

6 Resultados

Foram feitas simulações comparando o controle proposto por [56] com o controle proporcional com compensador de gravidade. Para tal, o veículo robótico, com as especificações da VIVI (Tabela 8), foi simulado em um **terreno senoidal** e em um **terreno plano com uma rampa**.

Tabela 8 – Especificações do veículo robótico VIVI

VIVI	
Parâmetro	Valor
Massa (kg)	50
Comprimento (cm)	64
Largura (cm)	22
Altura (cm)	10
Raio da roda (cm)	17

Segue a equação das ondulações do terreno senoidal utilizado na primeira simulação.

$$0.2 \cdot (1.0 + \cos(y \cdot \pi / 22.0)) \cdot 1.0 \quad (6.1)$$

A Figura 39, desenhada no MATLAB, mostra o perfil da ondulação do terreno senoidal.

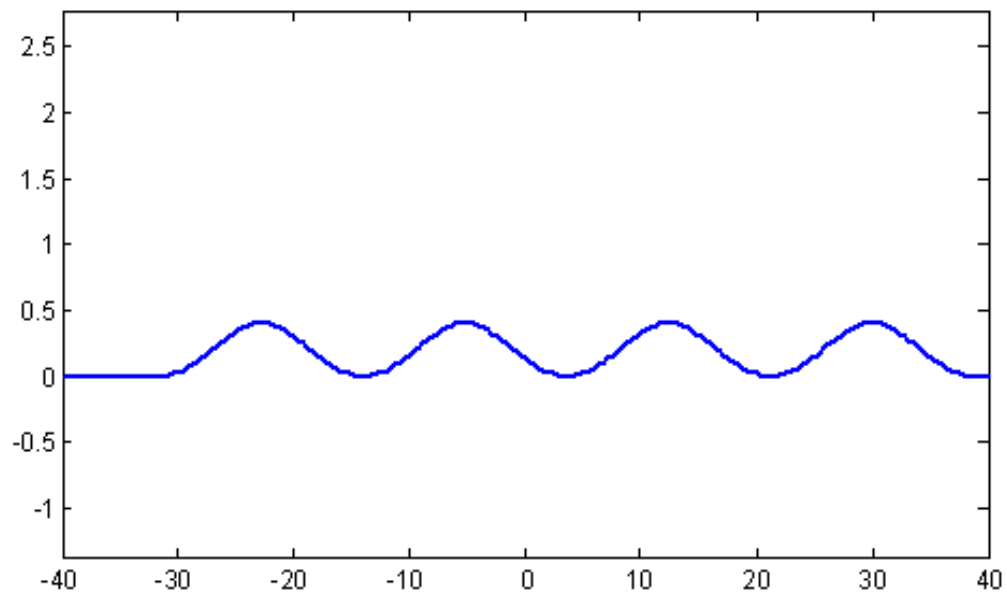


Figura 39 – Perfil do terreno senoidal desenhado no MATLAB

As Figuras 40 e 41 mostram o cenário da simulação do terreno senoidal renderizado pelo simulador VirtualBotz 3D. A Figura 40 apresenta o início da simulação, enquanto a Figura 41 mostra o veículo robótico perto do active a ser superado.

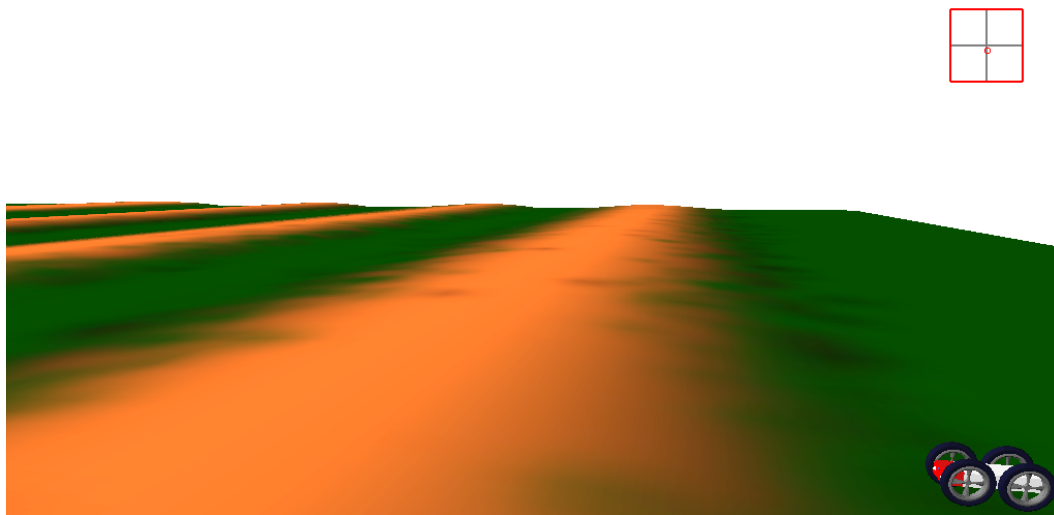


Figura 40 – Início da simulação: cenário da primeira simulação, com o veículo robótico VIVI, no terreno senoidal

