

Relatório de Microprocessadores  
2007/2008

Engenharia Física Tecnológica

**MODULAÇÃO DE UM SINAL ANALÓGICO  
USANDO UM PWM E UM CIRCUITO RC E  
AQUISIÇÃO ATRAVÉS DE UM ADC**

---

*Laboratório IV*

**Trabalho realizado por:**

André Cunha, nº53757

João Pereira, nº 55315

**Grupo 3; 5ªfeira 13:00-16:00h**

Lisboa, 4 de Novembro de 2007

O objectivo deste trabalho consiste estudar o processo de aquisição de sinais analógicos através da utilização do ADC disponível no PIC.

Numa primeira fase será gerado um sinal analógico linear que vai variar entre 0 e 5V. Este sinal será gerado utilizando um sinal PWM e um circuito RC e a característica linear do sinal analógico será obtida através da modelação linear do *duty cycle*. Podemos notar que outras formas de sinais poderiam ser obtidas através de uma modelação diferente do *duty cycle*.

Numa segunda fase criar-se uma rotina que será responsável pela aquisição do sinal analógico gerado e sua consequente conversão digital. Para cumprir este objectivo utilizaremos naturalmente o ADC do PIC. As aquisições serão enviadas através da porta série para uma consola no PC.

Por fim, serão analisadas as características obtidas para um conjunto de várias frequências (e como veremos à frente, consequentemente diferentes resoluções) através da comparação com a referência utilizando um ajuste linear.

## Implementação, Procedimento e Análise

---

Em termos concretos, começaremos por seleccionar um *step motor* disponível, determinaremos a sequência correcta dos pinos do motor e depois as sequências binárias para a precisão normal e dupla de forma a criar os movimentos de rotação pretendidos.

Construir-se-á então um algoritmo em C para efectuar a rotação do motor com os parâmetros desejados e integrar-se-á isto com um sistema estruturado de recepção, interpretação e execução de comandos atingindo-se assim o objectivo deste trabalho laboratorial.

**Nota:** Todo o código se encontra em anexo devidamente comentado e explicado. Este relatório explicita apenas a filosofia usada bem como as escolhas efectuadas na implementação.

### 1ª sessão de laboratório

Material utilizado:

- Osciloscópio digital;
- Multímetro;

A primeira sessão de laboratório teve como principal objectivo a familiarização do microcontrolador que irá ser utilizado ao longo do semestre, o PIC18F4550. Além disso, pretendia-se programar um pequeno código que permitisse gerar uma onda rectangular (ou PWM).

Como primeira abordagem, recorreu-se então às bibliotecas disponibilizadas pelo compilador. Para a definição do PWM existem dois parâmetros a considerar; o seu período e o seu *duty cycle*. No caso do PIC utilizado, ambos são determinados por parâmetros inteiros, sendo calculados de acordo com:

$$T = (PR2 + 1) * 4 * T\_clock * Prescaler$$

onde PR2 é o conteúdo do registo PR2 (8 bits), escolhido pelo programador, T\_clock é o clock do PIC (250 ns) e o Prescaler é um factor de escala que pode tomar os valores 1:1, 1:4 ou 1:16, e

$$DC = (DCxB<9:0>) * T\_clock * Prescaler$$

Estas grandezas vêm ambas em micro-segundos (deste modo T\_clock = 1/4). No caso do *duty cycle* o seu valor não é determinado apenas pelo conteúdo de um registo mas sim pelo conteúdo do registo CCPxL mais os *bits* CCPxCON<5:4>. Este conjunto compõe então o valor DCxB<9:0>, sendo os dois *bits* menos significativos os CCPxCON<5:4>. Desta forma, consegue-se obter uma resolução de 10 bits para o *duty cycle*. Note-se ainda que não aparece o factor 4 para compensar o facto de o período do relógio do PIC ser um quarto do micro-segundo. Deste modo, é preciso aumentar o valor presente nos registos de 4 em 4 para que essa mudança se reflecta na saída.

É ainda relevante analisar os limites da PWM. Para o período as variáveis a considerar são o conteúdo do registo PR2 e o valor do Prescaler. Deste modo, para a frequência mais elevada possível, tem-se que PR2 = 0 e Prescaler 1:1; nesta configuração obtém-se um período de 1 μs, o que equivale a uma frequência de 1 MHz. A frequência mais baixa verifica-se quando se tem PR2 = 255 e Prescaler 1:16. Neste caso tem-se um período de 4.096ms o que equivale a uma frequência de 244.14Hz.

