                 | 10                  | 1,8                        |
| Borracha               | 0,5                 | 2                   | 0,5                        |
| Couro                  | 0,5                 | 10                  | 0,4                        |
| Resíduos de pátios     | 18,5                | 60                  | 7,4                        |
| Madeira                | 2,0                 | 20                  | 1,6                        |
| Orgânicos diversos     | -                   | -                   | -                          |
| <b>Inorgânicos</b>     |                     |                     |                            |
| Vidro                  | 8,0                 | 2                   | 7,8                        |
| Latas de estanho       | 6,0                 | 3                   | 5,8                        |
| Alumínio               | 30,5                | 2                   | 0,5                        |
| Outros metais          | 3,0                 | 3                   | 2,9                        |
| Sujidade, cinzas, etc. | 3,0                 | 8                   | 2,8                        |
| <b>Total</b>           | <b>100,0</b>        |                     | <b>78,8</b>                |

$$\text{Teor de humidade (\%)} = \left( \frac{100 - 78,8}{100} \right) 100 = 21,2\%$$

<sup>1</sup> baseado numa amostra de 100 lb, peso seco = % em peso x (100 - teor em humidade)/100

$$S_c = l \quad (3.2)$$

$$S_c = \left( \frac{l+w}{2} \right) \quad (3.3)$$

$$S_c = \left( \frac{l+w+h}{3} \right) \quad (3.4)$$

$$S_c = (l \times w)^{1/2} \quad (3.5)$$

$$S_c = (l \times w \times h)^{1/3} \quad (3.6)$$

onde  $S_c$  = granulometria do componente, em (mm)

$l$  = comprimento, em (mm)

$w$  = largura, em (mm)

$h$  = altura, em (mm)

$$K = Cd^2 \frac{\gamma}{\mu} = k \frac{\gamma}{\mu} \quad (3.7)$$

onde  $K$  = coeficiente de permeabilidade

$C$  = constante adimensional ou factor de forma

$d$  = dimensão média dos poros

$\gamma$  = peso específico da água

$\mu$  = viscosidade dinâmica da água

$k$  = permeabilidade intrínseca

**Tabela 3.2 – Dados típicos de análise inicial e energia para materiais encontrados em resíduos sólidos residenciais, comerciais, e industriais**