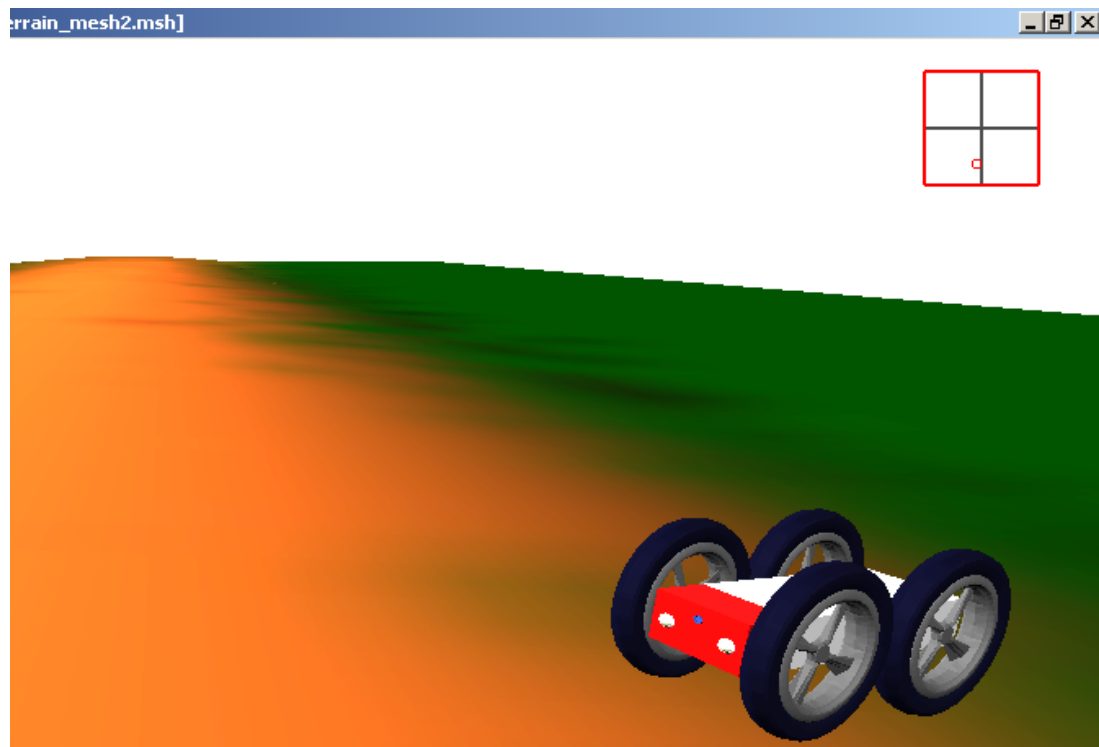


Figura 41 – Veículo robótico VIVI no terreno senoidal superando o primeiro aclive

Na segunda simulação, com terreno plano com uma rampa, tem-se a seguinte equação da rampa:

$$0.4 \cdot (1.0 + \sin(y \cdot \pi / 8.0)) \quad (6.2)$$

onde y pertence ao intervalo de 16m a 22m.

O perfil da rampa foi desenhado também no MATLAB e é apresentado na Figura 42.

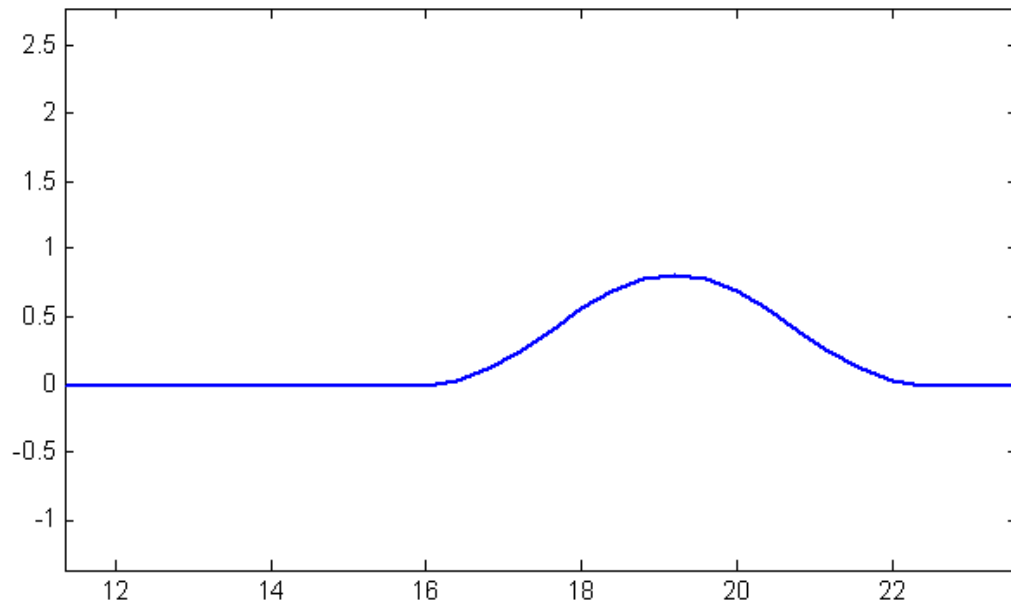


Figura 42 – Perfil da rampa do terreno desenhado no MATLAB

As Figuras 43 e 44 ilustram o cenário da simulação do terreno plano com uma rampa renderizado pelo simulador VirtualBotz 3D, desenvolvido ao longo deste estudo. Na Figura 43 tem-se o início da simulação, enquanto a Figura 44 mostra o veículo robótico perto da rampa a ser superada.



Figura 43 – Cenário da segunda simulação com o veículo robótico VIVI, no terreno plano com uma rampa ao final



Figura 44 – Veículo robótico VIVI no início da rampa na segunda simulação, no terreno plano com uma rampa

A velocidade desejada foi de 10m/s para ambos os controles implementados, e o ganho proporcional utilizado foi de 100. A simulação foi feita com um passo de integração $dT = 0.000065s$, e o controlador foi executado a uma frequência de 10kHz. Foi implementada virtualmente uma bateria elétrica capaz de fornecer de 36V a 80A. Para simular a dinâmica apenas em 2D, um mesmo torque foi enviado para ambas as rodas traseiras do robô, e outro torque, para ambas as rodas dianteiras, evitando assim que o robô executasse curvas. O mesmo ganho proporcional foi utilizado em ambos os controladores.

6.1.

Controle Proporcional Simples em Terreno Senoidal

As figuras a seguir demonstram os resultados para a simulação feita com o controlador proporcional simples e compensador de gravidade no terreno senoidal.

A Figura 45 mostra que o controlador proporcional não foi capaz de compensar o atrito, tendo se afastado do *setpoint* ao final da simulação.