Para o *duty cycle*, fazendo considerações análogas verifica-se que o tempo em que o sinal está a *high* varia entre 1 μs e 4.096ms. Estes valores são análogos aos do período pelo que permitem uma grande possibilidade de configurações diferentes da PWM.

Tendo em conta este conjunto de informações, construiu-se o algoritmo iterativo onde gerámos o PWM modelado linearmente que se desejava e cujas partes podem ser facilmente identificadas no programa final disponível em anexo.

## 2ª sessão de laboratório

- MPLAB IDE e compilador de C para este IDE
- SDK PIC184550
- Breadboard
- Osciloscópio digital;
- Multímetro;
- Resistência de 2.2KΩ
- Condensador de 1 μF

Na segunda sessão de laboratório, tendo já criado o algoritmo iterativo necessário para gerar um PWM modelado linearmente, restava agora ligar o circuito RC para gerar o sinal analógico propriamente dito e configurar o ADC bem como acrescentar as operações necessárias à estrutura iterativa já criada para fazer a aquisição e estudo deste sinal.

Não há grandes considerações a referir em relação ao ADC. Os parâmetros foram definidos de acordo com as conveniências para o presente caso e podem ser vistas no ficheiro em anexo. Naturalmente utilizaram-se as operações de conversão no ciclo iterativo

tendo apenas o cuidado adicional de aguardar pelo fim da conversão utilizando a função própria para esse efeito.

O programa aceitará então por parte do utilizador um valor de frequência em *hertz* dado por um inteiro e efectuará o varrimento utilizando a resolução máxima possível para esse valor de frequência. No estudo adiante, começar-se-á com o valor máximo de frequência para 1024 pontos.

Montou-se o circuito RC de acordo com a figura, onde entra o PWM modelado linearmente e se obtém o sinal analógico que vai então entrar no canal escolhido para fazer a aquisição AD no PIC. Os valores de R e C estão explicitados na lista de material usado nesta sessão.

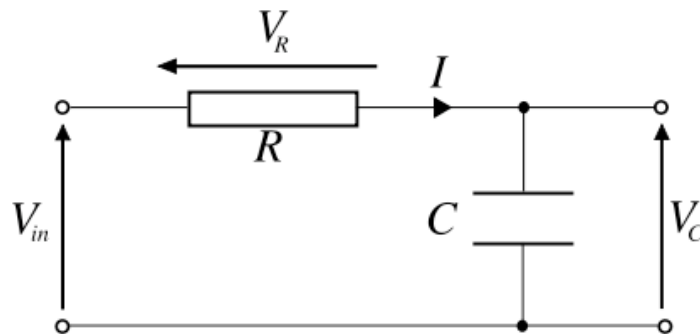


Figura 1 – Esquemático do circuito RC

Desta forma, pegou-se no aparato criado e iniciou-se o processo e aquisição para cinco frequências distintas. Escolheu-se um Prescaler de 1:1 uma vez que à partida, altas frequências tornam a aproximação linear que se faz relativamente ao circuito RC mais próxima da realidade.

Assim sendo, estudou-se o processo para frequências entre os 3900Hz e os 32767Hz. A frequência minorante de 3900Hz corresponde à frequência máxima usando um Prescaler 1:1 onde obtemos 1024 pontos de resolução. Como majorante usou-se a frequência máxima que o input do programa permite, ou seja, 32767Hz o que corresponde a 120 pontos de resolução.

As três frequências intermédias foram escolhidas de acordo com o número de pontos de resolução distribuídos entre os 1024 do minorante e os 120 do majorante. Desta forma, as frequências escolhidas foram de 5500Hz (724 pontos), 10000Hz (400 pontos) e 16000Hz (248 pontos).

Para atenuar eventuais erros de natureza estocástica, realizaram-se cinco aquisições para cada frequência estudada e utilizou-se a média destes valores para traçar a característica.

Confirmou-se a influência dos erros estatísticos fazendo o gráfico de 3900Hz para 20 aquisições e 5 aquisições através da melhoria do valor de  $R^2$  no ajuste mas também um aumento do valor da não linearidade da característica o que indicia que os erros estatísticos podem pesar na medição deste valor.