| Tipo de resíduo               | Análise inicial, % em peso |                 |              |                 | Teor energético, Btu/lb <sup>1</sup> |        |                  |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------------------------------|--------|------------------|
|                               | Humidade                   | Matéria volátil | Carbono fixo | Não combustível | Como recolhido                       | Seco   | Seco, sem cinzas |
| Comida e produtos alimentares |                            |                 |              |                 |                                      |        |                  |
| Gorduras                      | 2,0                        | 95,3            | 2,5          | 0,2             | 16,135                               | 16,466 | 16,836           |
| Resíduos alimentares (mistos) | 70,0                       | 21,4            | 3,6          | 5,0             | 1,797                                | 5,983  | 7,180            |
| Resíduos de fruta             | 78,7                       | 16,6            | 4,0          | 0,7             | 1,707                                | 8,013  | 8,285            |
| Resíduos de carne             | 38,8                       | 56,4            | 1,8          | 3,1             | 7,623                                | 12,455 | 13,120           |
| Produtos de papel             |                            |                 |              |                 |                                      |        |                  |
| Cartão                        | 5,2                        | 77,5            | 12,3         | 5,0             | 7,042                                | 7,428  | 7,842            |
| Revistas                      | 4,1                        | 66,4            | 7,0          | 22,5            | 5,244                                | 5,478  | 7,157            |
| Papel de jornal               | 6,0                        | 81,1            | 11,5         | 1,4             | 7,975                                | 8,484  | 8,612            |
| Papel (misto)                 | 10,2                       | 75,9            | 8,4          | 5,4             | 6,799                                | 7,571  | 8,056            |
| Cartões encerados             | 3,4                        | 90,9            | 4,5          | 1,2             | 11,326                               | 11,724 | 11,872           |
| Plásticos                     |                            |                 |              |                 |                                      |        |                  |
| Plásticos (mistos)            | 0,2                        | 95,8            | 2,0          | 2,0             | 14,101                               | 14,390 | 16,024           |
| Polietileno                   | 0,2                        | 98,5            | <0,1         | 1,2             | 18,687                               | 18,724 | 18,952           |
| Poliestireno                  | 0,2                        | 98,7            | 0,7          | 0,5             | 16,419                               | 16,451 | 16,430           |
| Poliuretano                   | 0,2                        | 87,1            | 8,3          | 4,4             | 11,204                               | 11,226 | 11,744           |
| Cloreto de polivinilo         | 0,2                        | 86,9            | 10,8         | 2,1             | 9,755                                | 9,774  | 9,985            |
| Têxteis, borracha, couro      |                            |                 |              |                 |                                      |        |                  |
| Têxteis                       | 10,0                       | 66,0            | 17,5         | 6,5             | 7,960                                | 8,844  | 9,827            |
| Borracha                      | 1,2                        | 83,9            | 4,9          | 9,9             | 10,890                               | 11,022 | 12,250           |
| Couro                         | 10,0                       | 68,5            | 12,5         | 9,0             | 7,500                                | 8,040  | 8,952            |
| Madeira, árvores, etc.        |                            |                 |              |                 |                                      |        |                  |
| Resíduos de pátios            | 60,0                       | 30,0            | 9,5          | 0,5             | 2,601                                | 6,503  | 6,585            |
| Madeira (tom verde)           | 50,0                       | 42,3            | 7,3          | 0,4             | 2,100                                | 4,200  | 4,234            |
| Madeira dura                  | 12,0                       | 75,1            | 12,4         | 0,5             | 7,352                                | 8,354  | 8,402            |
| Madeira (mista)               | 20,0                       | 68,1            | 11,3         | 0,6             | 6,640                                | 8,316  | 8,383            |
| Vidro, metais, etc.           |                            |                 |              |                 |                                      |        |                  |
| Vidro e minerais              | 2,0                        | -               | -            | 96-99+          | 84                                   | 86     | 60               |
| Metal, latas estanho          | 5,0                        | -               | -            | 94-99+          | 301                                  | 319    | 317              |
| Metal, ferroso                | 2,0                        | -               | -            | 96-99+          | -                                    | -      | -                |
| Metal, não ferroso            | 2,0                        | -               | -            | 94-99+          | -                                    | -      | -                |
| Diversos                      |                            |                 |              |                 |                                      |        |                  |
| Limpeza escritórios           | 3,2                        | 20,5            | 6,3          | 70,0            | 3,669                                | 3,791  | 13,692           |
| RSU residencial               | 21,0 (15-40)               | 52,0 (40-69)    | 7,0 (4-15)   | 20,0 (10-30)    | 5,000                                | 6,250  | 8,333            |
| RSU comercial                 | 15,0 (10-30)               | -               | -            | -               | 5,500                                | 6,470  | -                |
| RSU                           | 20,0 (10-30)               | -               | -            | -               | 4,600                                | 5,750  | -                |

<sup>1</sup> Btu x 1,0551 = kJ

**Tabela 3.3 – Dados típicos de análise final para materiais combustíveis encontrados em resíduos sólidos residenciais, comerciais, e industriais**