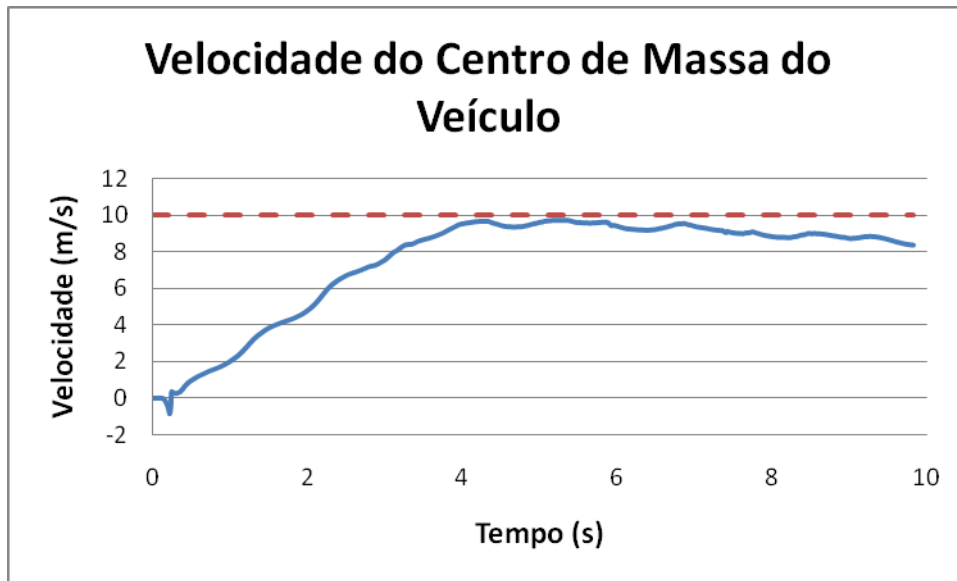


Figura 45 – Velocidade do centro de massa do veículo com o controlador proporcional simples com compensação de gravidade

A Figura 46 apresenta a variação das normais sobre as rodas dianteira e traseira. Pela simplicidade deste controle, as forças normais não são monitoradas e, com isso, em vários momentos da simulação, a roda dianteira descolou do terreno (força normal nula). Esse comportamento não é desejável, pois em uma situação crítica, a estabilidade do veículo pode ser comprometida e, além disso, o veículo passa a ter menor força de tração máxima possível pela redução das forças normais.

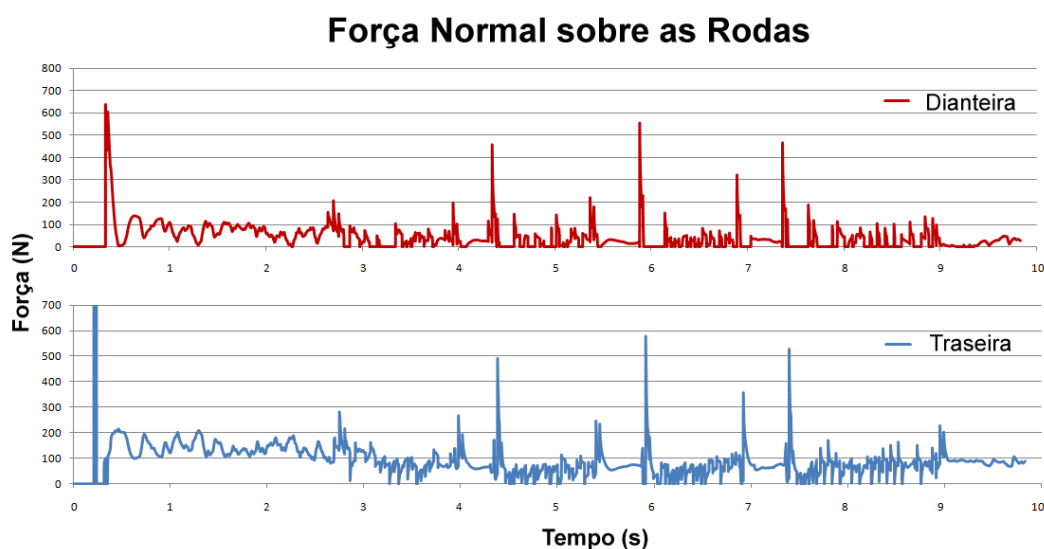


Figura 46 – Força normal com o controlador proporcional simples com compensação de gravidade

A Figura 47 mostra como a deriva longitudinal foi alta durante a simulação, evidenciando que as rodas deslizaram mais que o devido durante o percurso. Essa derrapagem excessiva fez com que as rodas trabalhassem com uma força de tração menor que a possível. Também indica como a deriva longitudinal oscilou, justificando o comportamento oscilatório do centro de massa do veículo.