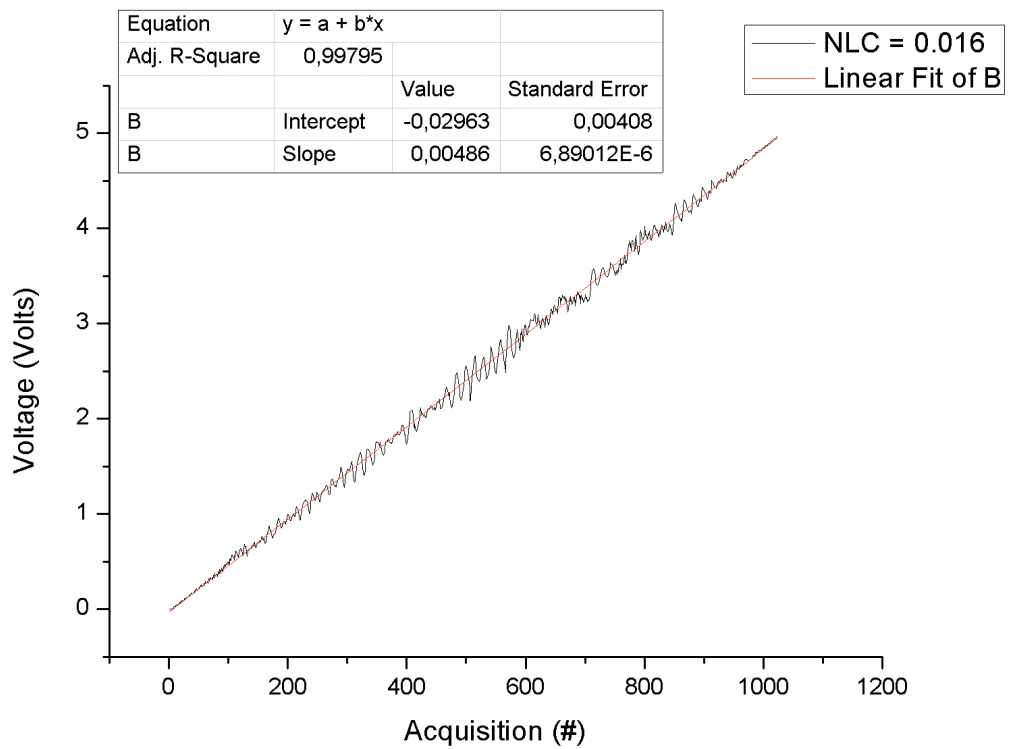


Gráfico 1 – Característica para 3900Hz (1024 pontos) [5 aquisições]