| Tipo de resíduo                    | % em peso (base seca) |            |          |       |         |        |
|------------------------------------|-----------------------|------------|----------|-------|---------|--------|
|                                    | Carbono               | Hidrogénio | Oxigénio | Azoto | Enxofre | Cinzas |
| Comida e produtos alimentares      |                       |            |          |       |         |        |
| Gorduras                           | 73,0                  | 11,5       | 14,8     | 0,4   | 0,1     | 0,2    |
| Resíduos alimentares (mistos)      | 48,0                  | 6,4        | 37,6     | 2,6   | 0,4     | 5,0    |
| Resíduos de fruta                  | 48,5                  | 6,2        | 39,5     | 1,4   | 0,2     | 4,2    |
| Resíduos de carne                  | 59,6                  | 9,4        | 24,7     | 1,2   | 0,2     | 4,9    |
| Produtos de papel                  |                       |            |          |       |         |        |
| Cartão                             | 43,0                  | 5,9        | 44,8     | 0,3   | 0,2     | 5,0    |
| Revistas                           | 32,9                  | 5,0        | 38,6     | 0,1   | 0,1     | 23,3   |
| Papel de jornal                    | 49,1                  | 6,1        | 43,0     | <0,1  | 0,2     | 1,5    |
| Papel (misto)                      | 43,4                  | 5,8        | 44,3     | 0,3   | 0,2     | 6,0    |
| Cartões encerados                  | 59,2                  | 9,3        | 30,1     | 0,1   | 0,1     | 1,2    |
| Plásticos                          |                       |            |          |       |         |        |
| Plásticos (mistos)                 | 60,0                  | 7,2        | 22,8     | -     | -       | 10,0   |
| Polietileno                        | 85,2                  | 14,2       | -        | <0,1  | <0,1    | 0,4    |
| Poliestireno                       | 87,1                  | 8,4        | 4,0      | 0,2   | -       | 0,3    |
| Poliuretano <sup>1</sup>           | 63,3                  | 6,3        | 17,6     | 6,0   | <0,1    | 4,3    |
| Cloreto de polivinilo <sup>1</sup> | 45,2                  | 5,6        | 1,6      | 0,1   | 0,1     | 2,0    |
| Têxteis, borracha, couro           |                       |            |          |       |         |        |
| Têxteis                            | 48,0                  | 6,4        | 40,0     | 2,2   | 0,2     | 3,2    |
| Borracha                           | 69,7                  | 8,7        | -        | -     | 1,6     | 20,0   |
| Couro                              | 60,0                  | 8,0        | 11,6     | 10,0  | 0,1     | 10,0   |
| Madeira, árvores, etc.             |                       |            |          |       |         |        |
| Resíduos de pátios                 | 46,0                  | 6,0        | 38,0     | 3,4   | 0,3     | 6,3    |
| Madeira (tom verde)                | 50,1                  | 6,4        | 42,3     | 0,1   | 0,1     | 1,0    |
| Madeira dura                       | 49,6                  | 6,1        | 43,2     | 0,1   | <0,1    | 0,9    |
| Madeira (mista)                    | 49,5                  | 6,0        | 42,7     | 0,2   | <0,1    | 1,5    |
| Restos de madeira (mistos)         | 48,1                  | 5,8        | 45,5     | 0,1   | <0,1    | 0,4    |
| Vidro, metais, etc.                |                       |            |          |       |         |        |
| Vidro e minerais <sup>2</sup>      | 0,5                   | 0,1        | 0,4      | <0,1  | -       | 98,9   |
| Metais (mistos) <sup>2</sup>       | 4,5                   | 0,6        | 4,3      | <0,1  | -       | 90,5   |
| Diversos                           |                       |            |          |       |         |        |
| Limpeza escritórios                | 24,3                  | 3,0        | 4,0      | 0,5   | 0,2     | 68,0   |
| Óleos, tintas                      | 66,9                  | 9,6        | 5,2      | 2,0   | -       | 16,3   |
| RDF <sup>3</sup>                   | 44,7                  | 6,2        | 38,4     | 0,7   | <0,1    | 9,9    |

<sup>1</sup> O restante é cloro

<sup>2</sup> O teor orgânico provém dos revestimentos, etiquetas, e outros materiais anexos

<sup>3</sup> RDF - Material que permanece após a retirada dos RSU dos materiais recicláveis e não combustíveis seleccionados

Exemplo: Determine a composição química da fracção orgânica, sem e com enxofre e sem e com água, de um RSU residencial com a composição típica mostrada na tabela 2.5 (EUA).