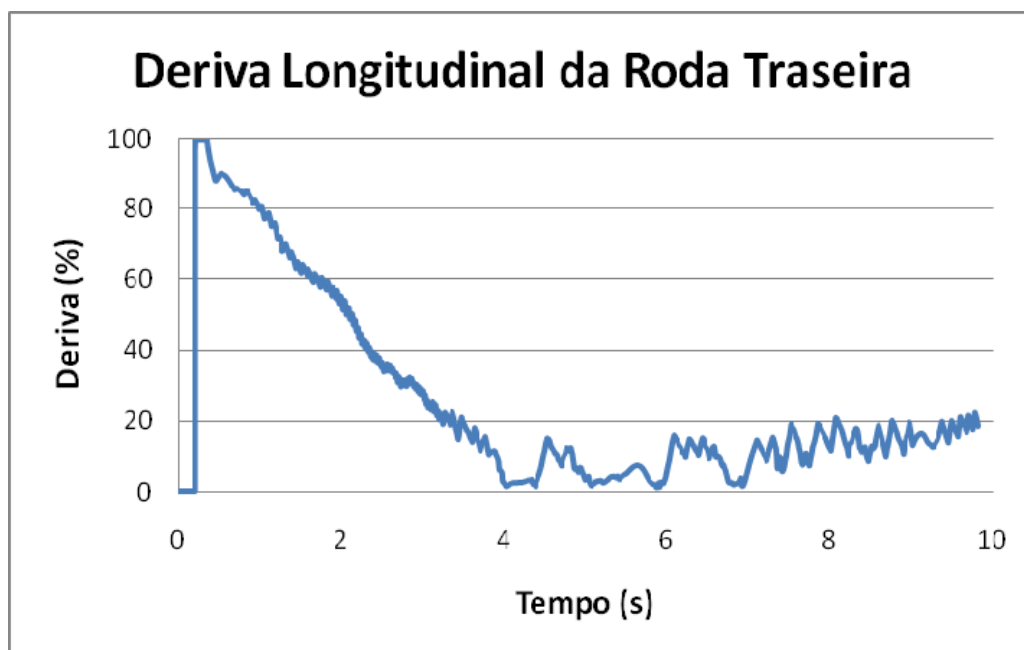


Figura 47 – Gráfico da deriva longitudinal da roda traseira com o controlador proporcional simples com compensação de gravidade

Outro problema identificável pelo desempenho desse controlador é que a potência dissipada nos motores é muito alta, como pode ser visto na Figura 48. Esse fator acaba comprometendo a autonomia do veículo robótico, pois a energia consumida pelas baterias é maior do que a necessária.

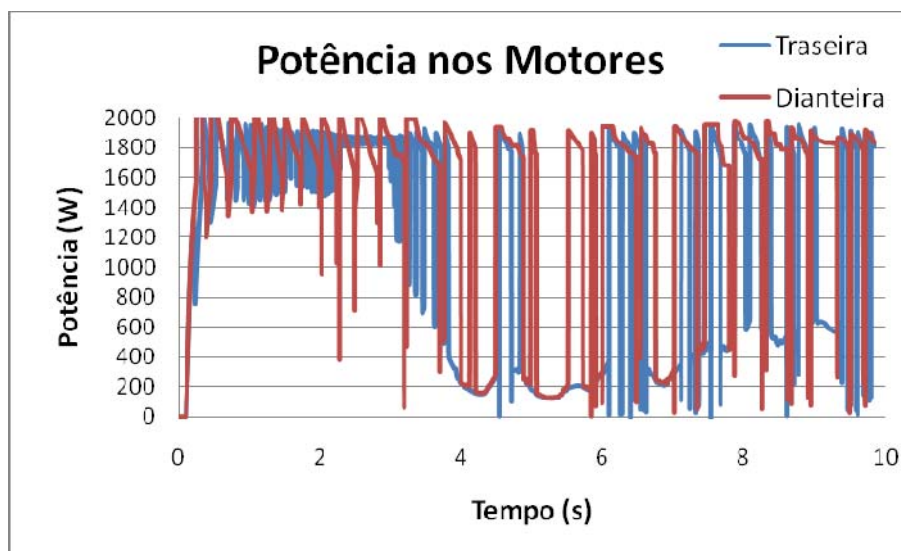


Figura 48 – Potência dos motores com o controlador proporcional simples com compensação de gravidade

6.2.

Controle CDTA em Terreno Senoidal

Essa simulação foi realizada sob as mesmas condições da anterior e com o mesmo tipo de terreno senoidal. O controle permitiu um valor maior de tração nas rodas, possibilitando uma convergência mais rápida da velocidade. Além disso, o controle de tração e a preocupação de manter a força normal positiva o máximo possível fizeram com que o veículo mantivesse a velocidade desejada até o final da simulação, como visto na Figura 49.

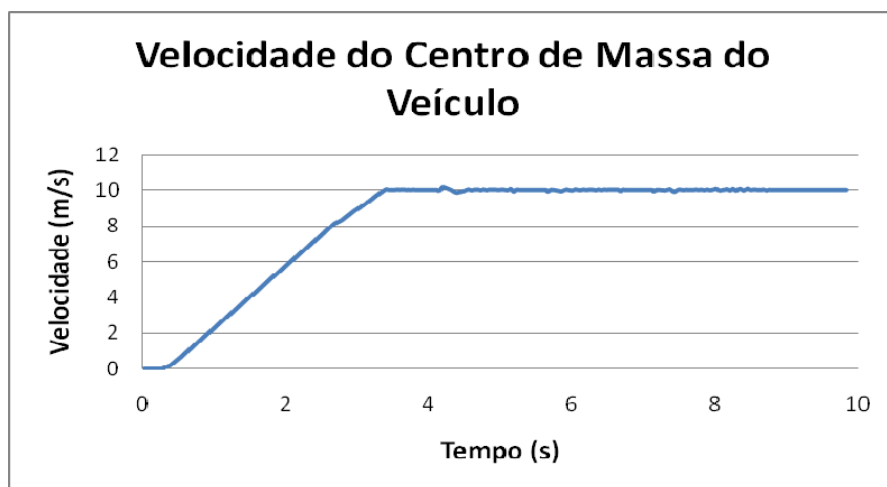


Figura 49 – Gráfico da velocidade do centro de massa do veículo com o controle CDTA

A Figura 50 mostra que o controle foi capaz de manter as normais positivas durante mais tempo que o proporcional simples, maximizando assim a força de contato com o chão.