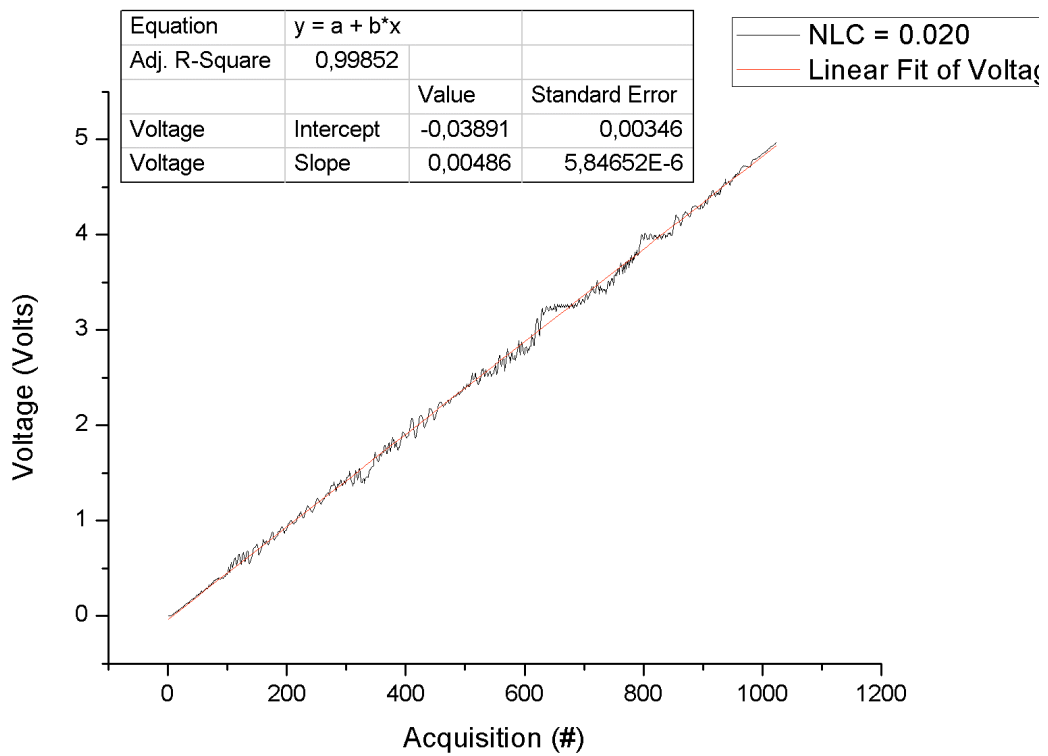


Gráfico 1 – Característica para 3900Hz (1024 pontos) [20 aquisições]

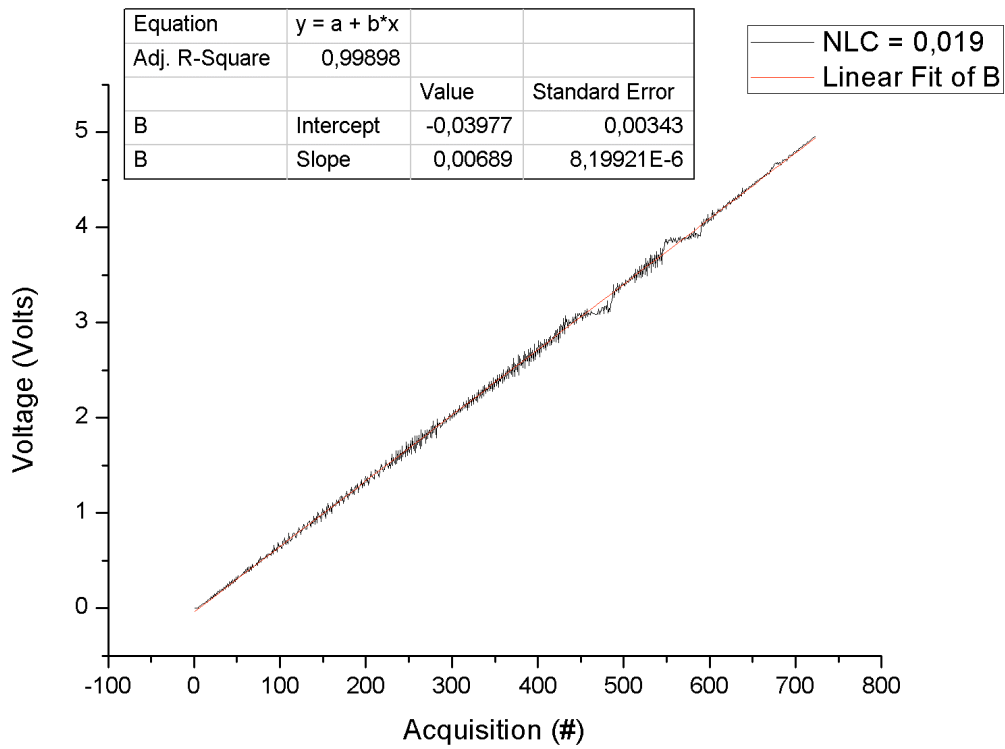


Gráfico 2 – Característica para 5500Hz (724 pontos)