Começamos por estabelecer uma tabela de cálculo para determinar a distribuição percentual dos elementos principais que compoem o resíduo. Os cálculos necessários apresentam-se abaixo:

| Componente <sup>1</sup> | Peso húmido, lb | Peso seco, lb | Composição, lb |             |              |             |             |             |
|-------------------------|-----------------|---------------|----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|                         |                 |               | C              | H           | O            | N           | S           | Cinzas      |
| Resíduos alimentares    | 9,0             | 2,7           | 1,30           | 0,17        | 1,02         | 0,07        | 0,01        | 0,14        |
| Papel                   | 34,0            | 32,0          | 13,92          | 1,92        | 14,08        | 0,10        | 0,06        | 1,90        |
| Cartão                  | 6,0             | 5,7           | 2,51           | 0,34        | 2,54         | 0,02        | 0,01        | 0,28        |
| Plásticos               | 7,0             | 6,9           | 4,14           | 0,50        | 1,57         | -           | -           | 0,69        |
| Têxteis                 | 2,0             | 1,8           | 0,99           | 0,12        | 0,56         | 0,08        | -           | 0,05        |
| Borracha                | 0,5             | 0,5           | 0,39           | 0,05        | -            | 0,01        | -           | 0,05        |
| Couro                   | 0,5             | 0,4           | 0,24           | 0,03        | 0,05         | 0,04        | -           | 0,04        |
| Resíduos de pátios      | 18,5            | 6,5           | 3,11           | 0,39        | 2,47         | 0,22        | 0,02        | 0,29        |
| Madeira                 | 2,0             | 1,6           | 0,79           | 0,10        | 0,68         | -           | -           | 0,02        |
| <b>Total</b>            | <b>79,5</b>     | <b>58,1</b>   | <b>27,39</b>   | <b>3,62</b> | <b>22,97</b> | <b>0,54</b> | <b>0,10</b> | <b>3,48</b> |

Prepara-se uma tabela da distribuição percentual dos elementos contidos no resíduo, com e sem água.

| Componente | Peso, lb             |                      |
|------------|----------------------|----------------------|
|            | Sem H <sub>2</sub> O | Com H <sub>2</sub> O |
| Carbono    | 27,39                | 27,39                |
| Hidrogénio | 3,62                 | 6,00                 |
| Oxigénio   | 22,97                | 41,99                |
| Azoto      | 0,54                 | 0,54                 |
| Enxofre    | 0,10                 | 0,10                 |
| Cinzas     | 3,48                 | 3,48                 |

<sup>1</sup> Teor de humidade = 21,4 lb (79,5 lb – 58,1 lb)

Calcula-se a composição molar dos elementos, desprezando as cinzas.

| Componente | Peso atômico <sup>1</sup> ,<br>lb/mole | Moles                |                      |
|------------|--|----------------------|----------------------|
|            |  | Sem H <sub>2</sub> O | Com H <sub>2</sub> O |
| Carbono    | 0,0265                                 | 1034,480             | 1034,480             |
| Hidrogênio | 0,0022                                 | 1625,774             | 2694,653             |
| Oxigênio   | 0,0353                                 | 651,200              | 1190,417             |
| Azoto      | 0,0309                                 | 17,484               | 17,484               |
| Enxofre    | 0,0707                                 | 1,414                | 1,414                |

Determina-se uma fórmula química aproximada sem e com enxofre e sem e com água. Para isso estabelece-se uma tabela de cálculo para determinar relações molares normalizadas.