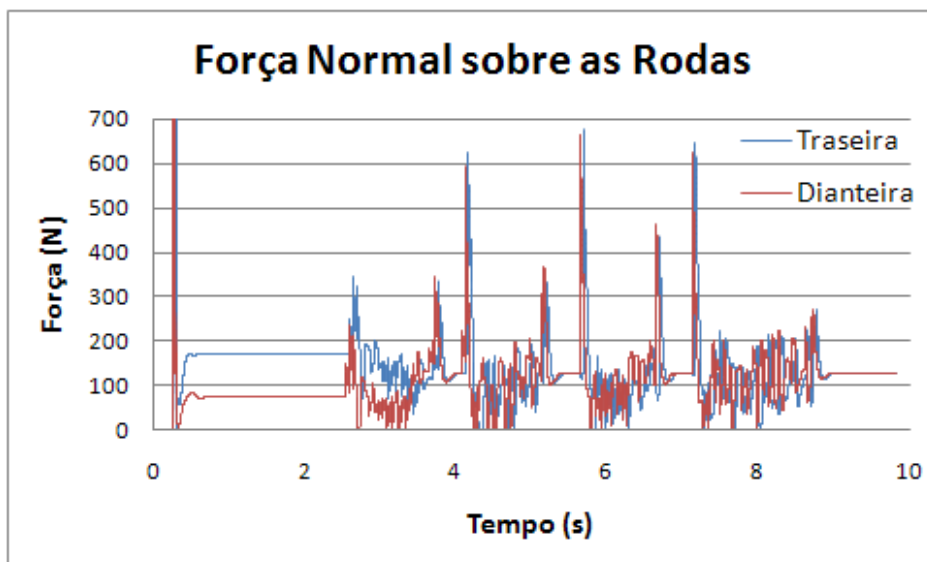


Figura 50 – Força normal com o controle CDTA

A Figura 51 demonstra que a deriva longitudinal com esse controle atingiu valores menores em módulo do que com o controle proporcional simples. Isso evidencia que as rodas derraparam menos, maximizando assim as forças de tração de cada pneu.

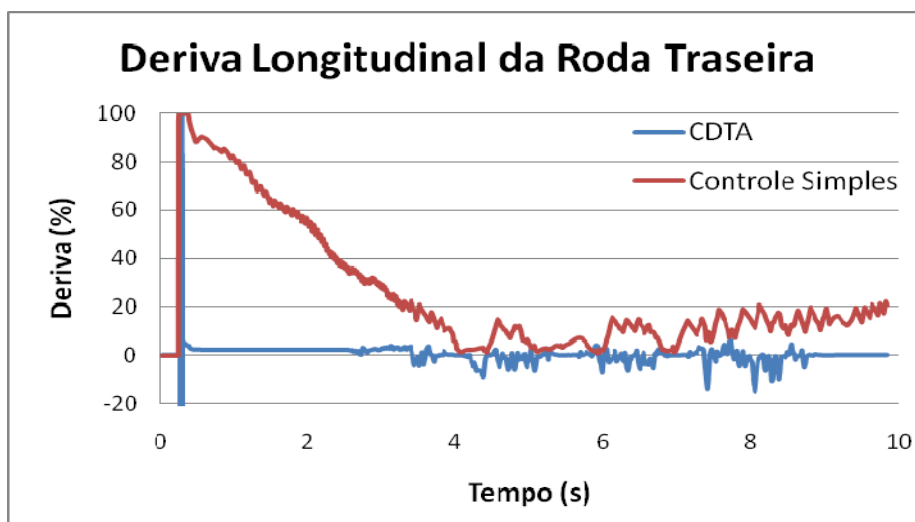


Figura 51 – Gráfico da deriva longitudinal da roda traseira com o controle CDTA

O controle CDTA conseguiu fazer com que a potência dissipada nos motores permanecesse abaixo dos 1000W durante grande parte da simulação. Em contraste, com o controle proporcional simples, a potência dissipada oscilou constantemente em torno de 2000W (Figura 52).

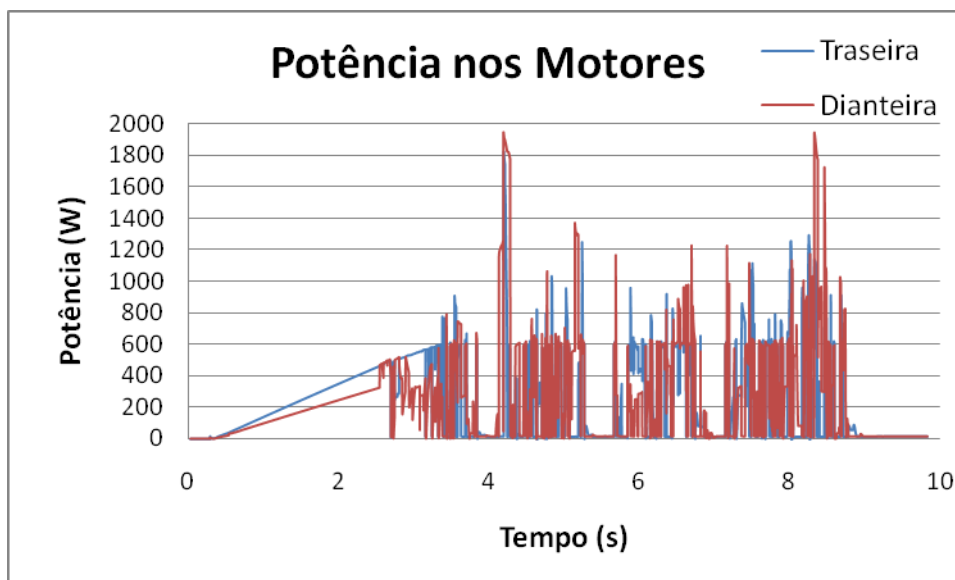


Figura 52 – Potência dos motores com o controle CDTA

6.3.

Controle Proporcional Simples em Terreno Plano com uma Rampa

Esta simulação foi feita com o controlador proporcional simples com compensação de gravidade em um terreno plano com uma rampa. Nesta simulação, não houve estabilização do veículo após passar pela rampa.

Como pode-se observar na Figura 53, o controlador não foi capaz de compensar o atrito, e se afastou do *setpoint* ao final da simulação: mesmo comportamento do controle proporcional simples no terreno senoidal.