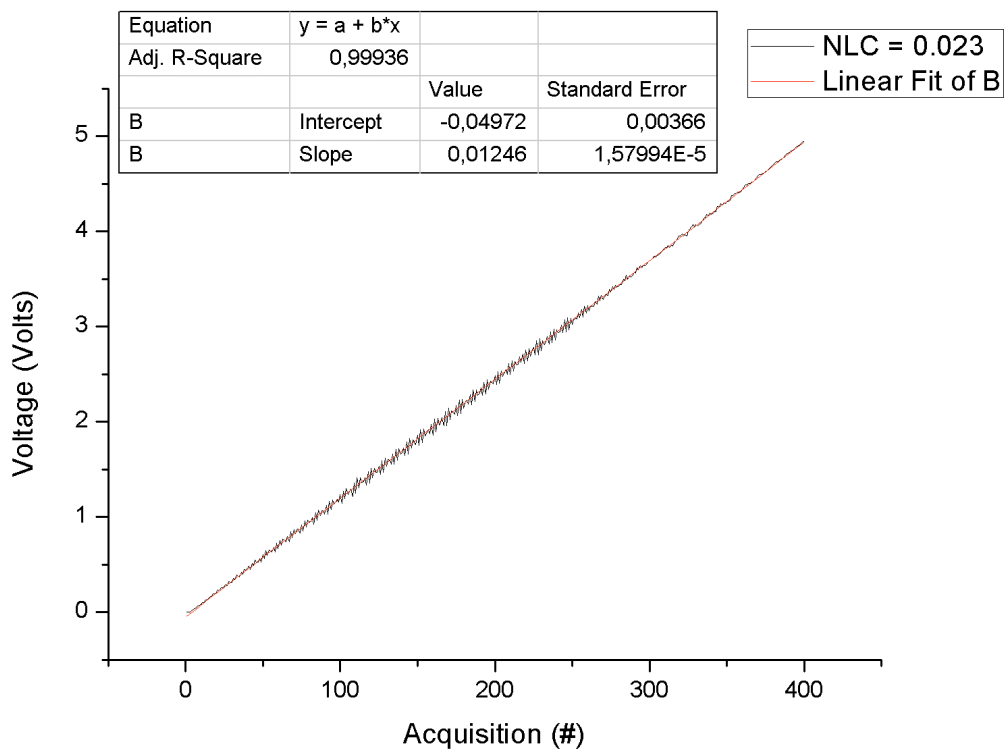


Gráfico 3 – Característica para 10000Hz (400 pontos)

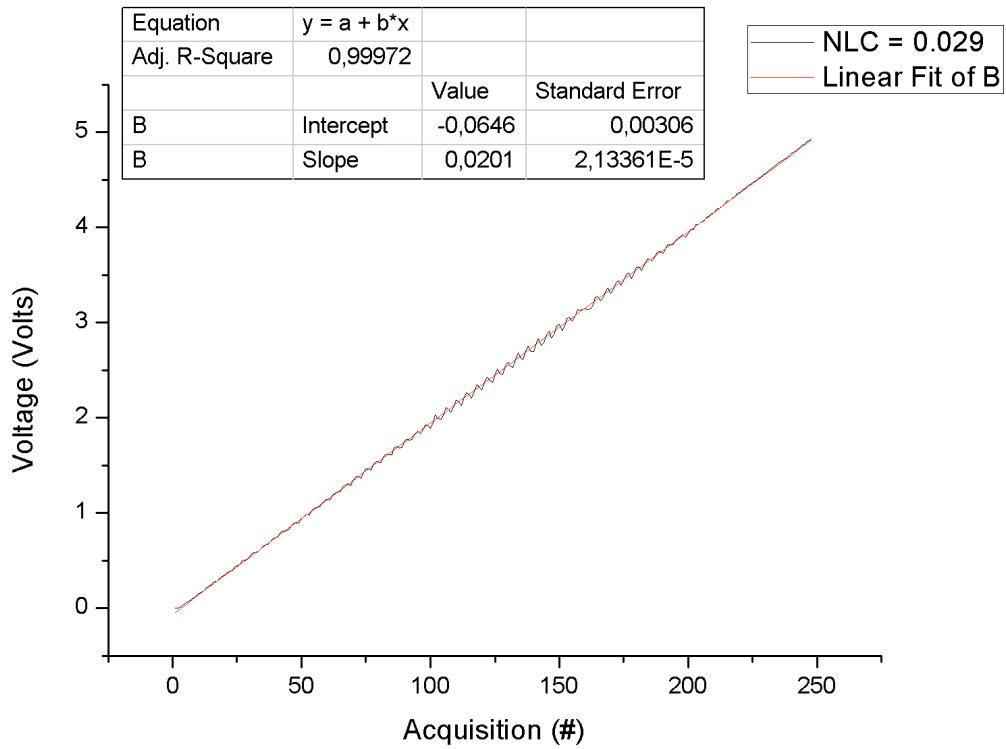


Gráfico 4 – Característica para 16000Hz (248 pontos)