| Componente | Relação molar (Azoto=1) |                      | Relação molar (Enxofre=1) |                      |
|------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
|            | Sem H <sub>2</sub> O    | Com H <sub>2</sub> O | Sem H <sub>2</sub> O      | Com H <sub>2</sub> O |
| Carbono    | 59,2                    | 59,2                 | 731,4                     | 731,4                |
| Hidrogênio | 93,0                    | 154,1                | 1149,4                    | 1905,1               |
| Oxigênio   | 37,2                    | 68,1                 | 460,4                     | 841,6                |
| Azoto      | 1,0                     | 1,0                  | 12,4                      | 12,4                 |
| Enxofre    | 0,1                     | 0,1                  | 1,0                       | 1,0                  |

Assim, as fórmulas químicas sem enxofre são:

1. Sem água  $C_{59,2}H_{93,0}O_{37,2}N$
2. Com água  $C_{59,2}H_{154,1}O_{68,1}N$

As fórmulas químicas com enxofre são:

3. Sem água  $C_{731,4}H_{1149,4}O_{460,4}N_{12,4}S$

Com água  $C_{731,3}H_{1905,1}O_{841,6}N_{12,4}S$

<sup>1</sup> 1 lb = 453,6 g ou 1 g = 0,0022 lb

**Tabela 3.4 – Dados típicos de análise final dos componentes combustíveis em RSU residenciais**

| Tipo de resíduo        | % em peso (base seca) |            |          |       |         |        |
|------------------------|-----------------------|------------|----------|-------|---------|--------|
|                        | Carbono               | Hidrogénio | Oxigénio | Azoto | Enxofre | Cinzas |
| <b>Orgânico</b>        |                       |            |          |       |         |        |
| Resíduos alimentares   | 48,0                  | 6,4        | 37,6     | 2,6   | 0,4     | 5,0    |
| Papel                  | 43,5                  | 6,0        | 44,0     | 0,3   | 0,2     | 6,0    |
| Cartão                 | 44,0                  | 5,9        | 44,6     | 0,3   | 0,2     | 5,0    |
| Plásticos              | 60,0                  | 7,2        | 22,8     | -     | -       | 10,0   |
| Têxteis                | 55,0                  | 6,6        | 31,2     | 4,6   | 0,15    | 2,5    |
| Borracha               | 78,0                  | 10,0       | -        | 2,0   | -       | 10,0   |
| Couro                  | 60,0                  | 8,0        | 11,6     | 10,0  | 0,4     | 10,0   |
| Resíduos de pátios     | 47,8                  | 6,0        | 38,0     | 3,4   | 0,3     | 4,5    |
| Madeira                | 49,5                  | 6,0        | 42,7     | 0,2   | 0,1     | 1,5    |
| <b>Inorgânico</b>      |                       |            |          |       |         |        |
| Vidro <sup>1</sup>     | 0,5                   | 0,1        | 0,4      | <0,1  | -       | 98,9   |
| Metais <sup>1</sup>    | 4,5                   | 0,6        | 4,3      | <0,1  | -       | 90,5   |
| Sujidade, cinzas, etc. | 26,3                  | 3,0        | 2,0      | 0,5   | 0,2     | 68,0   |

$$\text{Btu/lb (base seca)} = \text{Btu/lb (como são postos de lado)} \left( \frac{100}{100 - \% \text{ humidade}} \right) \quad (3.8)$$

A correspondente equação numa base seca livre de cinzas é:

$$\text{Btu/lb (base seca sem cinzas)} = \text{Btu/lb (como são postos de lado)} \left( \frac{100}{100 - \% \text{ humidade} - \% \text{ cinzas}} \right) \quad (3.9)$$

<sup>1</sup> O teor orgânico provem dos revestimentos, etiquetas, e outros materiais anexos