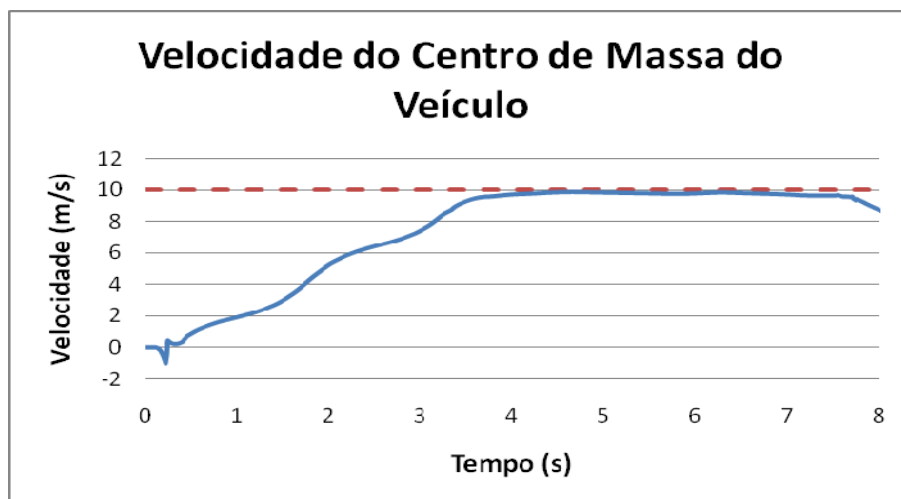


Figura 53 – Gráfico da velocidade do centro de massa do veículo com o controle proporcional simples em terreno plano com uma rampa

A Figura 54 mostra a variação das normais sobre as rodas dianteira e traseira. Pela simplicidade do controle, as forças normais não são monitoradas, o que permite o descolamento entre as rodas e o terreno (força normal nula). Logo, esse tipo comportamento não é desejável, pois em uma situação crítica compromete a estabilidade e a tração do veículo.

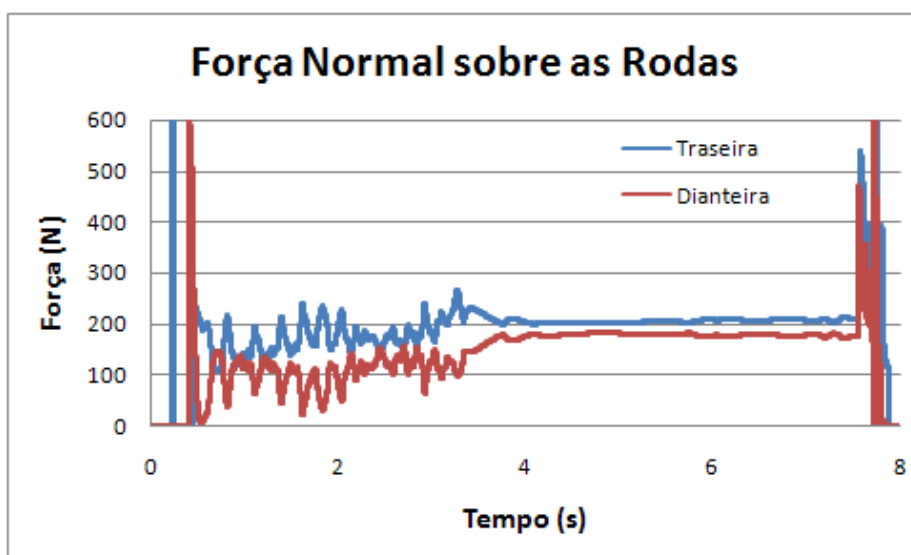


Figura 54 – Força normal com o controlador proporcional simples em terreno plano com uma rampa

A Figura 55 indica como a deriva longitudinal foi alta durante a simulação, evidenciando que durante o percurso as rodas deslizaram mais que o devido. Essa derrapagem excessiva fez com que as rodas trabalhassem com uma força de tração

bem menor que a desejada. No início da simulação, pode-se observar como a deriva longitudinal oscilou, justificando o comportamento oscilatório do centro de massa do veículo (Figura 53).

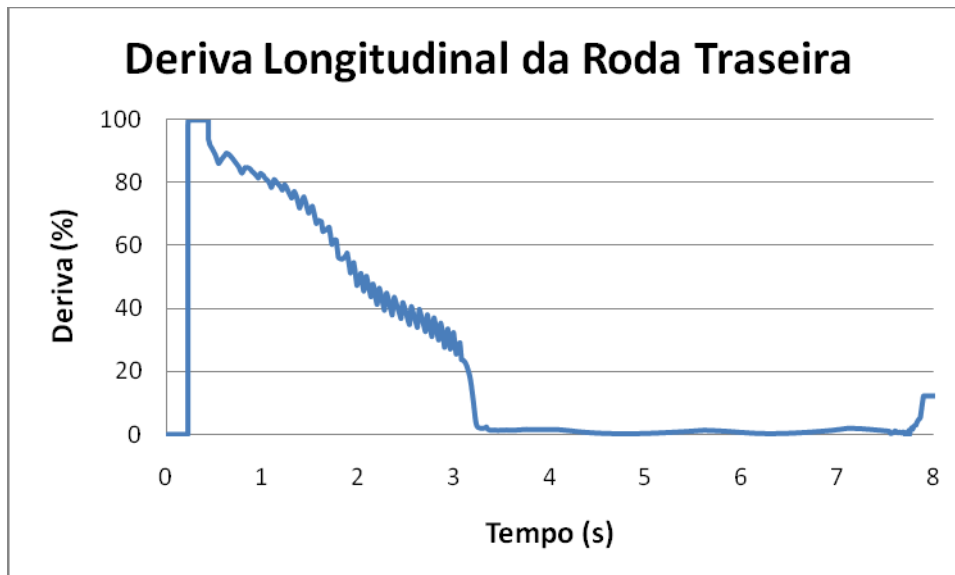


Figura 55 – Gráfico da deriva longitudinal da roda traseira com o controle proporcional simples em terreno plano com uma rampa

Outro problema identificável pelo desempenho desse controlador é que a potência dissipada nos motores é muito alta, como pode ser visto na Figura 56. Esse fator acaba comprometendo a autonomia do veículo robótico, pois a energia consumida pelas baterias é maior do que a necessária.