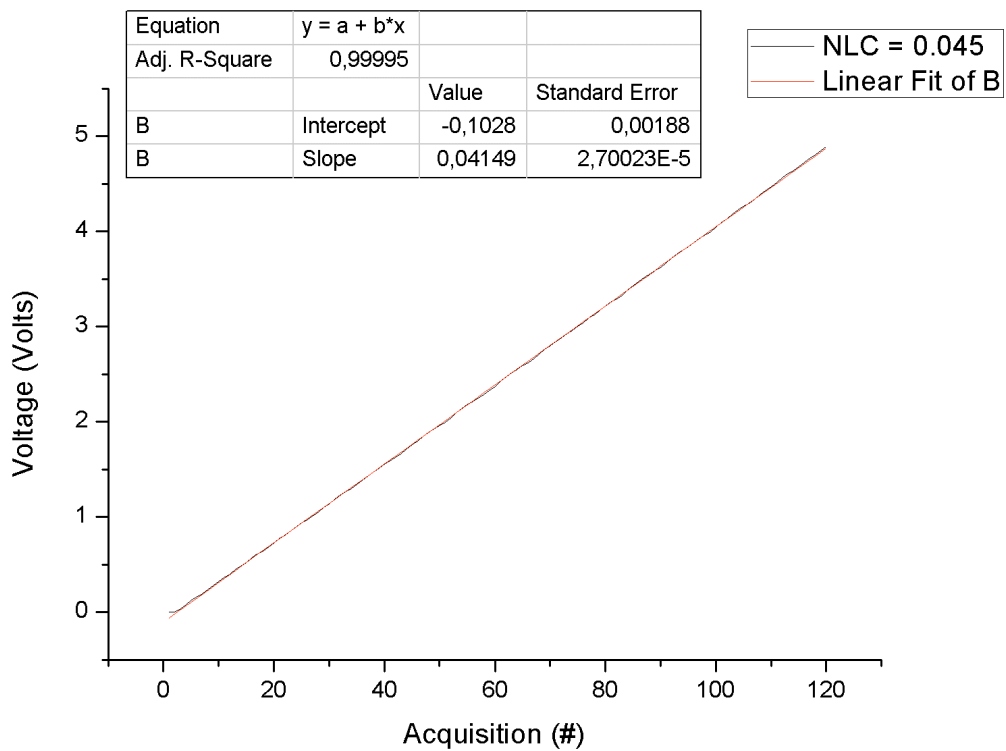


Gráfico 5 – Característica para 32767Hz (120 pontos)

Concluiu-se que o ruído estatístico tem grande influência nos resultados pois ao efectuar 20 aquisições para uma dada frequência, o *fit* melhora significativamente quando comparado com 5 aquisições por exemplo quer o nível do parâmetro  $R^2$ , quer ao nível da não linearidade da característica que foi calculada através do integral normalizado do desvio.

À medida que aumentamos a frequência, é claramente visível que os ajustes melhoram significativamente, facto que pode ser facilmente comprovado através do parâmetro  $R^2$ . Isto pode ser facilmente explicado pela melhor aproximação linear da característica do circuito RC para frequências altas.

No entanto, se analisarmos o integral normalizado do desvio em relação à referência também referido como não linearidade da característica, é visível que esta vai sendo maior para valores de frequência mais altos. Isto pode ser facilmente justificado pelo facto de as amplitudes de oscilação devidas ao processo de aquisição se tornarem cada vez mais significativas devido à baixa resolução que se tem para valores superiores de frequência. Este aumento crescente das amplitudes em torno da referência empurra cada vez mais o valor máximo adquirido sempre para baixo da referência. Uma vez que a amplitude é sempre cada vez maior e que este ponto é aquele que mais pesa no cálculo da NLC, esta vai diminuindo para valores crescentes de frequência. É de notar que isto não entra em contradição com o valor de  $R^2$ , uma vez que existe um anulamento sucessivo das oscilações.

Ainda se pode ver que a utilização de resoluções elevadas para valores baixos de frequência se torna redundante uma vez que a precisão na resolução, apesar de ser muito alta, vive com um erro gigantesco na voltagem lida pelo ADC. Logo com muito menos pontos pode obter-se os mesmos resultados sem qualquer perda de precisão ou acréscimo de erro.

**Nota:** Todas as aquisições, cálculos, código, etc se encontram em anexo.