**Tabela 3.5 – Valores típicos para resíduos inertes e teor energético de RSU residenciais**

| Componente               | Resíduo inerte, <sup>1</sup> percentagem |        | Energia, <sup>2</sup> Btu/lb |                   |
|--------------------------|--|--------|------------------------------|-------------------|
|                          | Gama                                     | Típico | Gama                         | Típico            |
| <b>Orgânico</b>          |  |        |                              |                   |
| Resíduos alimentares     | 2-8                                      | 5,0    | 1500-3000                    | 2000              |
| Papel                    | 4-8                                      | 6,0    | 5000-8000                    | 7200              |
| Cartão                   | 3-6                                      | 5,0    | 6000-7500                    | 7000              |
| Plásticos                | 6-20                                     | 10,0   | 12000-16000                  | 14000             |
| Têxteis                  | 2-4                                      | 2,5    | 6500-8000                    | 7500              |
| Borracha                 | 8-20                                     | 10,0   | 9000-12000                   | 10000             |
| Couro                    | 8-20                                     | 10,0   | 6500-8500                    | 7500              |
| Resíduos de pátios       | 2-6                                      | 4,5    | 1000-8000                    | 2800              |
| Madeira                  | 0,6-2                                    | 1,5    | 7500-8500                    | 8000              |
| Orgânicos diversos       | -  | -      | -                            | -                 |
| <b>Inorgânico</b>        |  |        |                              |                   |
| Vidro                    | 96-99+                                   | 98,0   | 50-100 <sup>3</sup>          | 60                |
| Latas de estanho         | 96-99+                                   | 98,0   | 100-500 <sup>3</sup>         | 300               |
| Alumínio                 | 90-99+                                   | 96,0   | -                            | -                 |
| Outro metal              | 94-99+                                   | 98,0   | 100-500 <sup>3</sup>         | 300               |
| Sujidade, cinzas, etc.   | 60-80                                    | 70,0   | 1000-5000                    | 3000              |
| Resíduos sólidos urbanos |  |        | 4000-6000                    | 5000 <sup>4</sup> |

$$\text{Btu/lb} = 145C + 610 \left( H_2 - \frac{1}{8} O_2 \right) + 40S + 10N \quad (3.10)$$

onde C = carbono, percentagem em peso

H<sub>2</sub> = hidrogénio, percentagem em peso

O<sub>2</sub> = oxigénio, percentagem em peso

S = enxofre, percentagem em peso

N = azoto, percentagem em peso

<sup>1</sup> Após combustão completa

<sup>2</sup> Numa base tal como são postos de lado

<sup>3</sup> O teor energético provem dos revestimentos, etiquetas, e outros materiais anexos

<sup>4</sup> O valor ↗ deve-se à reduzida quantidade de resíduos de alimentos em bruto e crescente % de plástico

Exemplo: Determine o valor energético de um RSU residencial típico com a composição média da tabela 2.5 (EUA).

Assume-se que o valor do aquecimento será calculado numa base tal como o resíduo é descartado (posto de lado).

Determina-se o teor energético total utilizando os dados da tabela 3.5, de forma a efectuar os cálculos necessários:

| Componente             | Resíduos sólidos, lb | Energia, Btu/lb <sup>1</sup> | Energia total, Btu |
|------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------|
| <b>Orgânico</b>        |                      |                              |                    |
| Resíduos alimentares   | 9,0                  | 2000                         | 18000              |
| Papel                  | 34,0                 | 7200                         | 244800             |
| Cartão                 | 6,0                  | 7000                         | 42000              |
| Plásticos              | 7,0                  | 14000                        | 98000              |
| Têxteis                | 2,0                  | 7500                         | 15000              |
| Borracha               | 0,5                  | 10000                        | 5000               |
| Couro                  | 0,5                  | 7500                         | 3750               |
| Resíduos de pátios     | 18,5                 | 2800                         | 51800              |
| Madeira                | 2,0                  | 8000                         | 16000              |
| <b>Inorgânico</b>      |                      |                              |                    |
| Vidro                  | 8,0                  | 60                           | 480                |
| Latas de estanho       | 6,0                  | 300                          | 1800               |
| Alumínio               | 0,5                  | -                            | -                  |
| Outro metal            | 3,0                  | 300                          | 900                |
| Sujidade, cinzas, etc. | 3,0                  | 3000                         | 9000               |
| <b>Total</b>           | <b>100,0</b>         |                              | <b>506530</b>      |