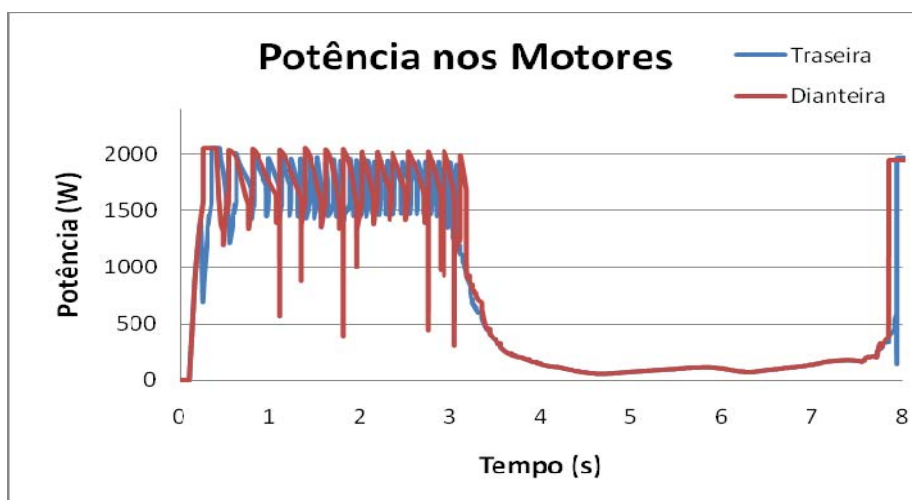


Figura 56 – Potência dos motores com o controlador proporcional simples em terreno plano com uma rampa

Como o veículo não conseguiu superar a rampa, essa simulação foi interrompida após o oitavo segundo, com o veículo “capotado”. O simulador considera que o veículo capotou quando o vetor \mathbf{b} estiver apontando para baixo, ou seja, quando a sua componente z for negativa. Com isso, o simulador interrompe a simulação.

6.4.

Controle CDTA em Terreno Plano com uma Rampa

Nesta simulação, sob condições idênticas às da seção anterior e com mesmo tipo de terreno plano com uma rampa, o controle CDTA permitiu um valor maior de tração nas rodas, possibilitando uma convergência mais rápida da velocidade. O controle de tração e a preocupação de manter a força normal positiva o máximo possível fizeram com que o veículo mantivesse a velocidade desejada até o final da simulação.

A Figura 57 mostra que o veículo robótico, ao passar pela rampa, por volta de 7,5s, a uma velocidade desejada, perde o contato com o terreno. As normais vão à zero (Figura 58), mas, imediatamente o controle começa a corrigir a velocidade, que converge em seguida. Quando o veículo perde o contato com o terreno, o controle não é capaz de manter a velocidade desejada.

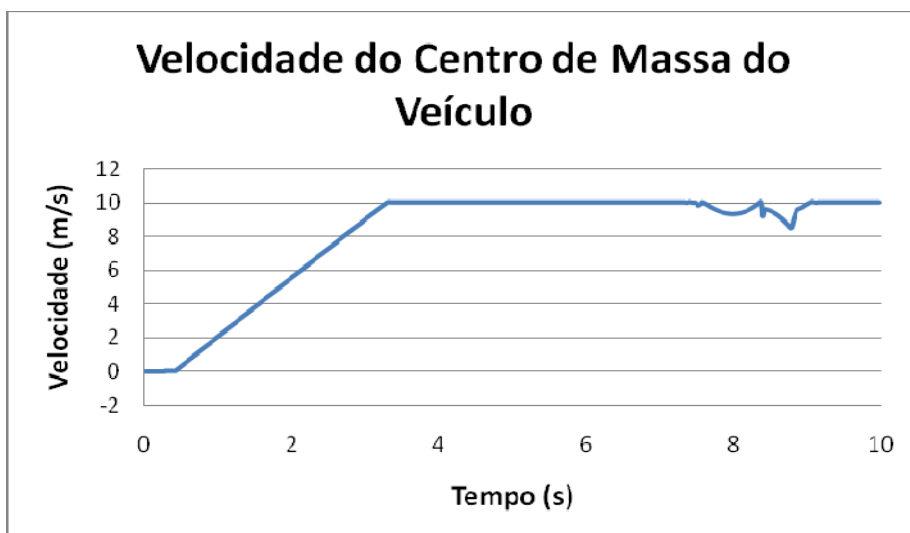


Figura 57 – Velocidade do centro de massa do veículo com o controle CDTA em terreno plano com uma rampa

Na Figura 58 pode-se visualizar que o controle foi capaz de manter as normais positivas mais tempo que o proporcional simples, maximizando assim a força de contato com o chão.