Determina-se o teor energético na base de tal como os resíduos são descartados, por lb de resíduo:

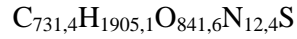
$$\text{Teor energético} = \frac{506530 \text{ Btu}}{100 \text{ lb}} = \frac{5065 \text{ Btu}}{\text{lb}} = \frac{11,782 \text{ kJ}}{\text{kg}}$$

O valor calculado está de acordo com o valor típico dado na tabela 3.5.

<sup>1</sup> Btu/lb x 2,326 = kJ/kg

Exemplo: Determine o valor energético de um RSU residencial típico com a composição média determinada no penúltimo exemplo incluindo enxofre e água.

A composição química do resíduo incluindo enxofre e água é:



Determinemos o teor energético total usando a equação 3.10. Começemos por determinar a distribuição percentual em peso dos elementos que compõem o resíduo, usando coeficientes que foram arredondados.

| Componente | Número de átomos por mole | Peso atômico | Contribuição do peso de cada elemento | %      |
|------------|---------------------------|--------------|---------------------------------------|--------|
| Carbono    | 731,4                     | 12           | 8777                                  | 36,03  |
| Hidrogénio | 1905,1                    | 1            | 1905                                  | 7,82   |
| Oxigénio   | 841,6                     | 16           | 13466                                 | 55,30  |
| Azoto      | 12,4                      | 14           | 174                                   | 0,72   |
| Enxofre    | 1,0                       | 32           | 32                                    | 0,13   |
| Total      |                           |              | 24354                                 | 100,00 |

O teor energético do resíduo utilizando a equação (3.10) é:

$$\text{Btu/lb} = 145(36,0) + 610 \left( 7,8 - \frac{55,3}{8} \right) + 40(0,1) + 10(0,7) = 5772^1$$

<sup>1</sup> O teor de energia do resíduo é superior ao encontrado no exemplo anterior somente porque a fracção orgânica dos RSU residenciais foi considerada no penúltimo exemplo.

**Tabela 3.6 – Análise elementar dos materiais orgânicos usados como alimento nos processos de conversão biológica**

| Constituinte       | Unidade | Substrato alimentar (base seca) |                     |                    |                      |
|--------------------|---------|---------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
|                    |         | Papel de jornal                 | Papel de escritório | Resíduos de pátios | Resíduos alimentares |
| NH <sub>4</sub> -N | ppm     | 4                               | 61                  | 149                | 205                  |
| NO <sub>3</sub> -N | ppm     | 4                               | 218                 | 490                | 4278                 |
| P                  | ppm     | 44                              | 295                 | 3500               | 4900                 |
| PO <sub>4</sub> -P | ppm     | 20                              | 164                 | 2210               | 3200                 |
| K                  | %       | 0,35                            | 0,29                | 2,27               | 4,18                 |
| SO <sub>4</sub> -S | ppm     | 159                             | 324                 | 882                | 855                  |
| Ca                 | %       | 0,01                            | 0,10                | 0,42               | 0,43                 |
| Mg                 | %       | 0,02                            | 0,04                | 0,21               | 0,16                 |
| Na                 | %       | 0,74                            | 1,05                | 0,06               | 0,15                 |
| B                  | ppm     | 14                              | 28                  | 88                 | 17                   |
| Se                 | ppm     | -                               | -                   | <1                 | <1                   |
| Zn                 | ppm     | 22                              | 177                 | 20                 | 21                   |
| Mn                 | ppm     | 49                              | 15                  | 56                 | 20                   |
| Fe                 | ppm     | 57                              | 396                 | 451                | 48                   |
| Cu                 | ppm     | 12                              | 14                  | 7,7                | 6,9                  |
| Co                 | ppm     | -                               | -                   | 5,0                | 3,0                  |
| Mo                 | ppm     | -                               | -                   | 1,0                | <1                   |
| Ni                 | ppm     | -                               | -                   | 9,0                | 4,5                  |
| W                  | ppm     | -                               | -                   | 4,0                | 3,3                  |

$$BF = 0,83 - 0,028 TL \quad (3.11)$$

onde BF = fracção biodegradável expressa na base de sólidos voláteis

0,83 = constante empírica

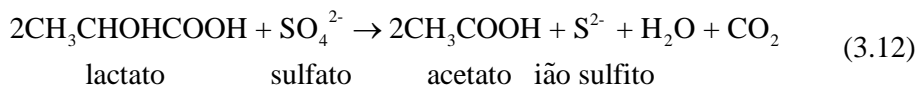
0,028 = constante empírica

TL = teor em lenhina dos SV expresso em percentagem de peso seco

**Tabela 3.7 – Dados sobre a fracção biodegradável dos componentes orgânicos dos resíduos baseados no teor em lenhina**

| Componente           | Sólidos voláteis (SV), percentagem dos sólidos totais (ST) | Teor em lenhina (TL), percentagem em SV | Fracção biodegradável (FB) <sup>1</sup> |
|----------------------|--|---|---|
| Resíduos alimentares | 7-15   | 0,4                                     | 0,82                                    |
| Papel                |  |   |   |
| Papel de jornal      | 94,0   | 21,9                                    | 0,22                                    |
| Papel de escritório  | 96,4   | 0,4                                     | 0,82                                    |
| Cartão               | 94,0   | 12,9                                    | 0,47                                    |
| Resíduos de pátios   | 50-90  | 4,1                                     | 0,72                                    |

A formação de H<sub>2</sub>S pode ser ilustrada pelas seguintes séries de reacções:

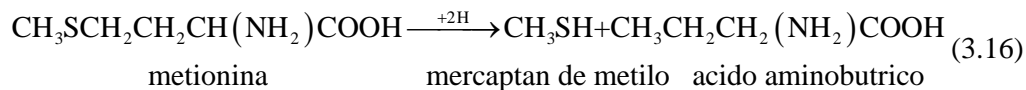


O ião sulfito pode também combinar-se com sais metálicos que podem estar presentes, tal como o ferro, para formar iões sulfito.



\*\*\*

Redução da metionina:

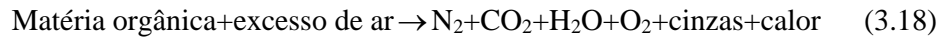


O mercaptan de metilo pode ser hidrolizado bioquimicamente em álcool metilo e sulfito de hidrogénio:



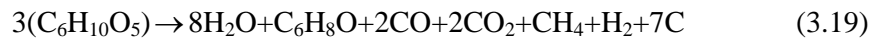
<sup>1</sup> Calculado utilizando a equação anterior

Na presença de excesso de ar e sob condições ideais, a combustão da fracção orgânica dos RSU é representada pela seguinte equação:



\*\*\*

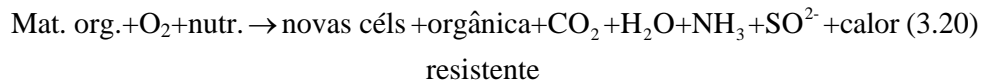
No caso da celulose ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ), foi sugerida a seguinte expressão como sendo representativa da reacção de pirólise:



\*\*\*

A compostagem da fracção orgânica dos RSU sob condições aeróbicas pode ser representada pela seguinte equação:

mat.



\*\*\*

A porção biodegradável da fracção orgânica dos RSU pode ser convertida biologicamente sob condições anaeróbicas em gás dióxido de carbono e metano ( $\text{CH}_4$ ). Esta conversão pode ser representada pela seguinte equação:

mat.