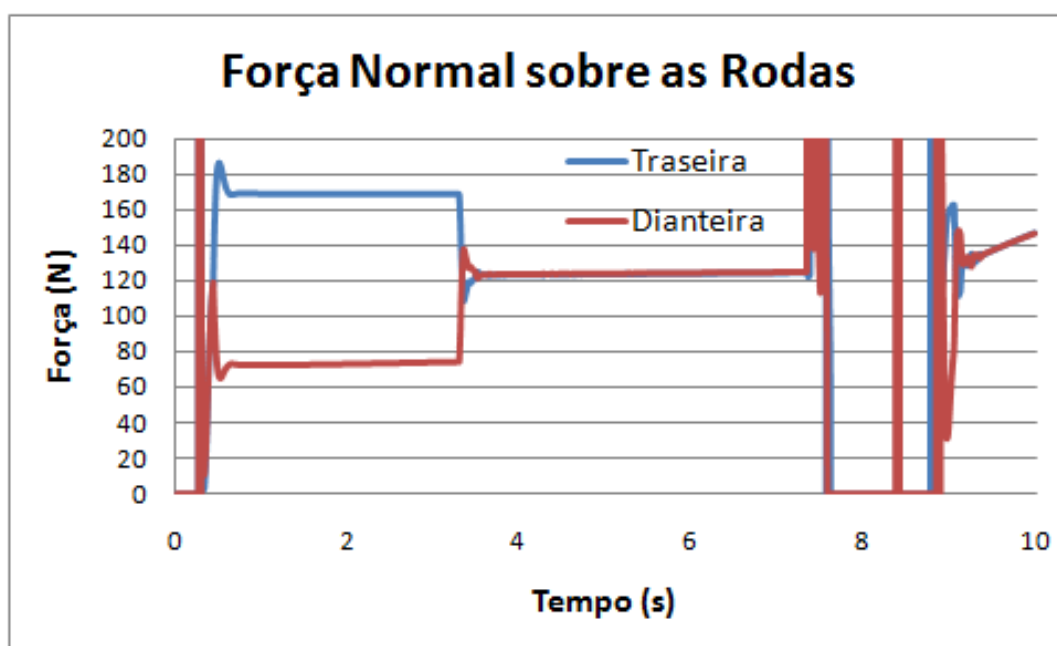


Figura 58 – Força normal com o controle CDTA em terreno plano com uma rampa

A Figura 59 indica que a deriva longitudinal com esse controle atingiu valores menores, em módulo, que os do controle proporcional simples,

evidenciando que as rodas derraparam menos e maximizando assim as forças de tração.

Pode-se observar na Figura 59 que a simulação do controle simples, em vermelho, é interrompida ao passar pela rampa por volta de 8s de simulação. Esse fato se deve pelo controle simples não conseguir manter o veículo controlado.

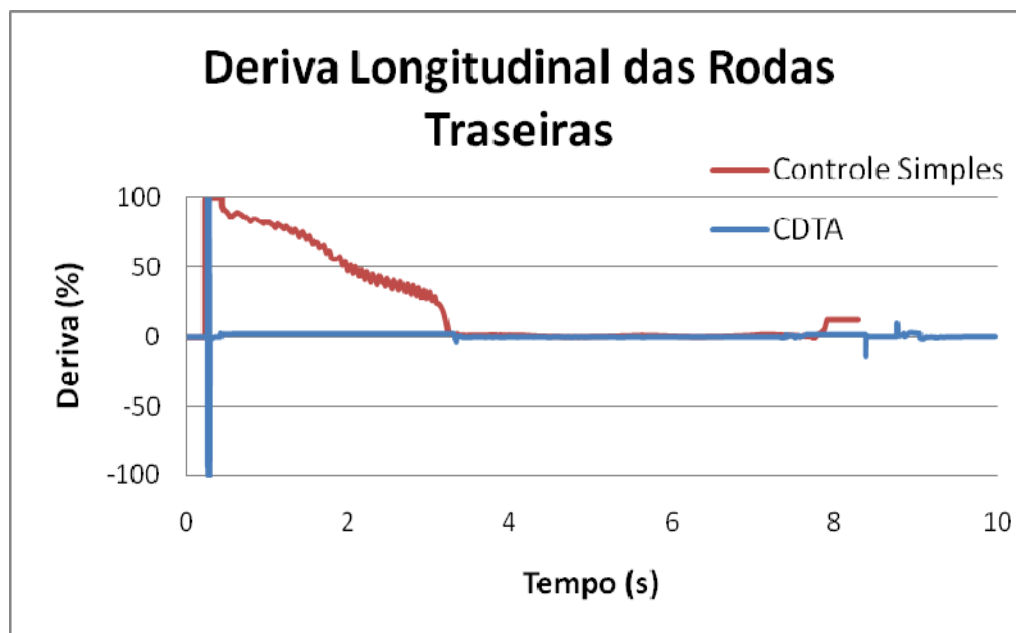


Figura 59 – Deriva longitudinal da roda traseira com o controle CDTA em terreno plano com uma rampa

O controle conseguiu fazer com que a potência dissipada nos motores permanecesse abaixo dos 1000W durante grande parte da simulação, enquanto o controle proporcional simples oscilou em torno de 2000W (Figura 60).

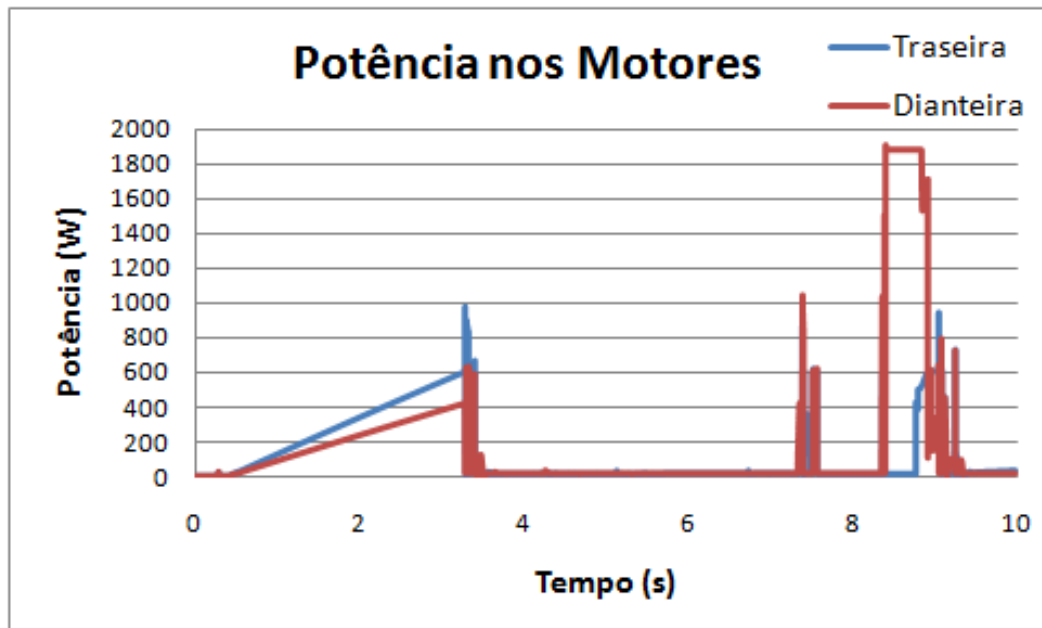


Figura 60 – Potência dos motores com o controle CDTA em terreno plano com uma rampa

No próximo capítulo, as conclusões deste estudo são apresentadas.